

Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35
51-612 Wrocław

.....
(nazwa i dane adresowe podmiotu habilitującego,
wybranego do przeprowadzenia postępowania)

za pośrednictwem:

Rady Doskonałości Naukowej

pl. Defilad 1

00-901 Warszawa

(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Paulina Hebisz

.....
(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
al. Ignacego Jana Paderewskiego 35
51-612 Wrocław

.....
(miejsce pracy/jednostka naukowa)

Wniosek

z dnia 03.08.2023.

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu w dyscyplinie¹ nauki o kulturze
fizycznej

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia
doktora habilitowanego

Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Tytuł cyklu/osiągnięcia naukowego:
„Ocena skuteczności autorskiego spolaryzowanego programu treningowego w rozwoju
wydolności fizycznej kolarzy”

Wniosuję – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie
wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała
uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **jawnym**^{*2}

Zostałem poinformowany, że:

*Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w
sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej
z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).*

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu.

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

² * Niepotrzebne skreślić.

Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html

Paulina Hebisz

.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

1. Dane wnioskodawcy
2. Autoreferat wraz z wykazem osiągnięć naukowych
3. Skany dokumentów potwierdzających najistotniejsze osiągnięcia



AKADEMIA
WYCHOWANIA
FIZYCZNEGO
IM. POLSKICH
OLIMPIJCZYKÓW
WE WROCLAWIU

Paulina Hebisz

AUTOREFERAT

Opisujący osiągnięcia i dorobek naukowy

Wrocław 2023

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych	3
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)	4
4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2 Wykaz publikacji	4
4.3 Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	7
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej	40
6. Informacja o innej aktywności naukowej lub artystycznej	41
6.1 Udział w grantach naukowych	41
6.2 Wykonane recenzje naukowe	42
6.3 Udział w konferencjach naukowych	43
6.4 Wyróżnienia za działalność naukową	44
6.5 Dodatkowe informacje	44
6.6 Wykaz pozostałych publikacji, napisanych po uzyskaniu stopnia doktora nauk o kulturze fizycznej z wyłączeniem prac zaprezentowanych w rozdziale 4 i 5	44
7. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę	62
8. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej	65

1. Imię i nazwisko

Paulina Hebisz

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

2007 r. – dyplom magistra, Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, kierunek: Wychowanie Fizyczne, specjalność: Organizacja czasu wolnego dzieci i młodzieży.

2007 r. – dyplom trenera klasy drugiej w kolarstwie, Wyższa Szkoła Kultury Fizycznej i Turystyki im. Haliny Konopackiej w Pruszkowie, Wydział Wychowania Fizycznego i Turystyki

2011 r. – dyplom trenera klasy pierwszej w kolarstwie, Centralny Ośrodek Sportu, Warszawa

2011 r. – dyplom doktora nauk o kulturze fizycznej, Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, temat rozprawy doktorskiej: „Zmiany wydolności beztlenowej kolarzy w efekcie treningu z powiększoną objętością oddechowej przestrzeni martwej”, Promotor: prof. dr hab. Marek Zatoń; Recenzenci: prof. dr hab. n. med. Krzysztof Klukowski oraz prof. dr hab. Jan Chmura

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

2008 – 2013 wykładowca, Wyższa Szkoła Edukacja w Sporcie, Instytut Sportu i Rekreacji we Wrocławiu

2010 – 2011 asystent, Zakład Fizjologii, Katedra Fizjologii i Biochemii, Wydział Wychowania Fizycznego, Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu

2011 – 2013 wykładowca, Ogólnopolski program kształcenia kadr sportowych, Szkoła Wyższa im. Pawła Włodkowica w Płocku

2011 – nadal adiunkt, Zakład Fizjologii, Katedra Fizjologii i Biochemii, Wydział Wychowania Fizycznego, Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu (do 2021 r. Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu)

4. **Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.**

Jako osiągnięcie naukowe wskazuję cykl siedmiu oryginalnych prac naukowych powiązanych tematycznie, opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora nauk o kulturze fizycznej

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

„Ocena skuteczności autorskiego spolaryzowanego programu treningowego w rozwoju wydolności fizycznej kolarzy”

4.2 Wykaz publikacji (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, nazwa wydawnictwa, rok wydania, numer wydania).

1. **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Zatoń Marek, Ochmann Bartosz, Mielnik Natalia. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 2016; 116(8): 1495-1502. [IF = 2,130; MEiN = 35 pkt.]

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w tworzeniu koncepcji pracy, udział w przeprowadzeniu badań, graficzne przedstawienie wyników badań, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

2. **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Murawska-Ciałowicz Eugenia, Zatoń Marek. Changes in exercise capacity and serum BDNF following long-term sprint interval training in

well-trained cyclists. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 2019; 44(5): 499-506. [IF = 2,522; MEiN = 70 pkt.]

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w prowadzeniu badań, udział w zbieraniu danych, udział w zbieraniu piśmiennictwa, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

3. Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**, Borkowski Jacek, Zatoń Marek. Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise-induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds. *Isokinetics and Exercise Science*, 2019; 27(1): 21-29. [IF = 0,474; MEiN = 40 pkt.]

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w zaplanowaniu i wyborze metodyki badań, udział w interpretowaniu wyników i wyciąganiu wniosków z badań, graficzne przedstawienie wyników badań, zbieranie piśmiennictwa, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

4. **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał. The effect of polarized training (SIT, HIIT, and ET) on muscle thickness and anaerobic power in trained cyclists. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021; 18(12): 6547. [IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.]

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w zaplanowaniu badań i wyborze metodyki badań, udział w prowadzeniu badań, udział w zbieraniu i przetwarzaniu danych, interpretowanie wyników i wyciąganie wniosków z badań, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, zbieranie piśmiennictwa, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

5. **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Jastrzębska Agnieszka. An attempt to predict changes in heart rate variability in the training intensification process among cyclists.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021; 18(14): 7636. [IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.]

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w zaplanowaniu badań i wyborze metodyki badań, udział w przeprowadzeniu badań, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, zbieranie piśmiennictwa, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

6. Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**, Danek Natalia, Michalik Kamil, Zatoń Marek. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2022; 36(6): 1726-1730. [IF = 3,200; MEiN = 100 pkt.]

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w tworzeniu koncepcji pracy, udział w planowaniu i wyborze metodyki badań, udział w przeprowadzeniu badań, zbieranie danych, udział w interpretowaniu wyników i wyciąganiu wniosków, graficzne przedstawienie wyników badań, udział w wykonaniu korekty tekstu artykułu przed wysłaniem do czasopisma.

7. **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Drelak Maja. Comparison of aerobic capacity changes as a result of a polarized or block training program among trained mountain bike cyclists. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021; 18(16): 8865. [IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.]

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w zaplanowaniu badań i wyborze metodyki badań, udział w prowadzeniu badań, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

Wartość wskaźników bibliometrycznych jednotematycznego cyklu siedmiu prac naukowych: IF = 22,168; MEiN = 665 pkt.

4.3 Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

4.3.1 Wprowadzenie

W mojej pracy naukowej zajmowałam się badaniem wpływu intensywnych treningów fizycznych na sprawność krążeniowo-oddechową, wybrane parametry biochemiczne uczestniczące w rozwoju adaptacji wysiłkowych oraz wydolność fizyczną kolarzy górskich. Do udziału w badaniach rekrutowałam sportowców ze względu na fakt, że sama byłam zawodniczką kolarstwa, które było moją pasją. W pracy badawczej skupiałam się na analizie i zrozumieniu procesu rozwoju wydolności fizycznej czynnych zawodników. Wybór sportowców do grup badanych był dla mnie ważny, ponieważ osoby takie są zdolne do wykonania bardzo intensywnych wysiłków i nie odczuwają lęku przed zmęczeniem będącym następstwem skrajnie ciężkiej pracy. Wysoki poziom motywacji wśród sportowców był gwarancją, że uzyskane przeze mnie wyniki i wyciągane wnioski będą trafne, a programy treningowe po dostosowaniu do potrzeb szerszych grup społeczeństwa mogą być wykorzystane w promocji zdrowia poprzez udział w kolarskich imprezach masowych dla amatorów, a także uczestnictwo w codziennej aktywności fizycznej przekładającej się na poprawę zdrowia jednostki i zdrowia publicznego.

Wśród osób nietreningujących lub aktywnych fizycznie często ocenia się wpływ zastosowania jednego rodzaju treningu na rozwój wydolności fizycznej. Od dawna badana jest skuteczność treningów o dużej objętości i niskiej intensywności (low intensity training – LIT), określanych jako treningi wytrzymałościowe (Kindermann i wsp. 1979; Stöggl i Sperlich 2014). Podczas takich treningów intensywność jest utrzymywana poniżej 65% maksymalnej mocy tlenowej i poniżej progu beztlenowego (Seiler 2010). Wielu autorów dowodzi, że są to treningi skuteczne w rozwoju wydolności tlenowej, gdyż wpływają na poprawę maksymalnego poboru tlenu, pojemności minutowej serca, objętości wyrzutowej serca, aktywności enzymów tlenowych, liczby mitochondriów oraz gęstości sieci naczyń kapilarnych (Holloszy i Coyle 1984; Gledhill i wsp. 1994; Pilegaard i wsp. 2003; Russel i wsp. 2003; Goodman i wsp. 2005; Burgomaster i wsp. 2008; Roxburgh i wsp. 2014). Niektórzy autorzy sugerują wykonywanie treningów wytrzymałościowych z wyższą intensywnością, zbliżoną do progu beztlenowego (Kindermann i wsp. 1979; Davis i wsp. 1983; Seiler i Kjerland 2006; Seiler 2010; Stöggl i Sperlich 2014). Wykazano, że treningi

o intensywności zbliżonej do progu beztlenowego (threshold training – TT) wpływają na przesunięcie momentu osiągnięcia progu beztlenowego w kierunku wyższej mocy lub prędkości oraz wpływają na poprawę wydolności tlenowej poprzez rozwój maksymalnego poboru tlenu (Helgerud i wsp. 2007; Meyer i wsp. 2007; Neal i wsp. 2013; Neufeld i wsp. 2019). Maksymalny pobór tlenu ($VO_2\max$) odzwierciedla sprawność krążeniowo-oddechową w dostarczaniu tlenu do pracujących mięśni oraz zdolność układu mięśniowego do wykorzystania tlenu w produkcji energii podczas wysiłku. Wartość $VO_2\max$ zależy od wielu determinantów, między innymi od wentylacji minutowej płuc, zdolności dyfuzyjnej płuc, pojemności minutowej serca, stężenia hemoglobiny, gęstości sieci naczyń włosowatych, gęstości i objętości mitochondriów, aktywności enzymów oksydacyjnych (Bassett i Howley 2000; Lucia i wsp. 2001; Warburton i Gledhill 2006; Le Meur i wsp. 2009). Według Wagnera (2006) najważniejszym czynnikiem determinującym $VO_2\max$ jest pojemność minutowa serca i wielkość przepływu krwi w mięśniach. Niemniej jednak wszystkie powyższe czynniki są ze sobą powiązane, jeśli jeden z nich ulegnie zmianie, to cały łańcuch transportu i ekstrakcji tlenu również się zmienia (Wagner 2006; Warburton i Gledhill 2006; Wagner 2011).

Kolejnym treningiem, który wpływa na rozwój wydolności fizycznej jest trening interwałowy. W dostępnym piśmiennictwie opisywane są dwa rodzaje treningów interwałowych. Pierwszy rodzaj to sprinterski trening interwałowy (SIT), który składa się z wysiłków trwających najczęściej ok. 10-30 sekund i wykonywany jest z maksymalną intensywnością (wysiłki typu „all-out”) (Burgomaster i wsp. 2006; Gibala i wsp. 2006; Inoue i wsp. 2012; Buchheit i Laursen 2013a, 2013b; Gist i wsp. 2014). Drugi rodzaj to trening interwałowy z wysoką intensywnością (HIIT), który często obejmuje wysiłki trwające 1-4 minuty, wykonywane z wysoką intensywnością np. z mocą 90-120% maksymalnej mocy tlenowej, określanej w teście progresywnym (Perry i wsp. 2008; McKay i wsp. 2009; Thum i wsp. 2017). Wykazano, że treningi interwałowe są równie skuteczne w rozwoju $VO_2\max$, jak treningi wytrzymałościowe o niskiej lub umiarkowanej intensywności (Gist i wsp. 2014; Zelt i wsp. 2014; Litleskare i wsp. 2020), a nawet bardziej skuteczne niż treningi wytrzymałościowe (Helgerud i wsp. 2007). Porównując treningi SIT oraz HIIT wykazano, że skuteczność obu treningów interwałowych w rozwijaniu $VO_2\max$ jest podobna (Naves i wsp. 2018; Rosenblat i wsp. 2020; de Oliveira-Nunes i wsp. 2021). Podczas intensywnych wysiłków, wykonywanych w treningach interwałowych, w dużym stopniu zaangażowane są przemiany beztlenowe, w których adenosynotryfosforan (ATP) resyntetyzowany jest z wykorzystaniem fosfokreatyny oraz glikogenu. W efekcie zaangażowania beztlenowych przemian energetycznych dochodzi do naruszenia równowagi kwasowo-zasadowej,

spowodowanej akumulacją jonów wodoru (H^+) i mleczanu (La^-) we krwi (Baron 2001; Impellizzeri i wsp. 2002; Desgorces i wsp. 2007; Impellizzeri i Marcora 2007; Macdermid i Stannard 2012). Wykorzystanie fosfokreatyny oraz zaburzenie równowagi kwasowo-zasadowej wpływa na intensyfikację zmęczenia mięśniowego (Harmer i wsp. 2000). Osoby charakteryzujące się wysokim poziomem wydolności beztlenowej przejawiają zdolność do wykonywania wysiłku w warunkach wysokiej koncentracji jonów wodoru i mleczanu (Juel 1998; Hawley i Stepto 2001; Joyner i Coyle 2008; Bayati i wsp. 2011; Tschakert i Hofmann 2013).

W procesie treningowym rzadko stosuje się tylko jeden rodzaj treningu, zazwyczaj tworzy się programy treningowe obejmujące kilka rodzajów treningów. Jednym z często opisywanych jest spolaryzowany program treningowy, który jest definiowany jako cykl treningów charakteryzujący się polaryzacją obciążeń treningowych, czyli składa się z treningów o niskiej intensywności oraz z treningów o wysokiej intensywności. Natomiast treningi o intensywności zbliżonej do progu beztlenowego nie są stosowane (Neal i wsp. 2013), lub stanowią tylko 5-10% całkowitej objętości treningów (Stöggl i Sperlich 2014; Rosenblat i wsp. 2019). Niektórzy autorzy dowodzą, że spolaryzowany program treningowy pozwala na większy rozwój wydolności fizycznej (poprzez poprawę maksymalnego poboru tlenu, maksymalnej mocy tlenowej, mocy osiągananej na progu beztlenowym, czasu pracy wykonywanej do odmowy przez badanego), w porównaniu do innych programów składających się z treningów o niskiej i progowej intensywności, lub programów obejmujących jeden rodzaj treningu: LIT, TT lub HIIT (Neal i wsp. 2013; Stöggl i Sperlich 2014; Carnes i Mahoney 2018). Issurin (2008) krytykuje koncepcję łączenia wielu rodzajów treningu w jednym cyklu treningowym, gdyż sprzyja to rozwojowi nadmiernego stresu w organizmie oraz uniemożliwia osiągnięcie kilku szczytów wydolności w ciągu sezonu startowego (Issurin 2008). Jednocześnie autor ten proponuje stosowanie koncepcji treningu blokowego, zgodnie z którą w cyklu treningowym trwającym 2-4 tygodnie treningi koncentrują się na kształtowaniu minimalnej liczby zdolności związanych z przygotowaniem zawodnika do zawodów sportowych, kolejne zdolności kształtowane są w następujących po sobie 2-4 tygodniowych blokach (Issurin 2008; 2010; 2016). Na przykład Solli i wsp. (2019) oraz Rønnestad i wsp. (2014a; 2014b; 2018) w blokowym programie treningowym stosowali naprzemiennie kilkunastodniowe bloki treningu LIT oraz kilku lub kilkunastodniowe bloki treningów o dużej intensywności (HIIT i/lub SIT). Rønnestad i wsp. (2014b; 2018) wykazali poprawę VO_2max w efekcie stosowania blokowego programu treningowego. Solli i wsp. (2019) stwierdzili, że blokowy program był równie skuteczny w rozwoju wydolności

fizycznej biegaczy narciarskich, jak klasyczna koncepcja Matveyeva (Matveyev 1965). Klasyczna koncepcja Matveyeva jest popularną koncepcją planowania treningu sportowego, która opisuje układ różnych rodzajów treningu w rocznym cyklu treningowym (Matveyev 1965). Zgodnie z tą koncepcją, w początkowej fazie przygotowania sportowca wytrzymałościowego do sezonu startowego zdecydowanie dominują treningi typu LIT. Wraz ze zbliżaniem się okresu startowego zmniejsza się liczba i/lub objętość treningów typu LIT, natomiast zwiększa się objętość i liczba treningów typu HIIT (Tønnessen i wsp. 2015; Solli i wsp. 2019).

Na podstawie analizy dostępnego piśmiennictwa założyłam, że spolaryzowany program treningowy powinien być najbardziej skuteczny w rozwoju wydolności fizycznej. Badane przez innych autorów spolaryzowane programy treningowe obejmują treningi wytrzymałościowe o niskiej intensywności (LIT) oraz treningi interwałowe o wysokiej intensywności (HIIT). Natomiast, moje nowatorskie podejście do spolaryzowanego programu treningowego polega na wzbogaceniu tej koncepcji o sprinterskie treningi interwałowe (SIT). Na podstawie piśmiennictwa spodziewałam się, że skutkiem wykonywania powtarzanych wysiłków sprinterskich będzie powstanie adenozynomonofosforanu (AMP) (Sloth i wsp. 2013). AMP stymuluje kinazę białkową aktywowaną przez adenozynomonofosforan (AMPK), która z kolei aktywuje szereg zmian prowadzących do rozwoju VO_2max (Sloth i wsp. 2013). Wśród tych zmian wymienia się stymulację białka PGC1- α , które wpływa m.in. na rozwój naczyń kapilarnych w mięśniach oraz na biogenezę mitochondriów (Cantó i Auwerx 2009; Gibala i wsp. 2009; Sloth i wsp. 2013). Uogólniając można się spodziewać, że wprowadzenie wysiłków SIT do spolaryzowanych programów treningowych spowoduje szczególnie rozwój zmian obwodowych (w obrębie układu mięśniowego), wpływających na VO_2max . Jednocześnie stosowane będą treningi HIIT, które odbywają się przy nasilonym przepływie krwi przez serce (Evans 1985). Ponadto podczas treningów HIIT obserwuje się spadek objętości osocza krwi (Jabbour i wsp. 2018), a po treningach HIIT obserwuje się mechanizm ekspansji osocza krwi (Warburton i wsp. 2004; Bloomer i Farney 2013). Ekspansja osocza, zwiększając objętość krwi, jest mechanizmem korzystnym, ponieważ wpływa na zwiększenie objętości wyrzutowej serca (Warburton i wsp. 2004). W związku z powyższym można się spodziewać, że treningi HIIT rozwijają w sposób szczególnie centralne (sercowe) mechanizmy determinujące VO_2max . Ponadto, zarówno wydzielanie AMP jak i ekspansja osocza krwi mogą następować w efekcie wykonywania treningów LIT (Warburton i wsp. 2004; Bloomer i Farney 2013; Chen i wsp. 2016). Spodziewałam się również, że duża liczba silnych bodźców treningowych (wchodzących w skład autorskiego

spolaryzowanego programu treningowego) może stymulować procesy krwiotwórcze, które również determinują rozwój $VO_2\text{max}$ (Nystoriak i Bhatnagar 2018). Sumowanie się wyżej opisanych mechanizmów może prowadzić do efektywnego rozwoju wydolności fizycznej, gdyż tak skonstruowany program treningowy powinien kompleksowo wpływać na mechanizmy determinujące $VO_2\text{max}$.

Ponadto, w stosowanym autorskim spolaryzowanym programie treningowym dla każdego uczestnika badań indywidualnie określano wielkość obciążenia w poszczególnych treningach (czas trwania treningu, liczba powtórzeń, liczba serii, czas zastosowanych przerw), na podstawie obserwacji zmian zmęczenia (zdolności wykonywania pracy). Obciążenia treningowe, które zastosowałam w poszczególnych badaniach zostały ustalone z uwzględnieniem wcześniej publikowanych wyników badań. Wraz z zespołem wskazywaliśmy w nich zmiany parametrów fizjologicznych, biochemicznych oraz fizycznych podczas treningów. W szczególności opisywaliśmy zmiany obejmujące pobór tlenu, wentylację minutową płuc, częstość skurczów serca, stężenie jonów wodoru i mleczanu we krwi, moc mięśniową oraz szybkość restytucji poboru tlenu i częstości skurczów serca po kolejnych powtórzeniach intensywnego wysiłku.

4.3.2 Cel prezentowanego cyklu publikacji

W związku z powyższym przyjąłam następujące cele prezentowanego cyklu publikacji:

- Ocena efektów autorskiego spolaryzowanego programu treningowego, na tle innych programów treningowych, w rozwoju wydolności fizycznej u kolarzy górskich.
- Ocena obciążenia wewnętrznego (internal load) wśród sportowców wykonujących autorski spolaryzowany program treningowy.
- Poszukiwanie czynników na podstawie których można przewidywać skuteczność autorskiego spolaryzowanego programu treningowego w rozwoju wydolności fizycznej.

4.3.3 Omówienie realizacji celów w poszczególnych pracach

Artykuł nr 1: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Zatoń Marek, Ochmann Bartosz, Mielnik Natalia. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal

oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 2016; 116(8): 1495-1502. [IF = 2,130; MEiN = 35 pkt.]

Analiza dostępnego piśmiennictwa wskazuje, że istotnym wskaźnikiem określającym sprawność krążeniowo-oddechową i poziom wydolności fizycznej jest maksymalny pobór tlenu ($VO_2\max$) (Wagner 2006; Warburton i Gledhill 2006; Wagner 2011). Dlatego celem pierwszej pracy prezentowanego cyklu było porównanie wpływu dwóch programów treningowych na wartość $VO_2\max$ i czynniki determinujące $VO_2\max$ (wentylację minutową płuc i objętość wyrzutową serca) oraz na wartość mocy maksymalnej osiąganą w teście progresywnym u kolarzy górskich. Pierwszy program był autorskim spolaryzowanym programem treningowym, który obejmował sprinterski trening interwałowy (SIT), trening interwałowy o wysokiej intensywności (HIIT) oraz trening wytrzymałościowy o stałej intensywności. Drugi program obejmował treningi wytrzymałościowe o stałej, umiarkowanej intensywności oraz treningi wytrzymałościowe o zmiennej intensywności – wysokiej, umiarkowanej i niskiej.

W badaniu uczestniczyło 26 kolarzy górskich, w tym członkowie Polskiej Kadry Narodowej. Wszyscy uczestnicy mieli co najmniej 5-letnie doświadczenie treningowe i rywalizowali w kategoriach elita (zawodnicy powyżej 23 lat) i U23 (zawodnicy w wieku 19-23 lata). Kolarze zostali losowo podzieleni na dwie grupy: grupę wykonującą autorski spolaryzowany program treningowy i grupę wykonującą treningi wytrzymałościowe. Eksperymentalny program treningowy trwał 8 tygodni, realizowany był w okresie przygotowawczym (luty i marzec). Spolaryzowany program treningów obejmował: a) Sprinterski trening interwałowy (SIT), w którym kilkakrotnie powtarzano serie wysiłków maksymalnych. Każda seria składała się z czterech maksymalnych powtórzeń trwających po 30 sekund (podobnych do testu Wingate), przedzielonych 90-sekundowymi, aktywnymi przerwami. Serie były oddzielone 20–40 minutami aktywnej przerwy, w której wykonywano wysiłek z umiarkowaną intensywnością (60–70% maksymalnej częstości skurczów serca - HRmax). Liczba serii wykonywanych przez każdego uczestnika była ustalana indywidualnie. Serie powtarzano do momentu zmniejszenia wykonanej pracy o 5% w stosunku do najwyższej wartości zarejestrowanej podczas sesji treningowej. Zgodnie z tym kryterium uczestnicy wykonywali od 2 do 5 serii powtórzeń. Czas trwania przerwy między seriami był również ustalany indywidualnie, uzależniony był od czasu powrotu do stanu wyjściowego (mierzonego po rozgrzewce) równowagi kwasowo-zasadowej, ocenianej na podstawie stężenia jonów wodoru we krwi (pomiar z użyciem analizatora *RAPIDLab 348*, Siemens

Healthcare, Niemcy). b) Trening interwałowy o wysokiej intensywności (HIIT), składający się z wysiłków trwających po 4 minuty wykonywanych z intensywnością 90–100% maksymalnej mocy tlenowej, przedzielonych 12 minutowym wysiłkiem o umiarkowanej intensywności (60–70% HRmax). Liczba powtórzeń 4-minutowego wysiłku o wysokiej intensywności była również ustalana indywidualnie; sesja kończyła się, gdy wykonana praca obniżała się o 5% w stosunku do najwyższej zarejestrowanej wartości. Zgodnie z tym kryterium uczestnicy wykonywali od 4 do 7 powtórzeń. c) Trening wytrzymałościowy ze stałą intensywnością, wynoszącą 80-90% mocy osiągniętej na progu przemian beztlenowych (drugi próg wentylacyjny - VT2). Trening ten trwał od 2 do 3 godzin – kryterium kontynuacji treningu było utrzymanie założonej intensywności. Program podzielony był na cykle treningowe. Każdy cykl rozpoczynał się treningiem SIT – pierwszego dnia, drugiego dnia wykonywany był trening HIIT, trzeciego dnia trening wytrzymałościowy, a czwarty dzień był dniem odpoczynku. W kolejnym dniu uczestnicy rozpoczynali kolejny cykl ponownie od treningu SIT.

Program treningów, wykonywany w drugiej grupie badawczej, obejmował: a) Trening wytrzymałościowy ze zmienną intensywnością, w którym naprzemiennie stosowano wysiłki: 10–15 minut o wysokiej intensywności (100-110% mocy osiągniętej na progu przemian beztlenowych) i 10–15 minut o niskiej i umiarkowanej intensywności (50 – 70% HRmax). Trening ten trwał od 2 do 3 godzin, kryterium jego kontynuacji było osiągnięcie określonej mocy. b) Trening wytrzymałościowy ze stałą intensywnością wynoszącą 80-90% mocy osiągniętej na progu przemian beztlenowych. Trening ten trwał od 2 do 3 godzin – kryterium kontynuacji treningu było utrzymanie założonej mocy. Pierwszego dnia wykonywano trening wytrzymałościowy o zmiennej intensywności; drugiego dnia - trening wytrzymałościowy o stałej intensywności; trzeciego dnia – znowu trening wytrzymałościowy o stałej intensywności; dzień czwarty był dniem wolnym od treningu. Następnego dnia rozpoczynał się kolejny cykl treningowy, w którym znowu jako pierwszy wykonywano trening wytrzymałościowy o zmiennej intensywności, itd. W obu badanych grupach intensywność treningów była mierzona podczas każdej sesji treningowej z użyciem czujnika częstości skurczów serca RS800CX (*Polar Electro, Oy, Finlandia*) i rowerowego systemu pomiaru mocy (*PowerTap, Stany Zjednoczone*).

Bezpośrednio przed i po zakończeniu eksperymentalnego okresu treningowego każdy z badanych kolarzy wykonał test progresywny, Test progresywny przeprowadzony został na cykloergometrze Cyclus 2 (*RBM Elektronik, Lipsk, Niemcy*). Wysiłek rozpoczynano przy

obciążeniu 50 W, co 3 minuty obciążenie zwiększano o kolejne 50 W, aż do odmowy kontynuacji pracy przez badanego. Podczas testu:

- Wyliczano pracę całkowitą i określano wartość maksymalnej mocy tlenowej (Pmax), jako najwyższą moc osiągniętą podczas testu.
- Rejestrowano parametry oddechowe, wykorzystując analizator Quark (*Cosmed, Rzym, Włochy*). Mierzony był pobór tlenu (VO_2), maksymalny pobór tlenu (VO_{2max}), wydychany dwutlenek węgla (VCO_2), wentylacja minutowa płuc (VE). Na podstawie zapisu danych oddechowych wyznaczano próg przemian beztlenowych - drugi próg wentylacyjny (VT2).
- Rejestrowano częstość skurczów serca (HR) przy użyciu sporttestera RS800CX.
- Szacowano objętość wyrzutową serca (SV) wykorzystując dwie niezależne metody. W pierwszej metodzie opierano się na zasadzie Ficka, w której wykorzystano wartości VO_2 i HR mierzone w ostatniej fazie testu progresywnego, kiedy osiągnięto VO_{2max} , zgodnie z równaniem: $SV = [(VO_{2max}/16,22)/HR] * 100$ (Stringer i wsp. 1997). Druga metoda wykorzystywała pomiar ciśnienia tętniczego krwi, wykonywany przy użyciu ciśnieniomierza zegarowego (*Riester, Niemcy*), bezpośrednio po zakończeniu testu progresywnego. SV oszacowano na podstawie równania: $SV = 101 + (0,50 * \text{ciśnienie tętna}) - (0,59 * \text{ciśnienie rozkurczowe}) - (0,61 * \text{wiek})$ (Jackson 1955).

Rezultaty i wnioski wynikające z artykułu nr 1

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że po okresie treningów w obu badanych grupach kolarzy istotnie zwiększyła się ilość wykonanej pracy w teście progresywnym. W grupie wykonującej autorski spolaryzowany program treningowy zakres zmian był większy, niż w grupie wykonującej treningi wytrzymałościowe (wzrost odpowiednio o 10,4% i 4,2%). Tylko w grupie wykonującej spolaryzowany program treningowy istotnie zwiększyła się wartość: maksymalnego poboru tlenu, maksymalnej wentylacji minutowej płuc oraz objętości wyrzutowej serca, szacowanej zarówno na podstawie VO_2 , jak i ciśnienia tętniczego krwi. Analizując indywidualne zmiany maksymalnego poboru tlenu w grupie wykonującej trening spolaryzowany, wartość ta wzrosła u każdego zawodnika. Wielkość zmian wynosiła od 4,7 do 13,8 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. W grupie tej wartość VO_{2max} poprawiła się średnio o 8,7 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, czyli 15%. Natomiast w

grupie wykonującej treningi wytrzymałościowe nie uzyskano istotnych zmian maksymalnego poboru tlenu.

Przeprowadzone badania dowodzą, że autorski spolaryzowany program treningowy jest bardziej skuteczny w rozwoju $VO_2\max$ i poprawie wydolności fizycznej u kolarzy, niż program składający się z treningów wytrzymałościowych. Jest prawdopodobne, że tak znaczna zmiana $VO_2\max$, wentylacji minutowej płuc, objętości wyrzutowej serca oraz ilości wykonanej pracy u osób z kilkuletnim doświadczeniem sportowym jest wynikiem zastosowania dwóch rodzajów protokołów treningu interwałowego: SIT i HIIT, oraz indywidualnego dostosowania obciążenia treningowego do każdego zawodnika.

Artykuł nr 2: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Murawska-Ciałowicz Eugenia, Zatoń Marek. Changes in exercise capacity and serum BDNF following long-term sprint interval training in well-trained cyclists. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 2019; 44(5): 499-506. [IF = 2,522; MEiN = 70 pkt.]

Artykuł numer 2 to efekt kontynuacji badań oceniających skuteczność autorskiego spolaryzowanego programu treningowego w rozwoju wydolności fizycznej kolarzy górskich. Głównym celem badań opisanych w tym artykule była ocena ostrych zmian stężenia neurotroficznego czynnika pochodzenia mózgowego (BDNF) oraz stężenia śródbłonkowego czynnika wzrostu naczyń (VEGF-A) w surowicy: przed, podczas i po sesji sprinterskiego treningu interwałowego (SIT). Ponadto, celem była ocena długotrwałych zmian stężenia BDNF i VEGF-A w efekcie stosowania 2 i 6 miesięcznego programu treningowego. BDNF jest jednym z czynników współ-wpływających na sprawność układu nerwowego (Schmolesky i wsp. 2013), przypisuje się mu rolę w tworzeniu i rozwoju neuronów oraz w powstawaniu i poprawie sprawności synaps (Bos i wsp. 2014). Czynniki BDNF wpływa nie tylko na sprawność układu nerwowego, wykazano że odgrywa istotne znaczenie w regeneracji mięśni (Clow i Jasmin 2010) oraz w tworzeniu kanalików angiogennych poprzez wpływ na ekspresję czynnika VEGF-A (Usui i wsp. 2014). Uważa się, że VEGF-A i BDNF działają jednocześnie, indukując angiogenezę – proces tworzenia nowych naczyń włosowatych (Long i wsp. 2013). VEGF-A jest również czynnikiem silnie zaangażowanym w procesy neurorozwojowe i neurodegeneracyjne (Wahl i wsp. 2011). Wskazane wyżej mechanizmy z pewnością mają istotne znaczenie w rozwoju wydolności i sprawności fizycznej.

W badaniach uczestniczyli kolarze górscy, którzy zostali losowo podzieleni na dwie grupy badane. Podczas 6-cio miesięcznego eksperymentu pierwsza grupa realizowała autorski

spolaryzowany program treningowy, który obejmował sprinterski trening interwałowy (SIT), trening interwałowy o wysokiej intensywności (HIIT), oraz trening wytrzymałościowy o stałej intensywności. Natomiast zawodnicy drugiej grupy - porównawczej realizowali program treningowy składający się z treningów interwałowych o wysokiej intensywności oraz treningów wytrzymałościowych o stałej intensywności. Przebieg poszczególnych treningów był podobny do treningów opisanych w artykule nr 1.

Bezpośrednio przed eksperymentem oraz po 2 i 6 miesiącach trwania eksperymentu wykonano badania laboratoryjne. Pierwszego dnia badań wykonywany był test progresywny, a po dniu przerwy sprinterski trening interwałowy. Test progresywny miał taką samą procedurę jak w artykule nr 1. Podczas testu oceniano maksymalną moc tlenową oraz rejestrowano parametry oddechowe. Sprinterski trening interwałowy wykonano na cykloergometrze *Cyclus 2 (RBM elektronik-automation GmbH, Niemcy)*. Został on poprzedzony rozgrzewką trwającą 20 minut o niskiej i umiarkowanej intensywności. Po rozgrzewce stosowano przerwę aktywną o niskiej intensywności trwającą 10 minut. Następnie wykonywane były 3 serie sprinterskich wysiłków interwałowych. W każdej serii wykonano 4 maksymalne wysiłki trwające po 30 sekund. Pomiędzy wysiłkami stosowano przerwę aktywną, trwającą 90 sekund. Pomiędzy seriami stosowano 25-40 minut przerwy aktywnej z niską i umiarkowaną intensywnością. Podczas każdego powtórzenia mierzono moc, obliczano ilość wykonanej pracy, rejestrowano parametry oddechowe wg podobnej procedury, jak w teście progresywnym. Przed sprinterskim treningiem interwałowym, następnie 10 minut po pierwszej serii powtórzeń, oraz 10 i 60 minut po ostatniej serii powtórzeń, pobierano krew z żyły odłokciowej, w celu wykonania oznaczeń stężenia BDNF (*Cloud-Clone Corp, USA*) oraz VEGF-A (*Diaclone SAS, Francja*).

Rezultaty i wnioski wynikające z artykułu nr 2

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że podczas sprinterskiego treningu interwałowego, wykonywanego przed eksperymentem, nie zaobserwowano bieżących zmian stężenia BDNF, w żadnej z badanych grup, natomiast stężenie VEGF-A wzrosło po pierwszej i ostatniej serii powtórzeń, w porównaniu do wartości spoczynkowej zmierzonej przed treningiem, tylko w grupie realizującej autorski spolaryzowany program treningowy. Natomiast w badaniach przeprowadzonych po 2 i 6 miesiącach wykonywania treningu, tylko w grupie realizującej program spolaryzowany, stężenie BDNF i VEGF-A w surowicy krwi obniżyło się 10 minut po pierwszej serii powtórzeń oraz 60 minut po ostatniej serii powtórzeń w porównaniu do wartości spoczynkowej, zmierzonej przed treningiem. Uzyskane wyniki

mogą wskazywać na poprawę sprawności wykorzystania BDNF oraz VEGF-A po wysiłkach z maksymalną intensywnością. Jednocześnie prezentowane wyniki dowodzą, że wykorzystanie BDNF oraz VEGF-A może być szybsze po jednej serii wysiłków sprinterskich, niż po całym treningu składającym się z 3 serii. Ponieważ obniżenie stężenia BDNF poniżej wartości wyjściowej zaobserwowano już w 10. minucie po zakończeniu pierwszej serii maksymalnych wysiłków, natomiast po całym treningu obniżone stężenie BDNF poniżej wartości spoczynkowej wykazaliśmy dopiero w 60. minucie restytucji. Jedną z możliwych ról wykorzystania BDNF jest naprawa uszkodzeń mięśni wywołanych wysiłkiem fizycznym. Większość krążącego BDNF jest magazynowana w płytkach krwi, gdzie znajdują się również inne czynniki wzrostu, w tym naskórkowy czynnik wzrostu (EGF) (Oka i Orth 1983), czynnik wzrostu śródbłónka naczyniowego (VEGF) (Tischer i wsp. 1989) oraz płytkopochodny czynnik wzrostu (PDGF). Na podstawie dostępnego piśmiennictwa oraz wyników przedstawionych w artykule nr 2 można przypuszczać, że obniżenie stężenia BDNF i VEGF-A po maksymalnym wysiłku wskazuje na jego wykorzystanie w regeneracji uszkodzonych mięśni szkieletowych. Prawdopodobnie jest to efekt regularnie wykonywanego sprinterskiego treningu interwałowego, ponieważ poziom BDNF przed eksperymentem po serii maksymalnych sprintów nie zmienił się, podczas gdy poziom VEGF-A 10 minut po pierwszej i trzeciej serii istotnie zwiększył się w grupie realizującej trening spolaryzowany.

Spoczynkowe wartości stężenia BDNF nie zmieniły się w żadnej z badanych grup. Na podstawie danych z piśmiennictwa spodziewaliśmy się wzrostu spoczynkowych wartości stężenia BDNF w surowicy krwi, w efekcie zastosowania programów treningowych (Murawska-Ciałowicz i wsp. 2015; Angelucci i wsp. 2016; Church i wsp. 2016). Brak zmian spoczynkowego stężenia BDNF, w prowadzonych badaniach, może wynikać z relatywnie wysokich wartości spoczynkowych BDNF, jakie zmierzono podczas badań przed eksperymentem wśród uczestników. Poziom ten mieścił się w zakresie normy fizjologicznej, ale w porównaniu do uczestników innych badań był wyższy (Knaepen i wsp. 2010). Na tej podstawie można przypuszczać, że istnieją mechanizmy regulujące spoczynkowy poziom BDNF i jego zmiana poprzez regularny trening jest możliwa tylko w określonych indywidualnie granicach.

Tylko w grupie realizującej autorski spolaryzowany program treningowy spoczynkowe stężenie VEGF-A było istotnie wyższe w badaniach wykonanych po 2. i 6. miesiącu treningu w porównaniu do wartości zmierzonej przed eksperymentem. Wobec tego intensyfikacja treningu, polegająca na wprowadzeniu autorskiego spolaryzowanego programu treningowego jest skuteczna w stymulowaniu wzrostu stężenia VEGF-A. Ponadto

dowiedliśmy, że uzyskane zmiany stężenia VEGF-A mogą się utrzymywać przez 6 miesięcy, jeśli nadal wykonuje się treningi spolaryzowane. Zwiększenie stężenia VEGF-A jest korzystne ponieważ m. in. wpływa na proces tworzenia nowych naczyń włosowatych, tym samym poprawia sprawność krążeniowo-oddechową i poziom wydolności fizycznej.

Artykuł nr 3: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Borkowski Jacek, Zatoń Marek. Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise-induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds. *Isokinetics and Exercise Science*, 2019; 27(1): 21-29. [IF = 0,474; MEiN = 40 pkt.]

W badaniach opisanych w artykule nr 3 podjęłam próbę oceny zmian stężenia mioglobiny (Mb) i aktywności kinazy kreatynowej (CK) w krwi podczas wielokrotnie powtarzanego ciężkiego wysiłku (był nim sprinterski trening interwałowy). Ponadto, zamierzałam ustalić, czy adaptacja do ciężkich treningów (zawartych w autorskim spolaryzowanym programie treningowym) zmieni odpowiedź organizmu na pojedynczy sprinterski trening interwałowy, mierzoną jako zmiany stężenia Mb i zmiany aktywności CK. Na podstawie analizy dostępnego piśmiennictwa wiadomo, że intensywny trening (między innymi trening interwałowy, w którym generowana jest wysoka moc mięśniowa) wpływa na powstawanie mikrouszkodzeń mięśni szkieletowych (Newham i wsp. 1986; Abbiss i Laursen 2005; Brancaccio i wsp. 2010). Dodatkowo praca mięśniowa o charakterze izometrycznym i ekscentrycznym intensyfikuje powstawanie mikrouszkodzeń mięśni szkieletowych (Newham i wsp. 1986; Carpes i wsp. 2007; Prins i wsp. 2007). Potwierdziliśmy to również w późniejszych badaniach własnych przeprowadzonych podczas wyścigów kolarskich (Hebisz i wsp. 2022). Jednak z drugiej strony uszkodzenia włókien mięśniowych są bodźcem stymulującym regenerację i rozwój adaptacji wysiłkowej (Banfi i wsp. 2012). Jedną z miar uszkodzeń włókien mięśniowych jest wzrost stężenia mioglobiny i aktywności kinazy kreatynowej w krwi (Noakes 1987; Brancaccio i wsp. 2010). W związku z powyższym w badaniach opisanych w artykule nr 3 chcieliśmy określić, czy na stopień uszkodzenia mięśni przez pojedynczy sprinterski trening interwałowy, może wpływać rodzaj wcześniej stosowanych programów treningowych (doświadczenie treningowe).

W badaniach uczestniczyli kolarze górscy, którzy zostali podzieleni na trzy grupy. Dwie grupy realizowały autorski spolaryzowany program treningowy (pierwsza grupa spolaryzowana i druga grupa spolaryzowana), natomiast trzecia grupa realizowała program

treningów wytrzymałościowych. Podczas dokonywania podziału na grupy uwzględniono charakterystykę treningów, które kolarze wykonywali 3 miesiące przed rozpoczęciem eksperymentu (dane zebrane z zapisów treningowych z wykorzystaniem systemu *Garmin Connect, Ltd., USA*) oraz charakterystykę treningów wykonywanych podczas eksperymentu. Zawodnicy pierwszej grupy spolaryzowanej przed eksperymentem wykonywali głównie treningi wytrzymałościowe o dużej objętości i umiarkowanej intensywności, tygodniowa objętość treningów wynosiła 14-16 godzin. Zawodnicy drugiej grupy spolaryzowanej przed eksperymentem wykonywali treningi o mniejszej objętości i większej intensywności, tygodniowy czas treningów wynosił 7-9 godzin. Podczas 8-tygodniowego eksperymentu zawodnicy obu grup spolaryzowanych realizowali autorski spolaryzowany program treningowy, który obejmował sprinterski trening interwałowy (SIT), trening interwałowy o wysokiej intensywności (HIIT) oraz trening wytrzymałościowy o stałej intensywności. Zawodnicy grupy trzeciej (wytrzymałościowej) przed eksperymentem wykonywali głównie treningi wytrzymałościowe o dużej objętości i umiarkowanej intensywności, kontynuowali je nie wprowadzając żadnych zmian podczas eksperymentu.

Bezpośrednio przed i po eksperymentcie wykonano badania laboratoryjne: test progresywny oraz sprinterski trening interwałowy. Procedura zastosowana podczas testów laboratoryjnych była taka sama jak w poprzednich artykułach. Podczas testów obliczano ilość wykonanej pracy, mierzono moc i pobór tlenu. Stężenie mioglobiny (*EIAab, Stany Zjednoczone*) i aktywność kinazy kreatynowej (*Biosystems, Hiszpania*) mierzono w surowicy krwi pobieranej 20 minut przed rozpoczęciem i 60 minut po zakończeniu sprinterskiego treningu interwałowego. Dodatkowo wyliczano różnicę pomiędzy powysiłkowym i spoczynkowym stężeniem mioglobiny ΔMb oraz aktywnością kinazy kreatynowej ΔCK w surowicy. Aktywność CK jest zazwyczaj oceniana od 1. do 72. godziny po wysiłku, a szczytowe wartości obserwuje się między 8. a 24. godziną po wysiłku (Stäubli i wsp. 1985; Hurley i wsp. 1995; Serrão i wsp. 2003; Baird i wsp. 2012). Stężenie Mb najczęściej ocenia się 1 godzinę po wysiłku i właśnie wtedy powinno osiągnąć szczytową wartość (Driessen-Kletter i wsp. 1990; Brancaccio i wsp. 2010). W opisywanym badaniu próbki krwi pobrano 60 minut po teście ze względów logistycznych, ponieważ uczestnicy badań po zakończeniu testu wracali do miejsca zamieszkania. Tak wczesny pomiar CK po wysiłku może nie odzwierciedlać rzeczywistego stanu zmęczenia. Jednak w badaniach Totsuka i wsp. (2002) istotny wzrost aktywności CK wystąpił 3 godziny po wysiłku, w badaniach Park i Lee (2015) 2 godziny po wysiłku, natomiast Koutedakis i wsp. (1993) oraz Brancaccio i wsp. (2010) wykazali, że nawet 5 min po maksymalnym teście wysiłkowym aktywność CK we krwi

istotnie wzrosła. W związku z powyższymi doniesieniami podjęłam próbę oceny aktywności CK w próbkach krwi pobranych 60 minut po sprinterskim treningu interwałowym.

Rezultaty i wnioski wynikające z artykułu nr 3

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu potwierdzono, że wielokrotnie powtarzany wysiłek sprinterski wpływa na zwiększenie stężenia Mb i aktywności CK we krwi. Ponadto wykazano, że autorski spolaryzowany program treningowy wpłynął na zmiany stężenia Mb (ΔMb) i aktywności CK (ΔCK) obserwowane w efekcie wykonania SIT. Kolarze grupy spolaryzowanej, którzy przed eksperymentem trenowali z większą objętością osiągnęli mniejsze ΔMb i ΔCK po eksperymencie w porównaniu do badań wyjściowych. Natomiast kolarze grupy spolaryzowanej, którzy przed eksperymentem trenowali z mniejszą objętością osiągnęli większe ΔMb i ΔCK . Jednocześnie ustalono, że tylko grupa spolaryzowana przygotowana uprzednio treningiem o dużej objętości istotnie zwiększyła ilość pracy wykonanej w SIT.

Powyższe dane pokazują, że przygotowanie organizmu poprzez treningi o dużej objętości ma wpływ na efekty autorskiego spolaryzowanego programu treningowego. Niedostateczne przygotowanie treningami o dużej objętości sprawia, że odporność mięśni na uszkodzenia oraz zdolność do wykonywania intensywnej pracy nie rozwijają się.

Artykuł nr 4: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał. The effect of polarized training (SIT, HIIT, and ET) on muscle thickness and anaerobic power in trained cyclists. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021; 18(12): 6547. [IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.]

W badaniach opisanych w artykule nr 4 oceniano wpływ zastosowania autorskiego spolaryzowanego programu treningowego na przekrój poprzeczny mięśni uda oraz wartość maksymalnej mocy beztlenowej. Według niektórych autorów rozwojowi maksymalnej mocy beztlenowej towarzyszy zwiększenie przekroju poprzecznego mięśni, a w konsekwencji zwiększenie masy mięśniowej (Naimo i wsp. 2015; Rosenblat i wsp. 2020). Duży odsetek masy mięśniowej w składzie ciała nie jest korzystny podczas wykonywania niektórych wysiłków. Na przykład w kolarstwie górskim znaczna liczba treningów oraz rywalizacja odbywa się w terenie górskim lub pagórkowatym, więc masa ciała ma wpływ na sposób i prędkość przemieszczania się (Impellizzeri i wsp. 2005). Wielu autorów dowodzi, że treningi interwałowe wpływają na poprawę mocy szczytowej i średniej podczas krótkich

maksymalnych wysiłków oraz na przyrost masy mięśniowej i zwiększenie przekroju mięśni, zarówno wśród osób nietreningujących jak i treningujących (Roth i wsp. 2001; Häkkinen i wsp. 2003; Hudelmaier i wsp. 2010; Estes i wsp. 2017). W związku z powyższym kolejnym celem prowadzonych przeze mnie badań było sprawdzenie, czy zastosowanie autorskiego spolaryzowanego programu treningowego, obejmującego treningi interwałowe, wpływa na zmiany przekroju mięśnia czworogłowego uda.

W badaniach uczestniczyli kolarze górscy, których losowo podzielono na dwie grupy. Podczas 9-tygodniowego eksperymentu jedna grupa kolarzy realizowała autorski spolaryzowany program treningowy obejmujący sprinterski trening interwałowy (SIT), trening interwałowy o wysokiej intensywności (HIIT) oraz trening wytrzymałościowy o stałej intensywności. Natomiast druga grupa kolarzy (grupa porównawcza) wykonywała treningi HIIT oraz treningi wytrzymałościowe o stałej i zmiennej intensywności.

Bezpośrednio przed i po zakończeniu eksperymentu przeprowadzono badania laboratoryjne, które obejmowały ultrasonograficzny pomiar przekroju mięśni uda oraz wykonanie sprinterskiego treningu interwałowego. Pomiar przekroju mięśni uda wykonywano przed rozpoczęciem sprinterskiego treningu interwałowego. Uczestnikom mierzono masę ciała oraz przekrój mięśnia czworogłowego uda wykorzystując ultrasonograf BodyMetrix™ System (*Hosand Technologies, Włochy*) z sondą pracującą w trybie A z częstotliwością 2,5MHz. Przekrój mięśnia czworogłowego uda prawego i lewego zmierzono po wykonaniu zdjęcia ultrasonograficznego wzdłuż przebiegu mięśnia prostego uda. W analizie danych posłużono się łączną grubością warstwy mięśniowej wzdłuż dokonanego pomiaru, którą stanowiła warstwa mięśnia prostego uda oraz warstwa mięśnia obszernego pośredniego. Do analizy wykorzystano miejsce, w którym przekrój mięśnia był największy. Sprinterski trening interwałowy wykonano zgodnie z procedurą opisaną w początkowych artykułach prezentowanego cyklu.

Rezultaty i wnioski wynikające z artykułu nr 4

Przeprowadzone badania wykazały, że po 9-tygodniowym procesie treningowym w grupie realizującej autorski spolaryzowany program treningowy zmniejszył się przekrój mięśnia uda prawego i lewego. Ponadto, zaobserwowano zwiększenie wartości mocy średniej we wszystkich powtórzeniach wykonanych podczas sprinterskiego treningu interwałowego. Natomiast w grupie porównawczej nie zaobserwowano istotnych zmian w przekrojach mięśniowych oraz w wartościach mocy szczytowej i/lub średniej.

Zmniejszenie się przekroju mięśnia czworogłowego uda uważam za szczególnie istotny efekt moich badań, ponieważ jest efektem odmiennym w porównaniu do wyników badań innych autorów. Autorzy ci dowodzą że podjęcie regularnej aktywności fizycznej o charakterze siłowym (Roth i wsp. 2001; Häkkinen i wsp. 2003; Putman i wsp. 2004; Hudelmaier i wsp. 2010), wytrzymałościowym-tlenowym (Konopka i Harber 2014; Harber i wsp. 2012) a także interwałowym (Bazyler i wsp. 2015; Naimo i wsp. 2015; Estes i wsp. 2017) wpływa na zwiększenie przekroju poprzecznego mięśni. Uczestnikami badań w wyżej cytowanych artykułach były osoby nietreningujące. Natomiast w badaniach własnych opisanych w artykule nr 4 uczestniczyli kolarze, którzy systematycznie trenowali przed rozpoczęciem eksperymentu. Wobec tego wyjściowy poziom aktywności fizycznej może być czynnikiem wyjaśniającym różnice pomiędzy wynikami badań. Niektórzy autorzy dowodzą, że zastosowanie programów treningowych składających się z treningów siłowych i treningów wytrzymałościowych nie prowadzi do powiększenia się przekroju poprzecznego mięśni wśród sportowców (Coffey i wsp. 2006; Losnegard i wsp. 2011; Murach i Bagley 2016). W naszym eksperymencie nie wykorzystywaliśmy treningu siłowego, ale silnym czynnikiem stymulującym rozwój przekroju mięśni, tak ja sugerowano (Bazyler i wsp. 2015; Naimo i wsp. 2015; Estes i wsp. 2017), mógł być trening SIT. Wykonywanie wysiłków wytrzymałościowych mogło być czynnikiem, który zahamował rozwój przekroju poprzecznego uda, którego spodziewaliśmy się w efekcie intensywnych treningów SIT wśród kolarzy górskich. Co więcej, zaobserwowaliśmy spadek przekroju poprzecznego mięśni czworogłowych uda kończyny dolnej prawej i lewej w grupie realizującej autorski spolaryzowany program treningowy, co jest efektem zaskakującym. Może to również wynikać z odmiennego protokołu treningu SIT, w porównaniu do innych badań, w których pomiędzy maksymalnymi wysiłkami stosowano dłuższe przerwy, np. 4 minutowe (Naimo i wsp. 2015). Campos i wsp. (2002) wykazali, że stosowanie krótkiej przerwy między powtórzeniami, która nie pozwala na optymalny wypoczynek, oraz wykonywanie dużej liczby powtórzeń podczas treningu siłowego nie wpływa na zmiany przekroju mięśni. Inni autorzy wykazali, że zastosowanie podczas treningu siłowego lub podczas treningu interwałowego przerwy, która nie pozwala na optymalny wypoczynek pomiędzy kolejnymi powtórzeniami, wpływa na zmniejszenie przekroju mięśniowego (Souza i wsp. 2011; 2014). W badaniach Souza i wsp. (2011; 2014) zastosowanie krótkiej przerwy wypoczynkowej skutkowało zwiększeniem ekspresji katabolicznego białka zaniku mięśni F-box (MAFbx) oraz zmniejszeniem poziomu białek anabolicznych takich jak miogenne czynniki regulacyjne

(MyoD, miogenina) oraz insulinopodobny czynnik wzrostu (IGF-I). Ten mechanizm może wyjaśniać uzyskane przez nas wyniki.

Uzyskane w naszym badaniu zmiany przekroju poprzecznego mięśni czworogłowych uda mogą mieć znaczenie w rywalizacji sportowej ponieważ liczni autorzy wskazują, że wyniki sportowe, między innymi w kolarstwie górskim, są skorelowane z mocą uzyskiwaną na progach metabolicznych i mocą maksymalną generowaną przez mięśnie podczas testów progresywnych wyrażoną w W/kg masy ciała (Impellizzeri i wsp. 2005). Co więcej Inoue i wsp. (2012) oraz Bejder i wsp. (2019) dowiedli, że średnia moc (wyrażona w W/kg) w sprinterskim treningu (teście) interwałowym, składającym się z 4 sprintów trwających po 30 sekund, silnie koreluje z wynikami sportowymi kolarzy górskich. Wyniki zaprezentowane w artykule nr 4 dowiodły wzrostu średniej mocy beztlenowej w sprinterskim treningu interwałowym. Powyższe efekty uzyskano przy braku istotnych zmian masy ciała i zmniejszeniu przekroju mięśni czworogłowych uda. Dlatego efekty te mogą korzystnie wpłynąć na wyniki sportowe w kolarstwie górskim, gdyż prowadzą do poprawy mocy mięśniowej rozpatrywanej w W/kg masy ciała.

Artykuł nr 5: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Jastrzębska Agnieszka. An attempt to predict changes in heart rate variability in the training intensification process among cyclists. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021; 18(14): 7636. [IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.]

W artykule nr 5 spolaryzowany program treningowy określiliśmy intensyfikacją treningu. Określenie to zostało użyte na podstawie doniesień naukowych innych autorów, wykazujących że intensyfikacja treningu polega na kilkutygodniowym, a nawet kilkumiesięcznym skróceniu czasu trwania i częstości wykonywania treningów LIT oraz zwiększeniu czasu trwania i częstości stosowania treningów HIIT (Seiler i wsp. 2010). Są autorzy, którzy uważają, że zwiększenie intensywności procesu treningowego wiąże się z ryzykiem przeciążenia, przetrenowania. Z drugiej strony uważa się, że zwiększenie intensywności trenowania jest skuteczne w rozwoju wydolności krążeniowo-oddechowej. Dlatego należy się spodziewać, że reakcje organizmu na intensyfikację treningu mogą się różnić międzypersonalnie. Popularną metodą oceny stresu fizjologicznego i obciążenia organizmu treningiem jest analiza czynności autonomicznego układu nerwowego na podstawie zapisów spoczynkowej zatokowej zmienności rytmu serca (HRV) (Pichot i wsp. 2002; Earnest i wsp. 2004; Kaikkonen i wsp. 2012; Schmitt i wsp. 2013). Wiadomo również,

że spoczynkowe i restytucyjne HRV jest skorelowane z wydolnością krążeniowo-oddechową (Daanen i wsp. 2012; Da Silva i wsp. 2014). Ponieważ pomiar HRV służy zarówno ocenie stopnia obciążenia organizmu, jak i ocenie sprawności krążeniowo-oddechowej, to mógłby stać się dobrą miarą oceny indywidualnych reakcji na intensywne treningi. Ponieważ trening wpływa na wzrost aktywności układu przywspółczulnego (nerwu błędnego), to założyliśmy, że zwiększenie parametrów HRV może być szczególnie duże u osób o wyjściowo niskich wartościach np. mocy widma wysokich częstotliwości (HF) lub pierwiastka kwadratowego ze średniej sumy kwadratów różnic pomiędzy kolejnymi odstępami RR (RMSSD).

W artykule nr 5 ocenialiśmy indywidualne zmiany spoczynkowych parametrów HRV u kolarzy podczas procesu treningowego, w którym po okresie dominującego treningu LIT zwiększył się udział treningu HIIT. Przyjęto, że u kolarzy charakteryzujących się niskimi (w porównaniu z innymi obserwowanymi osobami) spoczynkowymi wartościami HRV intensyfikacja treningu spowoduje relatywnie duże zmiany tych parametrów, natomiast u kolarzy z wysokimi spoczynkowymi wartościami HRV intensyfikacja treningu skutkowałaby stosunkowo niewielkimi ich zmianami.

W badaniu wzięło udział siedmiu kolarzy górskich. Badanie polegało na obserwacji efektów procesu treningowego prowadzonego przez 12 tygodni i zostało opracowane w oparciu o klasyczny model periodyzacji (Kiely 2012; Solli i wsp. 2019). Badanie podzielono na dwa 6-tygodniowe okresy. W pierwszym okresie (P1) dominowały treningi LIT. W drugim okresie (P2) zmniejszono liczbę i czas trwania treningów LIT, natomiast zwiększono liczbę i czas trwania treningów HIIT. Realizowano 4-dniowe mikrocykle treningowe (trzy dni treningowe i czwarty dzień to aktywny lub bierny wypoczynek). W pierwszym okresie każdy mikrocykl obejmował dwa treningi wytrzymałościowe oraz jeden trening interwałowy o wysokiej intensywności. W drugim okresie każdy mikrocykl obejmował dwa treningi interwałowe o wysokiej intensywności oraz jeden trening wytrzymałościowy.

Bezpośrednio przed każdym okresem treningowym wykonywano test progresywny zgodnie z procedurą opisaną w początkowych artykułach prezentowanego cyklu. Podczas procesu treningowego, wykorzystując pulsometry V800 (*Polar Electro Oy, Finlandia*) rejestrowano odstęp czasowy między załamkami R (RR). Każdą rejestrację wykonywano codziennie przez 10 minut po przebudzeniu, w pozycji leżącej. Analizie poddano 5-minutowy odcinek rozpoczynający się w 30. sekundzie nagrania. Dla każdego zapisu obliczono następujące parametry: uśrednione odcinki czasowe pomiędzy załamkami R (RRNN), odchylenie standardowe od średniej odcinków czasowych pomiędzy załamkami R (SDNN), pierwiastek kwadratowy ze średniej sumy kwadratów różnic pomiędzy kolejnymi odstępami

RR (RMSSD) oraz parametry szybkiej transformacji Fouriera: moc widma niskich częstotliwości (LF), moc widma wysokich częstotliwości (HF), całkowitą moc widma (T). Obliczenia przeprowadzono w programie Kubios HRV Standard (*Kubios Oy, Finlandia*) używając szybkiej transformacji Fouriera.

Rezultaty i wnioski wynikające z artykułu nr 5

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że u trzech kolarzy zbiór wyników HF gromadzonych w okresie P2 był istotnie wyższy od zbioru wyników HF gromadzonych w okresie P1. Natomiast u jednego kolarza zbiór wyników HF gromadzonych w okresie P1 był wyższy od zbioru wyników gromadzonych w okresie P2. Z analizy dostępnego piśmiennictwa wynika, że wartości spoczynkowe częstości skurczów serca i wartości HRV są powiązane z wydolnością tlenową i wydolnością krążeniowo-oddechową (Grant i wsp. 2013; Plaza-Florido i wsp. 2019). Bellenger i wsp. (2016) wykazali, że wzrost wydolności wysiłkowej w procesie treningowym związany był z poprawą parametrów HRV, takich jak RMSSD i HF. Sandercock i wsp. (2005) w swojej metaanalizie dowodzą, że długotrwały proces treningowy oparty na wysiłku tlenowym prowadzi do wzrostu spoczynkowych wartości HF, a Macor i wsp. (1996) wskazują, że kolarze wyczynowi mają wyższe spoczynkowe wartości HF niż osoby nietreningowe. Jednak publikacje opisujące wpływ intensyfikacji treningu na parametry HRV dostarczają niespójnych wyników. Pichot i wsp. (2000) wykazali, że w okresie 3 tygodni, kiedy intensywny trening stanowił 30% całkowitego obciążenia, wartość HF obniżyła się, chociaż w omawianym badaniu celem był trening prowokujący kumulację zmęczenia. Schneidera i wsp. (2019) sugerowali, że wśród sportowców logarytm naturalny RMSSD nie zmienił się po kilku treningach HIIT. Podobnie Daniłowicz-Szymanowicz i wsp. (2011) nie zaobserwowali zmian HF, RMSSD ani SDNN w wyniku 2-miesięcznej intensyfikacji treningu wśród biegaczy. Natomiast Raczak i wsp. (2006) wykazali, że u biegaczy po okresie 4 miesięcy, w którym zwiększono liczbę treningów o wysokiej intensywności, wzrosły wartości RMSSD, SDNN i LF. Uzupełnieniem powyższych doniesień innych autorów są wyniki zaprezentowane w artykule nr 5, w którym wykazujemy, że zmiany parametrów HRV w wyniku intensyfikacji procesu treningowego są zindywidualizowane wśród sportowców.

Dzięki temu, że dane o HRV i obciążeniach treningowych były przez nas gromadzone codziennie, mogliśmy podjąć próbę poszukiwania zależności pomiędzy indywidualną objętością wysiłków o niskiej intensywności i indywidualnymi danymi o zmienności zatokowego rytmu pracy serca. Podjęliśmy też próbę wskazania indywidualnych zależności

między objętością wysiłków o wysokiej intensywności i danymi o HRV. Wykazaliśmy, że u zawodników o niskim wyjściowym poziomie HF, RMSSD, SDNN istnieje dodatnia korelacja (o umiarkowanej sile) pomiędzy objętością stosowanych ćwiczeń o wysokiej intensywności i miarami aktywności przywspółczulnego układu nerwowego (spoczynkowe HF, RMSSD, SDNN). Ponadto u zawodnika o najwyższym wyjściowym poziomie HF, RMSSD, SDNN istniała ujemna korelacja pomiędzy objętością zastosowanych ćwiczeń o wysokiej intensywności i miarami aktywności przywspółczulnego układu nerwowego. Na podstawie powyższych korelacji oraz dalszych analiz w artykule nr 5 zasugerowano, że reakcja autonomicznego układu nerwowego na intensyfikację procesu treningowego może być związana z wyjściowym poziomem zmienności zatokowego rytmu pracy serca. Taka informacja może być przydatna dla trenerów i zawodników dążących do osiągnięcia wysokiego pobudzenia przywspółczulnego w spoczynku (jako miary niskiego poziomu stresu i wysokiej sprawności krążeniowej), na przykład w okresie startów w zawodach sportowych. Możliwe, że metodyka analiz zastosowanych w artykule nr 5 może być wykorzystana w treningu zdrowotnym, jeśli jego celem jest rozwój aktywności przywspółczulnej (uznawanej za miarę ryzyka rozwoju schorzeń układu krążenia).

Artykuł nr 6: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Danek Natalia, Michalik Kamil, Zatoń Marek. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2022; 36(6): 1726-1730. [IF = 3,200; MEiN = 100 pkt.]

W artykule nr 6 zaprezentowane zostały wyniki rozszerzające wyżej opisane osiągnięcia badawcze. Przedstawione zostały wskaźniki fizjologiczne, na podstawie których można przewidywać rozwój maksymalnego poboru tlenu (VO_{2max}) w odpowiedzi na zastosowanie autorskiego spolaryzowanego programu treningowego u kolarzy. Próba wskazania wskaźników predykcji odpowiedzi na program treningowy wynikała z wcześniejszych spostrzeżeń. Podczas analiz dostępnego piśmiennictwa oraz analiz wcześniej prowadzonych badań dostrzegaliśmy, że odpowiedź adaptacyjna na programy treningowe jest zróżnicowana. Na podstawie tych analiz założyliśmy, że odpowiedź adaptacyjna na autorski spolaryzowany program treningowy powinna być związana z wyjściowym poziomem wydolności fizycznej oraz uprzednio stosowanymi bodźcami treningowymi (Laursen i wsp. 2005). Na podstawie naszych wcześniejszych badań (przedstawionych w artykule nr 3)

wiedzieliśmy już, że staż treningów o dużej objętości może pozytywnie wpływać na mniejsze uszkodzenia narządowe, powstające podczas intensywnej pracy oraz może wpływać na większą zdolność do wykonywania intensywnych wysiłków treningowych, przy mniejszym zaburzeniu równowagi kwasowo-zasadowej (Hebisz i wsp. 2019). Wykonanie większej pracy podczas treningów mogłoby ostatecznie wpływać bardziej efektywnie na rozwój wydolności fizycznej. Założyliśmy również, że odpowiedź adaptacyjna na autorski spolaryzowany program treningowy może być zależna od zdolności regulowania kwasicy metabolicznej po intensywnych wysiłkach (Tabata i wsp. 1997). Taka regulacja polega między innymi na usuwaniu dwutlenku węgla na drodze nasilonej wentylacji minutowej płuc (Duffin 2005). W związku z tym silna odpowiedź wentylacyjna na intensywny wysiłek mogłaby sprzyjać sprawnej restytucji i w ten sposób umożliwiać trenującym wykonanie większej liczby wysiłków o dużej mocy. Wykonanie większej pracy mogłoby ostatecznie wpłynąć na wielkość zmian adaptacyjnych.

W przeprowadzonych badaniach uczestniczyli kolarze górscy. Przeanalizowano historię treningów uczestników i zarejestrowano całkowity dystans przejechany na rowerze podczas całego roku poprzedzającego omawiane badania. Podczas 8-tygodniowego eksperymentu zastosowano autorski spolaryzowany program treningowy, który obejmował sprinterski trening interwałowy (SIT), trening interwałowy o wysokiej intensywności (HIIT) oraz trening wytrzymałościowy.

Podczas eksperymentu, w pierwszej i ostatniej sesji SIT, podczas ostatnich 2 minut przerwy po rozgrzewce, rejestrowano odstępy czasu między załawkami R (RR) wykorzystując pulsometr V800 (*Polar Electro Oy, Finlandia*). Oprogramowanie Kubios HRV Standard (*Kubios Oy, Finlandia*) zostało użyte do analizy HRV według domen czasu i częstotliwości. Obliczenia w zakresie czasu obejmowały odchylenie standardowe od średniej odcinków czasowych pomiędzy załawkami R (SDNN) i pierwiastek kwadratowy ze średniej sumy kwadratów różnic pomiędzy kolejnymi odstępami RR (RMSSD). W dziedzinie częstotliwości przeprowadzono analizę widmową przy użyciu szybkiej transformacji Fouriera w celu uzyskania mocy widma wysokiej częstotliwości (HF) i mocy widma niskiej częstotliwości (LF).

Przed i po zakończeniu eksperymentu uczestnicy wykonali test progresywny, przed testem mierzono skład ciała (masę ciała szczupłego – LBM oraz % zawartość tkanki tłuszczowej) wykorzystując analizator Bodymetrix (*Intelamatrix, Brentwood, USA*). Podczas testu mierzono maksymalny pobór tlenu (VO_2max) oraz maksymalną wentylację minutową

płuc ($\dot{V}E_{max}$), które znormalizowano do LBM. Test progresywny wykonywano zgodnie z procedurą opisaną w początkowych artykułach niniejszego cyklu.

Rezultaty i wnioski wynikające z artykułu nr 6

Wykonano korelacje cząstkowe dla wszystkich zmiennych (dystans pokonany podczas wszystkich treningów w całym roku poprzedzającym eksperyment, $\dot{V}O_{2max} \cdot LBM^{-1}$, $\dot{V}E_{max} \cdot LBM^{-1}$, HF, LF i RMSSD) typowanych jako predyktory zmiany $\dot{V}O_{2max}$ ($\Delta \dot{V}O_{2max}$). Najsilniejszy współczynnik korelacji wielokrotnej stwierdzono między zmianą adaptacyjną $\dot{V}O_{2max}$, do autorskiego spolaryzowanego programu treningowego, a rocznym dystansem pokonanym przez kolarzy, $\dot{V}E_{max} \cdot LBM^{-1}$ oraz RMSSD. Model regresji, który opracowano na podstawie tej korelacji ($r = 0,868$; $p = 0,000$; $F = 16,31$) był następujący:

$$\Delta \dot{V}O_{2max} = -0.790215 + (0.000032 * \text{Dystans}) + (0.300521 * \dot{V}E_{max} \cdot LBM^{-1}) + (0.003256 * \text{RMSSD})$$

W powyższym modelu korelacja cząstkowa dla RMSSD nie osiągnęła założonego kryterium prawdopodobieństwa statystycznego. Dlatego w artykule nr 6 wykazaliśmy drugą korelację wielokrotną między zmianą adaptacyjną $\dot{V}O_{2max}$ a rocznym dystansem pokonanym przez kolarzy i $\dot{V}E_{max} \cdot LBM^{-1}$. Model regresji dla tej korelacji ($r = 0,837$; $p = 0,000$; $F = 19,82$), który przewidywał $\Delta \dot{V}O_{2max}$ był następujący:

$$\Delta \dot{V}O_{2max} = -0.953219 + (0.000034 * \text{Dystans}) + (0.379657 * \dot{V}E_{max} \cdot LBM^{-1})$$

Zarówno w pierwszym jak i drugim modelu stan wytrenowania, określany jako dystans przejechany na rowerze w roku poprzedzającym badania, był najsilniejszym predyktorem $\Delta \dot{V}O_{2max}$ (siła korelacji cząstkowej była duża).

W prezentowanych równaniach regresji uwzględniano maksymalną wentylację płuc znormalizowaną do masy ciała szczupłego $\dot{V}E_{max} \cdot LBM^{-1}$. Normalizacja ta wydaje się uzasadniona, ponieważ w piśmiennictwie uznano, że pobór tlenu podczas wysiłku ma większą wartość diagnostyczną w odniesieniu do masy ciała szczupłego (Crespo i wsp. 2009; Cooper i wsp. 2014). Takie podejście do analizy poboru tlenu podkreśla rolę tkanki mięśniowej jako najaktywniejszej metabolicznie i zużywającej najwięcej tlenu (Cooper i wsp. 2014) i wyklucza tkankę tłuszczową, która prawie nie zużywa tlenu i podlega minimalnej perfuzji (Crespo i wsp. 2009). Wentylacja minutowa płuc jest czynnikiem związanym zarówno z $\dot{V}O_2$ jak i $\dot{V}CO_2$ dlatego dokonaliśmy analizy po znormalizowaniu jej do LBM. Nasze wyniki wzmacniają ważność $\dot{V}E_{max} \cdot LBM^{-1}$ jako zmiennej, która ilustruje metaboliczne znaczenie wentylacji płuc w odniesieniu do metabolicznie aktywnej tkanki.

Zaprezentowane w artykule nr 6 równania regresji wielorakiej są innowacyjne, ponieważ w dostępnym piśmiennictwie nie znalazłam podobnych metod przewidywania efektów trenowania. Dostępne są jedynie pośrednie metody estymowania bieżącej (a nie osiągniętej w przyszłości) wartości VO_{2max} (Heil i wsp. 1995; George i wsp. 1997; Akalan i wsp. 2008). Natomiast nasze analizy statystyczne pokazują, że można przewidzieć efekty zastosowania autorskiego spolaryzowanego programu treningowego w oparciu o analizę doświadczenia treningowego oraz $VE_{max} \cdot LBM^{-1}$. Wyniki tych badań są rozszerzeniem wniosków wskazanych w artykule nr 5, gdzie stwierdziliśmy, że można przewidywać efekty autorskiego spolaryzowanego programu treningowego w oparciu o analizę wyjściowych danych o HRV mierzonym w spoczynku.

Wyniki analiz zaprezentowanych w artykule nr 6 mogą mieć wysoką wartość aplikacyjną. Sportowcy i trenerzy, a także osoby ćwiczące rekreacyjnie mogą podejmować próby przewidywania skuteczności zastosowania autorskiego spolaryzowanego programu treningowego w ich indywidualnych przypadkach poprzez analizy VE_{max} , HRV i historii trenowania.

Artykuł nr 7: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Drelak Maja. Comparison of aerobic capacity changes as a result of a polarized or block training program among trained mountain bike cyclists. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021; 18(16): 8865. [IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.]

W ostatnim artykule, prezentowanego przeze mnie cyklu, porównuję skuteczność autorskiego spolaryzowanego programu treningowego oraz blokowego programu treningowego w rozwoju wydolności tlenowej. Zgodnie z koncepcją blokowego programu treningowego naprzemiennie stosuje się kilkunastodniowe bloki treningu LIT oraz kilku lub kilkunastodniowe bloki treningów o dużej intensywności takie jak HIIT i/lub SIT ((Issurin 2008; Rønnestad i wsp. 2014a; 2014b; 2018; Solli i wsp. 2019). Solli i wsp. (2019) stwierdzili, że program blokowy jest równie skuteczny w przygotowaniu do osiągnięcia wysokich wyników sportowych w biegach narciarskich zawodniczek na poziomie elitarnym, jak klasyczna koncepcja Matveyeva. Rønnestad i wsp. (2014b) wykazali poprawę VO_{2max} o 8,8% w efekcie wykonywania blokowego programu treningowego, ponadto w jednym przypadku zaobserwowano, że VO_{2max} zwiększył się z $73,8 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ do $87 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. W związku z tymi doniesieniami, chcieliśmy ocenić skuteczność blokowego programu treningowego w rozwoju maksymalnego poboru tlenu, mocy osiągananej na progach

wentylacyjnych i maksymalnej mocy tlenowej u kolarzy, na tle naszej autorskiej koncepcji spolaryzowanego programu treningowego.

W badaniach uczestniczyli kolarze, których losowo podzielono na dwie grupy: grupę kolarzy wykonujących blokowy program treningowy oraz grupę kolarzy wykonujących autorski spolaryzowany program treningowy. Przed oraz po zakończeniu 8-tygodniowego eksperymentu uczestnicy wykonali test progresywny oraz w kolejnym dniu test weryfikujący wartość VO_{2max} . Test progresywny został wykonany zgodnie z procedurą przedstawioną w początkowych artykułach prezentowanego cyklu. Podczas testu mierzono maksymalną moc tlenową (P_{max}), częstość skurczów serca (HR), pobór tlenu (VO_2), objętość wydychanego dwutlenku węgla (VCO_2), wentylację minutową płuc (VE). Na podstawie zapisu danych oddechowych wyznaczano pierwszy próg wentylacyjny (VT1) oraz drugi próg wentylacyjny (VT2). W momencie wystąpienia progu VT1 i VT2 wskazana została wartość częstości skurczów serca (HR_{VT1} i HR_{VT2}), poboru tlenu (VO_{2-VT1} i VO_{2-VT2}) i mocy (P_{VT1} i P_{VT2}).

Test weryfikujący, podobnie jak test progresywny, wykonano na cykloergometrze. Test był poprzedzony 15 minutową rozgrzewką: pierwsze 5 minut z mocą osiąganą przy VT1, następnie 10 minut z mocą osiąganą w połowie odległości pomiędzy progiem VT1 i VT2. Po rozgrzewce stosowano 5 minut aktywnej przerwy z obciążeniem 20 W. Następnie wykonywany był wysiłek weryfikujący VO_{2max} z intensywnością 110% maksymalnej mocy tlenowej osiągniętej podczas testu progresywnego, wysiłek weryfikujący trwał do odmowy przez badanego. Podczas testu mierzono parametry oddechowe oraz częstość skurczów serca. Pomiar VO_2 , VCO_2 , VE oraz HR wykorzystano do weryfikacji maksymalnych wartości. Najwyższa wartość VO_2 , VCO_2 , VE i HR zarejestrowana podczas testu progresywnego lub podczas testu weryfikującego została uznana za maksymalny pobór tlenu (VO_{2max}), maksymalną wartość wydychanego dwutlenku węgla (VCO_{2max}), maksymalną wentylację minutową płuc (VE_{max}) oraz maksymalną częstość skurczów serca (HR_{max}).

Podczas 8-tygodniowego eksperymentu zawodnicy wykonywali sprinterski trening interwałowy (SIT), trening interwałowy o wysokiej intensywności (HIIT) oraz trening wytrzymałościowy o niskiej intensywności (LIT). Protokoły treningowe były zbliżone do protokołów stosowanych w powyższych artykułach prezentowanego cyklu. Podczas eksperymentu stosowano dni biernego wypoczynku (*passive rest* – PR).

Blokowy program treningowy został podzielony na dwa rodzaje bloków: bloki o niskiej intensywności (B-LI), trwające po 17 dni, w których dominowały treningi typu LIT oraz bloki o wysokiej intensywności (B-HI), trwające po 11 dni, w których wykonywano

wyłącznie treningi typu SIT i HIIT. Podczas eksperymentu powyższe bloki stosowano naprzemiennie, zgodnie z poniższym schematem:

- B-LI (17dni): dzień 1(SIT), dzień 2(LIT), 3(LIT), 4(PR), 5(LIT), 6(LIT), 7(PR), 8(HIIT), 9(LIT), 10(LIT), 11(PR), 12(LIT), 13(LIT), 14(PR), 15(SIT), 16(LIT), 17(PR),

- B-HI (11dni): dzień 1(SIT), dzień 2(HIIT), 3(HIIT), 4(PR), 5(SIT), 6(HIIT), 7(HIIT), 8(PR), 9(SIT), 10(HIIT), 11(PR)

- B-LI (17dni): dzień 1(HIIT), dzień 2(LIT), 3(LIT), 4(PR), 5(LIT), 6(LIT), 7(PR), 8(SIT), 9(LIT), 10(LIT), 11(PR), 12(LIT), 13(LIT), 14(PR), 15(HIIT), 16(LIT), 17(PR),

- B-HI (11dni): dzień 1(SIT), dzień 2(SIT) 3(HIIT), 4(PR), 5(SIT), 6(SIT), 7(HIIT), 8(PR), 9(SIT), 10(HIIT), 11(PR)

Spolaryzowany program treningowy składał się z 4 cykli treningowych, każdy cykl trwał 14 dni i składał się z: dzień 1(SIT), dzień 2(HIT), 3(LIT), 4(PR), 5(SIT), 6(LIT), 7(PR), 8(SIT), 9(HIIT), 10(LIT), 11(PR), 12(HIT), 13(LIT), 14(PR).

Podczas eksperymentu kolarze każdej grupy wykonali po 40 treningów, 16 dni przeznaczonych było na bierny wypoczynek. Grupa realizująca trening blokowy wykonała 11 treningów SIT, 11 treningów HIIT oraz 18 treningów LIT, natomiast grupa realizująca trening spolaryzowany wykonała 12 treningów SIT, 12 treningów HIIT oraz 16 treningów LIT.

Rezultaty i wnioski wynikające z artykułu nr 7

W wyniku przeprowadzonych badań wykazano, że w obu grupach kolarzy istotnie poprawiły się $VO_2\max$ oraz P_{\max} . Tylko w grupie realizującej autorski spolaryzowany program treningowy zaobserwowano istotnie wyższe wartości $VCO_2\max$ oraz VE_{\max} . Analizując wskaźniki oddechowe oraz moc w odniesieniu do progów wentylacyjnych, w obu grupach, wykazano istotnie wyższe wartości P_{VT1} , P_{VT2} oraz VO_{2-VT2} . Ponadto w grupie realizującej spolaryzowany program treningowy wykazano istotnie wyższą wartość VO_{2-VT1} . Dowiedliśmy, że zarówno trening blokowy, jak i trening spolaryzowany są efektywną strategią rozwoju wydolności tlenowej u kolarzy. Obydwa programy treningowe wpłynęły na poprawę $VO_2\max$, P_{\max} oraz mocy osiąganą przy progach wentylacyjnych. Jednak wielkość zmiany $VO_2\max$ miała większą amplitudę w następstwie spolaryzowanego programu treningowego (zmiana z 57,2 do 65,3 $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$), niż w następstwie blokowego programu treningowego (zmiana z 60,0 do 63,6 $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$). Dlatego koncepcja autorskiego spolaryzowanego programu treningowego wydaje się być bardziej efektywna w rozwoju $VO_2\max$ w czasie kilku tygodni.

Efekty uzyskane przez innych autorów, którzy testowali skuteczność blokowych programów treningowych w rozwoju VO_2max , są zróżnicowane (Breil i wsp. 2010; Rønnestad i wsp. 2014a; 2014b; McGawley i wsp. 2017). Niektórzy wykazują poprawę wydolności (Breil i wsp. 2010; Rønnestad i wsp. 2014a; 2014b) natomiast McGawley i wsp. (2017) wykazali brak zmian. Niezależnie od różnic w budowie blokowych programów treningowych, nawet najbardziej efektywny program treningu blokowego, opisany przez Rønnestad i wsp. (2014b) był mniej skutecznym sposobem rozwoju VO_2max , niż opisany w prezentowanej pracy program spolaryzowany (jeśli zestawimy średnie zmiany VO_2max wyrażone w $l \cdot min^{-1}$ i wyrażone w %).

Podsumowując, zastosowany w grupie kolarzy górskich autorski spolaryzowany program treningowy był bardziej skuteczny w rozwoju VO_2max , niż blokowy program treningowy.

4.3.4 Podsumowanie cyklu

Zaprezentowany przeze mnie cykl publikacji dowodzi, że stosowanie autorskiego spolaryzowanego programu treningowego skutecznie rozwija wydolność fizyczną kolarzy, w szczególności sprawność krążeniowo-oddechową. Skuteczność stosowanego programu może wynikać z wprowadzonych zmian, w porównaniu do opisów spolaryzowanych programów treningowych dostępnych w piśmiennictwie. Jedną z tych zmian było włączenie do programu sprinterskich treningów interwałowych, dzięki temu zawodnicy wykonywali dwa rodzaje treningów interwałowych (SIT oraz HIIT) w każdym mikrocyklu. Drugą zmianą było indywidualne wyznaczanie optymalnej wielkości obciążenia w każdym treningu (czas trwania treningu, liczba powtórzeń, liczba serii, czas zastosowanych przerw wypoczynkowych). W prezentowanym cyklu publikacji porównywałam skuteczność autorskiego spolaryzowanego programu treningowego z innymi programami: 1) programem opierającym się na treningach wytrzymałościowych o stałej i zmiennej intensywności, 2) programem składającym się z treningów wytrzymałościowych i interwałowych o wysokiej intensywności, 3) z programem treningu blokowego. W każdym porównaniu bardziej skuteczny w rozwoju wydolności fizycznej był autorski spolaryzowany program treningowy.

Na podstawie danych zaprezentowanych w cyklu publikacji można stwierdzić, że autorski spolaryzowany program treningowy jest bodźcem kompleksowo rozwijającym czynniki determinujące VO_2max , gdyż zaobserwowano zmiany wentylacji minutowej płuc, objętości oddechowej, objętości wyrzutowej serca, stężenia śródbłonkowego czynnika wzrostu naczyń (VEGF-A). Ponadto spolaryzowany program treningowy może wpływać na

procesy neurotroficzne i na regenerację uszkodzonych mięśni szkieletowych, ponieważ wykazano powysiłkowe obniżenie stężenia neurotroficznego czynnika pochodzenia mózgowego (BDNF) i czynnika VEGF-A. Może to wskazywać na usprawnienie procesów wykorzystania BDNF oraz VEGF-A do regeneracji uszkodzonych mięśni szkieletowych, po wysiłkach z maksymalną intensywnością. Wykazaliśmy również, że spolaryzowany program treningowy może wpływać na poprawę odporności mięśni na uszkodzenia, gdyż w efekcie jego stosowania zmniejszył się powysiłkowy wzrost aktywności kinazy kreatynowej i stężenia mioglobiny w krwi, czyli czynników wskazujących na uszkodzenia narządowe. Jednocześnie, w efekcie zastosowania spolaryzowanego programu treningowego, zaobserwowaliśmy zmniejszenie się przekroju mięśnia uda prawego i lewego. Jest to efekt rzadko spotykany, ale w przypadku rywalizacji w niektórych dyscyplinach sportowych, np. w kolarstwie górskim, może być korzystny, ponieważ przeciwdziała zwiększeniu masy mięśni. Pomimo zmniejszenia przekroju mięśni uda wartość mocy osiąganą podczas sprinterskiego treningu interwałowego zwiększyła się. Wskazane powyżej zmiany mogły sprzyjać wykonywaniu większej pracy oraz osiągnięciu wyższej mocy w podejmowanych wysiłkach. Zaobserwowaliśmy poprawę mocy maksymalnej, mocy osiąganą na progu beztlenowym (wentylacyjnym) oraz większą ilość wykonanej pracy w teście progresywnym. W sprinterskim treningu interwałowym, wykonywanym po poszczególnych eksperymentach w warunkach laboratoryjnych, również obserwowano większą ilość wykonanej pracy oraz większą wartość mocy średniej.

Warty podkreślenia jest fakt, że można podjąć próbę przewidywania rozwoju VO_{2max} w efekcie stosowania autorskiego spolaryzowanego programu treningowego, za pomocą równania regresji. Równanie regresji, jakie opracowaliśmy, jest oparte na statusie wytrenowania określonym jako dystans pokonany na rowerze w roku poprzedzającym badanie, maksymalnej wentylacji minutowej płuc znormalizowanej do masy ciała szczupłego oraz jednej z miar zatokowej zmienności rytmu pracy serca (HRV) mierzonej podczas restytucji powysiłkowej (RMSSD). Możliwość przewidywania zmiany VO_{2max} , który jest jednym z kluczowych determinantów wydolności fizycznej, jest niezwykle istotna gdyż pozwala prognozować efektywność treningu. Wskazano również, że wyjściowy poziom parametrów HRV pozwala prognozować zmiany tych parametrów (pobudzenie nerwu błędnego) w efekcie zastosowania spolaryzowanego programu treningowego. Możliwość dokonywania takich prognoz wydaje się cenna dla trenerów, sportowców i osób aktywnych fizycznie, ponieważ istnieje związek między parametrami HRV a zdolnościami wysiłkowymi.

Ponadto wykazaliśmy, że zmiany parametrów HRV w efekcie stosowania treningu spolaryzowanego są zindywidualizowane wśród kolarzy.

Uzupełnieniem osiągnięć zaprezentowanych w powyższym cyklu publikacji, jest wykazanie poprawy wyników sportowych, poprzez analizę rankingu miejsc zajmowanych przez badanych kolarzy górskich podczas wyścigów rangi Mistrzostw Polski, Mistrzostw Europy, Pucharów Świata oraz Mistrzostw Świata. Dodatkowym osiągnięciem w pracy naukowej było zdobycie przez jedną z uczestniczek badań (wykonującą autorski spolaryzowany program treningowy) brązowego medalu Mistrzostw Europy oraz Mistrzostw Świata w kolarstwie górskim w roku 2022. Niestety artykuł przedstawiający te wyniki nie został jeszcze opublikowany.

Podsumowując, w mojej pracy naukowej wykazałam skuteczność autorskiego spolaryzowanego programu treningowego w rozwoju wydolności fizycznej, w szczególności poprzez poprawę sprawności krążeniowo-oddechowej, która ma istotne znaczenie w komforcie życia codziennego i w podtrzymaniu zdrowia. Dlatego zaproponowany program treningowy po dostosowaniu do potrzeb szerszych grup społeczeństwa może służyć poprawie zdrowia publicznego.

4.3.5 Piśmiennictwo

1. Abbiss CR, Laursen PB. Models to explain fatigue during prolong endurance cycling. *Sports Med.* 2005; 35(10): 865-898.
2. Akalan C, Robergs RA, Kravitz L. Prediction of VO₂max from an individualized submaximal cycle ergometer protocol. *J Exerc Physiol Online* 2008; 11: 1-17.
3. Angelucci F, Piermaria J, Gelfo F, Shofany J, Tramontano M, Fiore M. The effects of motor rehabilitation training on clinical symptoms and serum BDNF levels in Parkinson's disease subjects. *Can J Physiol Pharmacol.* 2016; 94(4): 455-461.
4. Baird MF, Graham SM, Baker J, Bickerstaff GF. Creatine-kinase- and exercise-related muscle damage implications for muscle performance and recovery. *J Nutr Metab* 2012; 2012: 960363.
5. Banfi G, Colombini A, Lombardi G, Lubkowska A. Metabolic markers in sports medicine. *Advances Clin Chem.* 2012; 56: 1-54.
6. Baron R. Aerobic and anaerobic power characteristics of off-road cyclists. *Med Sci Sport Exer* 2001; 33(8): 1387-1393.
7. Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sport Exer* 2000; 32: 70-84.
8. Bayati M, Farzad B, Gharakhanlou R, Agha-Alinejad H. A practical model of low-volume high-intensity interval training induces performance and metabolic adaptations that resemble 'all-out' sprint interval training. *J Sports Sci Med* 2011; 10: 571-576.
9. Bazyler CD, Abbott HA, Bellon CR, Taber CB, Stone MH. Strength training for endurance athletes: theory to practice. *Strength Cond J* 2015; 37(2): 1-12.
10. Bejder J, Bonne TC, Nyberg M, Sjøberg KA, Nordborg NB. Physiological determinants of elite mountain bike cross-country Olympic performance. *J Sports Sci* 2019; 37(10): 1154-1161.
11. Bellenger CR, Fuller JT, Thomson RL, Davison K, Robertson EY, Buckley JD. Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2016; 46(10): 1461-1486.
12. Bloomer RJ, Farney TM. Acute plasma volume change with high-intensity sprint exercise. *J Strength Cond Res* 2013; 27(10): 2874-2878.

13. Bos I, De Boever P, Int Panis L, Meeusen R. Physical activity, air pollution and the brain. *Sports Med* 2014; 44: 1505-1515.
14. Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. Biochemical markers of muscular damage. *Clin Chem Lab Med* 2010; 48(6): 757-767.
15. Breil FA, Weber SN, Koller S, Hoppeler H, Vogt M. Block training periodization in alpine skiing: effects of 11-day HIT on VO₂max and performance. *Eur J Appl Physiol* 2010; 109(6): 1077-1186.
16. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med* 2013a; 43(5): 313-338.
17. Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Med* 2013b; 43(10): 927-954.
18. Burgomaster KA, Heigenhauser GJ, Gibala MJ. Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J Appl Physiol* 2006; 100(6): 2041-2047.
19. Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, Rakobowchuk M, Macdonald MJ, McGee SL, Gibala MJ. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol* 2008; 586: 151-160.
20. Campos GER, Luecke TJ, Wendeln HK, Toma K, Hagerman FC, Murray TF, Ragg KE, Ratamess NA, Kraemer WJ, Staron RS. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol* 2002; 88(1-2): 50-60.
21. Cantó C, Auwerx J. PGC-1 α , SIRT1 and AMPK, an energy sensing network that controls energy expenditure. *Curr Opin Lipidol* 2009; 20(2): 98-105.
22. Carnes AJ, Mahoney SE. Polarized vs. high intensity multimodal training in recreational runners. *Int J Sports Physiol Perform* 2018; 28: 1-28.
23. Carpes FP, Mota CB, Faria IE. Heart rate response during a mountain-bike event: a case report. *J Exer Physiol* 2007; 1: 12-20.
24. Chen ZP, Stephens TJ, Murthy S, Canny BJ, Hargreaves M, Witters LA, Kemp BE, McConell GK. Effect of exercise intensity on skeletal muscle AMPK signaling in humans. *Diabetes* 2003; 52(9): 2205-2212.
25. Church DD, Hoffman JR, Mangine GT, Jajtner AR, Townsend JR, Beyer KS. Comparison of high-intensity vs. high-volume resistance training on the BDNF response to exercise. *J Appl Physiol* 2016; 121: 123-128.
26. Clow C, Jasmin BJ. Brain-derived neurotrophic factor regulates satellite cell differentiation and skeletal muscle regeneration. *Mol Biol Cell* 2010; 21: 2182-2190.
27. Coffey VG, Zhong Z, Shield A, Canny BJ, Chibalin AV, Zierath JR, Hawley JA. Early signaling responses to divergent exercise stimuli in skeletal muscle from well-trained humans. *FASEB J* 2006; 20(1): 190-192.
28. Cooper AJ, Brage S, Ekelund U, Wareham NJ, Griffin SJ, Simmons RK. Association between objectively assessed sedentary time and physical activity with metabolic risk factors among people with recently diagnosed type 2 diabetes. *Diabetol* 2014; 57: 73-82.
29. Crespo J, Lavie CJ, Milani RV, Gilliland YE, Patel HM, Ventura HO. Metabolic parameters derived from cardiopulmonary stress testing for prediction of prognosis in patients with heart failure: the ochsner experience. *Ochsner J* 2009; 9: 46-53.
30. Daanen HA, Lamberts RP, Kallen VL, Jin A, Van Meeteren NL. A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 2012; 7(3): 251-260.
31. Daniłowicz-Szymanowicz L, Figura-Chmielewska M, Raczak A, Szwoch M, Ratkowski W. The assessment of influence of long-term exercise training on autonomic nervous system activity in young athletes preparing for competitions. *Pol Merkur Lekarski* 2011; 30(175): 19-25.
32. Da Silva DF, Bianchini JA, Antonini VD, Hermoso DA, Lopera CA, Pagan BG, McNeil J, Nardo Junior N. Parasympathetic cardiac activity is associated with cardiorespiratory fitness in overweight and obese adolescents. *Pediatr Cardiol* 2014; 35(4): 684-690.
33. Davis HA, Bassett J, Hughes P, Gass GC. Anaerobic threshold and lactate turnpoint. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983; 50: 383-392.
34. de Oliveira-Nunes SG, Castro A, Sardeli AV, Cavaglieri CR, Chacon-Mikahil MPT. HIIT vs. SIT: What is the better to improve VO₂max? A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18(24): 13120.
35. Desgorces FD, Senegas X, Garcia J, Decker L, Noirez P. Methods to quantify intermittent exercises. *Appl Physiol Nutr Metab* 2007; 32: 762-769.
36. Driessen-Kletter MF, Amelink GJ, Bär PR, van Gijn J. Myoglobin is a sensitive marker of increased muscle membrane vulnerability. *J Neurol* 1990; 237: 234-238.
37. Duffin J. Role of acid-base balance in the chemoreflex control of breathing. *J Appl Physiol* 2005; 99: 2255-2265.

38. Earnest CP, Jurca R, Church TS, Chicharro JL, Hoyos J, Lucia A. Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during Tour of Spain. *Br J Sports Med* 2004; 38(5): 568-575.
39. Estes RR, Malinowski A, Piacentini M, Thrush D, Salley E, Losey C, Hayes E. The effect of high intensity interval run training on cross-sectional area of the vastus lateralis in untrained college students. *Int J Exerc Sci* 2017; 10(1): 137-45.
40. Evans DL. Cardiovascular adaptations to exercise and training. *Vet Clin North Am Equine Pract* 1985; 1(3): 513-31.
41. George JD, Stone WJ, Burkett LN. Non-exercise VO₂max estimation for physically active college students. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29: 415-423.
42. Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, Raha S, Tarnopolsky MA. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol* 2006; 575(3): 901-911.
43. Gibala MJ, McGee SL, Garnham AP, Howlett KF, Snow RJ, Hargreaves M. Brief intense interval exercise activates AMPK and p38 MAPK signaling and increases the expression of PGC-1 α in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 2009; 106(3): 929-934.
44. Gist NH, Fedeva MV, Dishman RK, Cureton KJ. Sprint interval training effects on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2014; 44: 269-279.
45. Gledhill N, Cox D, Jamnik R. Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function. *Med Sci Sport Exer* 1994; 26: 1116-1121
46. Goodman JM, Liu PP, Green HJ. Left ventricular adaptations following short-term endurance training. *J Appl Physiol* 2005; 98: 454-460.
47. Grant CC, Murray C, Janse van Rensburg DC, Fletcher L. A comparison between heart rate and heart rate variability as indicators of cardiac health and fitness. *Front Physiol* 2013; 4: 337.
48. Harber MP, Konopka AR, Udem MK, Hinkley JM, Minchev K, Kaminsky LA, Trappe TA, Trappe S. Aerobic exercise training induces skeletal muscle hypertrophy and age-dependent adaptations in myofiber function in young and older men. *J Appl Physiol* 2012; 113(9): 1495-1504.
49. Harmer AR, McKenna MJ, Sutton JR, Snow RJ, Ruell PA, Booth J, Thompson MW, Mackay NA, Stathis CG, Crameri RM, Carey MF, Eager DM. Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *J Appl Physiol* 2000; 89: 1793-1803.
50. Hawley JA, Stepto NK. Adaptations to training in endurance cyclists. *Sports Med* 2001; 31(7): 511-520.
51. Häkkinen K, Alen M, Kraemer WJ, Gorostiaga E, Izquierdo M, Rusko H, Mikkola J, Häkkinen A, Valkeinen H, Kaarakainen E, Romu S, Erola V, Ahtiainen J, Paavolainen L. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Clinical Trial Eur J Appl Physiol* 2003; 89(1): 42-52.
52. Hebisz R, Borkowski J, Hebisz P. Creatine kinase and moglobin plasma levels in mountain bike and road cyclists 1 h after the race. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19(15): 9456.
53. Hebisz R, Hebisz P, Borkowski J, Zatoń M. Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise- induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds. *Isokinetic Exer Sci* 2019; (27)1; 21-29.
54. Heil DP, Freedson PS, Ahlquist LE, Price J, Rippe JM. Nonexercise regression models to estimate peak oxygen consumption. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27: 599-606.
55. Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39(4): 665-671.
56. Holloszy JO, Coyle EF. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol* 1984; 56: 831-838
57. Hudelmaier M, Wirth W, Himmer M, Ring-Dimitriou S, Sanger A, Eckstein F. Effect of exercise intervention on thigh muscle volume and anatomical cross-sectional areas--quantitative assessment using MRI. *Magn Reson Med* 2010; 64(6): 1713-1720.
58. Hurley BF, Redmond RA, Pratley RE, Treuth MS, Rogers MA, Goldberg AP. Effects of strength training on muscle hypertrophy and muscle cell disruption in older men. *Int J Sports Med* 1995; 16: 378-384.
59. Impellizzeri F, Marcora S. The physiology of mountain biking. *Sports Med* 2007; 37 (1): 59-71.
60. Impellizzeri F, Marcora S, Rampinini E, Mognoni P, Sassi A. Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *Br J Sports Med* 2005; 39(10): 747-751.
61. Impellizzeri F, Rampinini E, Sassi A, Mognoni P, Marcora S. Physiological correlates to off-road cycling performance. *J Sports Sci* 2005; 23(1): 41-47.
62. Impellizzeri F, Sassi A, Rodriguez-Alonso M, Mognoni P, Marcora S. Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Med Sci Sports Exer* 2002; 34(11): 1808-1813.
63. Inoue A, Sá Filho AS, Mello FC, Santos TM. Relationship between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-country performance. *J Strength Cond Res* 2012; 26(6): 1589-1593.

64. Issurin VB. Block periodization versus traditional training theory: a review. *J Sports Med Phys Fitness* 2008; 48(1): 65-75.
65. Issurin VB. New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med* 2010; 40(3): 189-206.
66. Issurin VB. Benefits and limitations of block periodized training approaches to athletes' preparation: a review. *Sports Med* 2016; 46(3): 329-338.
67. Jabbour G, Iancu HD, Zouhal H, Mauriège P, Joanisse DR, Martin LJ. High-intensity interval training improves acute plasma volume responses to exercise that is age dependent. *Physiol Rep* 2018; 6(4): e13609.
68. Jackson CE. Nomogram for simple calculation of cardiac output. *Circulation* 1955; 11: 635-636.
69. Joyner MJ, Coyle EF. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol* 2008; 586(1): 35-44.
70. Juel C. Muscle pH regulation: role of training. *Acta Physiologica Scandinavica* 1998; 162(3): 359-366.
71. Kaikkonen P, Hynynen E, Mann T, Rusko H, Nummela A. Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *Eur J Appl Physiol* 2012; 112(3): 829-838.
72. Kiely J. Periodization Paradigms in the 21st Century: Evidence-Led or Tradition-Driven? *Int J Sports Physiol Perform* 2012; 7: 242-250.
73. Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1979; 42: 25-34.
74. Knaepen K, Goekint M, Heyman EM, Meeusen R. Neuroplasticity exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor. *Sports Med* 2010; 40(9): 765-801.
75. Konopka AR, Harber MP. Skeletal muscle hypertrophy after aerobic exercise training. *Exerc Sport Sci Rev* 2014; 42(2): 53-61.
76. Koutedakis Y, Raafat A, Sharp NC, Rosmarin MN, Beard MJ, Robbins SW. Serum enzyme activities in individuals with different levels of physical fitness. *J Sports Med Phys Fit* 1993; 33: 252-257.
77. Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res* 2005; 19: 527-533.
78. Le Meur Y, Hausswirth C, Dorel S, Bignet F, Brisswalter J, Bernard T. Influence of gender on pacing adopted by elite triathletes during a competition. *Eur J Appl Physiol* 2009; 106: 535-545.
79. Litlekare S, Enoksen E, Sandvei M, Støen L, Stensrud T, Johansen E. Sprint interval running and continuous running produce training specific adaptations, despite a similar improvement of aerobic endurance capacity - a randomized trial of healthy adults. *Int J Environ Res Public Health* 2020; 17(11): 3865.
80. Long BL, Rekhi R, Abrego A, Jung J, Qutub AA. Cells as state machines: cell behavior patterns arise during capillary formation as a function of BDNF and VEGF. *J Theor Biol* 2013; 326: 43-57.
81. Losnegard T, Mikkelsen K, Ronnestad BR, Hallen J, Rud B, Raastad T. The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross country skiers. *Scand J Med Sci Sports* 2011; 21(3): 389-401.
82. Lucia A, Hoyos J, Chicharro JL. Physiology of professional road cycling. *Sports Med* 2001; 31: 325-337.
83. Macor F, Fagard R, Amery A. Power spectral analysis of RR interval and blood pressure short-term variability at rest and during dynamic exercise: comparison between cyclists and controls. *Int J Sports Med* 1996; 17(3): 175-181.
84. Macdermid PW, Stannard S. Mechanical work and physiological responses to simulated cross country mountain bike racing. *J Sports Sci* 2012; 30(14): 1491-1501.
85. Matveyev LP. Periodization of athletic training. *Fizkultura I Sport*, Moscow, 1965.
86. McGawley K, Juudas E, Kazior Z, Ström K, Blomstrand E, Hansson O, Holmberg HC. No additional benefits of block over evenly distributed high-intensity interval training within a polarized microcycle. *Front Physiol* 2017; 8: 413.
87. McKay BR, Paterson DH, Kowalchuk JM. Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O₂ uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *J Appl Physiol* 2009; 107(1): 128-138.
88. Meyer T, Auracher M, Heeg K, Urhausen A, Kindermann W. Effectiveness of low-intensity endurance training. *Int J Sports Med* 2007; 28(1): 33-39.
89. Murach KA, Bagley JR. Skeletal muscle hypertrophy with concurrent exercise training: contrary evidence for an interference effect. *Sports Med* 2016; 46(8): 1029-1039.
90. Murawska-Ciałowicz E, Wojna J, Zuwała-Jagiello J. Crossfit training changes brain-derived neurotrophic factor and irisin levels at rest, after Wingate and progressive tests, and improves aerobic capacity and body composition of young physically active men and women. *J Physiol Pharmacol* 2015; 66(6): 811-821.

91. Naimo MA, de Souza EO, Wilson JM, Carpenter AL, Gilchrist P, Lowery RP, Averbuch B, White TM, Joy J. High-intensity interval training has positive effects on performance in ice hockey players. *Int J Sports Med* 2015; 36(1): 61-66.
92. Naves JP, Viana RB, Rebelo AC, de Lira CA, Pimentel GD, Lobo PC, de Oliveira JC, Ramirez-Campillo R, Gentil P. Effects of high-intensity interval training vs. sprint interval training on anthropometric measures and cardiorespiratory fitness in healthy young women. *Front Physiol* 2018; 9: 1738.
93. Neal CM, Hunter AM, Brennan L, O'Sullivan A, Hamilton DL, De Vito G, Galloway SD. Six weeks of a polarized training-intensity distribution leads to greater physiological and performance adaptations than a threshold model in trained cyclists. *J Appl Physiol* 2013; 114(4): 461-471.
94. Neufeld EV, Wadowski J, Boland DM, Dolezal BA, Cooper CB. Heart rate acquisition and threshold-based training increases oxygen uptake at metabolic threshold in triathletes: A pilot study. *Int J Exerc Sci* 2019; 12(2): 144-154.
95. Newham DJ, Jones DA, Edwards RH. Plasma creatine kinase changes after eccentric and concentric contractions. *Muscle Nerve* 1986; 9(1): 59-63.
96. Noakes TD. Effect of exercise on serum enzyme activities in humans. *Sports Med* 1987; 4(4): 245-267.
97. Nystoriak MA, Bhatnagar A. Cardiovascular effects and benefits of exercise. *Front Cardiovasc Med* 2018; 28(5): 135.
98. Oka Y, Orth DN. Human plasma epidermal growth factor/beta-urogastrone is associated with blood platelets. *J Clin Invest* 1983; 72(1): 249-259.
99. Park KS, Lee MG. Effects of unaccustomed downhill running on muscle damage, oxidative stress, and leukocyte apoptosis. *J Exerc Nutr Biochem* 2015; 19: 55-63.
100. Perry C, Heigenhauser G, Bonen A, Spriet L. High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal muscle. *Appl Physiol Nutr Metab* 2008; 33(6): 1112-1123.
101. Pichot V, Busso T, Roche F, Garet M, Costes F, Duverney D, Lacour J, Barthélémy J. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34(10): 1660-1666.
102. Pichot V, Roche F, Gaspoz JM, Enjolras F, Antoniadis A, Minini P, Costes F, Busso T, Lacour JR, Barthélémy JC. Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(10): 1729-1736.
103. Pilegaard H, Saltin B, Neufer PD. Exercise induces transient transcriptional activation of the PGC-1 α gene in human skeletal muscle. *J Physiol* 2003; 546: 851-858.
104. Plaza-Florido A, Migueles J, Mora-Gonzalez J, Molina-Garcia P, Rodriguez-Ayllon M, Cadenas-Sanchez C, Esteban-Cornejo I, Solis-Urra P, de Teresa C, Gutiérrez Á, Michels N. Heart rate is a better predictor of cardiorespiratory fitness than heart rate variability in overweight/obese children: the ActiveBrains project. *Front Physiol* 2019; 10: 510.
105. Prins L, Terblanche E, Myburgh KH. Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers. *J Sports Sci* 2007; 25 (8): 927-935.
106. Putman CT, Xu X, Gillies E, MacLean IM, Bell GJ. Effects of strength, endurance and combined training on myosin heavy chain content and fibre-type distribution in humans. *Clinical Trial Eur J Appl Physiol* 2004; 92(4-5): 376-84.
107. Raczak G, Daniłowicz-Szymanowicz L, Kobuszewska-Chwirot M, Ratkowski W, Figura-Chmielewska M, Szwoch M. Long-term exercise training improves autonomic nervous system profile in professional runners. *Kardiol Pol* 2006; 64(2): 135-140.
108. Rosenblat MA, Perrotta AS, Thomas SG. Effect of high-intensity interval training versus sprint interval training on time-trial performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2020; 50(6): 1145-1161.
109. Rosenblat MA, Perrotta AS, Vicenzino B. Polarized vs. threshold training intensity distribution on endurance sport performance: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Strength Cond Res* 2019; 33(12): 3491-3500.
110. Roth SM, Ivey FM, Martel GF, Lemmer JT, Hurlbut DE, Siegel EL, Metter EJ, Fleg JL, Fozard JL, Kostek MC, Wernick DM, Hurley BF. Muscle size responses to strength training in young and older men and women. *J Am Geriatr Soc* 2001; 49(11): 1428-1433.
111. Roxburgh BH, Nolan PB, Weatherwax RM, Dalleck LC. Is Moderate intensity exercise training combined with high intensity interval training more effective at improving cardiorespiratory fitness than moderate intensity exercise training alone? *J Sport Sci Med* 2014; 13: 702-707.
112. Rønnestad BR, Ellefsen S, Nygaard H, Zacharoff EE, Vikmoen O, Hansen J, Hallén J. Effects of 12 weeks of block periodization on performance and performance indices in well-trained cyclists. *Scand J Med Sci Sports* 2014a; 24(2): 327-335.

113. Rønnestad BR, Hansen J. A scientific approach to improve physiological capacity of an elite cyclist. *Int J Sports Physiol Perform* 2018; 13(3): 390-393.
114. Rønnestad BR, Hansen J, Ellefsen S. Block periodization of high-intensity aerobic intervals provides superior training effects in trained cyclists. *Scand J Med Sci Sports* 2014b; 24(1): 34-42.
115. Russell AP, Feilchenfeldt J, Schreiber S, Praz M, Crettenand A, Gobelet C, Meier CA, Bell DR, Kralli A, Giacobino JP, Deriaz O. Endurance training in human leads to fibre type-specific increases in levels of peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator-1 and peroxisome proliferator-activated receptor alpha in skeletal muscle. *Diabetes* 2003; 52: 2874-2881.
116. Sandercock GR, Bromley PD, Brodie DA. Effects of exercise on heart rate variability: inferences from meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37(3): 433-439.
117. Schmitt L, Regnard J, Desmarests M, Mauny F, Mourot L, Fouillot J, Coulmy N, Millet G. Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *PLoS One* 2013; 8(8): 1-9.
118. Schmolesky MT, Webb DL, Hansen RA. The effects of aerobic exercise intensity and duration on levels of brain-derived neurotrophic factor in healthy men. *J Sports Sci Med* 2013; 12: 502-511.
119. Schneider C, Wiewelhove T, Raeder C, Flatt A, Hoos O, Hottenrott L, Schumbera O, Kellmann M, Meyer T, Pfeiffer M. Heart rate variability monitoring during strength and high-intensity interval training overload microcycles. *Front Physiol* 2019; 10: 582.
120. Seiler, S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int J Sports Physiol Perform* 2010; 5: 276-91.
121. Seiler K, Kjerland G. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an optimal distribution? *Scand J Med Sci Sports* 2006; 16: 49-56.
122. Serrão F, Foerster B, Spad S, Morales MM, Monteiro-Pedro V, Tannús A, Salvini T. Functional changes of human quadriceps muscle injured by eccentric exercise. *Braz J Med Biol Res* 2003; 36: 781-786.
123. Sloth M, Sloth D, Overgaard K, Dalgas U. Effects of sprint interval training on VO₂max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports* 2013; 23(6): e341-52.
124. Solli GS, Tønnessen E, Sandbakk Ø. Block vs. traditional periodization of HIT: two different paths to success for the world's best cross-country skier. *Front Physiol* 2019; 10: 375.
125. Souza R, Aguiar A, Carani F, Campos G, Padovani C, Silva M. High-intensity resistance training with insufficient recovery time between bouts induce atrophy and alterations in myosin heavy chain content in rat skeletal muscle. *Anat Rec* 2011; 294(8): 1393-1400.
126. Souza R, Aguiar A, Vechetti-Júnior I, Piedade W, Campos G, Silva M. Resistance training with excessive training load and insufficient recovery alters skeletal muscle mass-related protein expression. *J Strength Cond Res* 2014; 28(8): 2338-2345.
127. Stäubli M, Roessler B, Köchli H, Peheim E, Straub P. Creatine kinase and creatine kinase MB in endurance runners and in patients with myocardial infarction. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1985; 54: 40-45.
128. Stöggl T, Sperlich B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front Physiol* 2014; 5: 33.
129. Stringer WW, Hansen JE, Wasserman K. Cardiac output estimated noninvasively from oxygen uptake during exercise. *J Appl Physiol* 1997; 82(3): 908-912.
130. Tabata I, Irisawa K, Kouzaki M, Nishimura K, Ogita F, Miyachi M. Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29: 390-395.
131. Thum J, Parsons G, Whittle T, Astorino T. High-intensity interval training elicits higher enjoyment than moderate intensity continuous exercise *PLoSOne* 2017; 12(1): e0166299.
132. Tischer E, Gospodarowicz, D, Mitchell R, Silva M, Schilling J, Lau K. Vascular endothelial growth factor: a new member of the platelet-derived growth factor gene family. *Biochem Biophys Res Commun* 1989; 165: 1198-1206.
133. Totsuka M, Nakaji S, Suzuki K, Sugawara K, Sato K. Break point of serum creatine kinase release after endurance exercise. *J Appl Physiol* 2002; 93: 1280-1286.
134. Tønnessen E, Svendsen I, Rønnestad B, Hisdal J, Haugen T, Seiler S. The annual training periodization of 8 world champions in orienteering. *Int J Sports Physiol Perform* 2015; 10(1): 29-38.
135. Tschakert G, Hofmann P. High-intensity intermittent exercise: methodological and physiological aspects. *Int J Sports Physiol Perform* 2013; 8(6): 600-610.
136. Usui T, Naruo A, Okada M, Hayabe Y, Yamawaki H. Brain-derived neurotrophic factor promotes angiogenic tube formation through generation of oxidative stress in human vascular endothelial cells. *Acta Physiol* 2014; 211(2): 385-394.
137. Wagner PD. Counterpoint: in health and in normoxic environment VO₂max is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow. *J Appl Physiol* 2006; 100(2): 745-748.
138. Wagner PD. Modeling O₂ transport as an integrated system limiting VO₂max. *Comput Methods Programs Biomed* 2011; 101(2): 109-114.

139. Wahl P, Zinner C, Achtzehn S, Behringer M, Bloch W, Mester J. Effects of acid-base balance and high or low intensity exercise on VEGF and bFGF. *Eur J Appl Physiol* 2011; 111(7): 1405-1413.
140. Warburton DE, Gledhill N. Comment on point-counterpoint: in health and in a normoxic environment, VO₂max is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow. *J Appl Physiol* 2006; 100: 744-748.
141. Warburton DE, Haykowsky MJ, Quinney HA, Blackmore D, Teo KK, Taylor DA, McGavock J, Humen DP. Blood volume expansion and cardiorespiratory function: effects of training modality. *Clinical Trial Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(6): 991-1000.
142. Zelt JG, Hankinson PB, Foster WS, Williams CB, Reynolds J, Garneys E. Reducing the volume of sprint interval training does not diminish maximal and submaximal performance gains in healthy men. *Eur J Appl Physiol* 2014; 114(11): 2427-2436.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Odbyte staże naukowe:

- 5.06. – 9.06. 2017 – Staż naukowy w University of Rouen, Department of Physical Education and Sports, Rouen, Francja. Opiekunem stażu był Profesor Ludovic Seifert.
- 1.09. – 30.09. 2022 – Staż naukowy w University of Cassino and Lazio Meridionale, Department of Human Sciences, Society and Health, Cassino, Włochy. Opiekunką stażu była Profesor Cristina Cortis.

Publikacje będące efektem odbytego stażu:

- **Hebisz Paulina**, Cortis Cristina, Hebisz Rafał. Acute effects of sprint interval training and chronic effects of polarized training (sprint interval training, high intensity interval training, and endurance training) on choice reaction time in mountain bike cyclists. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022; 19(22): 14954. [MEiN = 140 pkt.] W momencie opublikowania artykułu czasopismo posiadało IF = 4,614; ale w czerwcu bieżącego roku straciło współczynnik IF za rok 2022.
- Hebisz Rafał, Cortis Cristina, **Hebisz Paulina**, Borkowski Jacek, Jastrzębska Agnieszka. Effect of POL, SIT, HIIT and LIT training programs on aerobic fitness, LOX-1 and ox-LDL concentration in active peoples. *Frontiers in Physiology* (w recenzji)

6. Informacja o innej aktywności naukowej lub artystycznej

6.1 Udział w grantach naukowych

– Główny wykonawca w projekcie:

„Kształtowanie wydolności beztlenowej pod wpływem treningu z powiększoną objętością anatomicznej przestrzeni martwej.” Grant programu grantów wewnętrznych Akademii Wychowanie Fizycznego we Wrocławiu pn. „Badania naukowe służące rozwojowi młodych naukowców.” Kierownik: Prof. dr hab. Marek Zatoń. Termin realizacji grantu 01.09.2011 – 31.03.2012.

– Główny wykonawca w projekcie:

„Rozwój i mijanie procesów adaptacyjnych wskutek treningu z powiększoną objętością oddechowej przestrzeni martwej.” Grant programu grantów wewnętrznych Akademii Wychowanie Fizycznego we Wrocławiu pn. „Badania naukowe dla młodych naukowców”. Kierownik: Prof. dr hab. Marek Zatoń. Termin realizacji grantu 01.10.2013 – 31.03.2015.

– Główny wykonawca w projekcie:

„Próba identyfikacji skutków glikolitycznego treningu interwałowego za pomocą parametrów fizycznych, fizjologicznych i biochemicznych.” Grant programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pn. "Rozwój Sportu Akademickiego" Numer grantu: N RSA3 00253. Kierownik: Prof. dr hab. Marek Zatoń. Termin realizacji grantu: 08.04.2015 - 07.10.2017.

– Główny wykonawca w projekcie:

„Rozwój i ocena wydolności fizycznej za pomocą wysiłków o zmiennej intensywności.” Grant programu grantów wewnętrznych Akademii Wychowanie Fizycznego we Wrocławiu. Numer grantu: PN/BK/2020/07. Kierownik: dr Rafał Hebisz. Termin realizacji grantu 29.01.2020 – 30.11.2022.

6.2 Wykonane recenzje naukowe:

Recenzja grantu badawczego:

Rok **2023**. Recenzja grantu badawczego w konkursie ogłoszonym przez University of Leuven, Research Council of KU Leuven, Belgia. Tytuł recenzowanego grantu: MAeSTRO: Neuro-Musculoskeletal Assessment and Training for safe e-cycling. Numer grantu: C2M/23/031.

Recenzje artykułów naukowych:

- Dla czasopisma **European Journal of Sport Science [IF = 3,980]**

Rok **2017**, tytuł artykułu: The effect of preceding high-intensity race efforts on the pacing behaviour and performance of elite short-track speed skaters.

Rok **2018**, tytuł artykułu: Short-time high-intensity exercise increases peripheral BDNF in a physical fitness-dependent way in healthy men.

Rok **2019**, tytuł artykułu: Short-term high-intensity interval training increases systemic brain-derived neurotrophic factor (BDNF) in healthy women.

Rok **2020**, tytuł artykułu: Low to moderate-intensity exercise training is as effective as moderate to high-intensity exercise training at lowering preptin and irisin levels in obese children.

Rok **2022**, tytuł artykułu: Effect of polarized training on cardiorespiratory fitness of untrained healthy young adults: A randomized control trial with equal training impulse.

Rok **2023**, tytuł artykułu: The effect of a standardized verbal encouragement protocol on peak oxygen uptake during incremental treadmill testing in healthy individuals: a randomized cross-over trial.

- Dla czasopisma **International Journal of Environmental Research and Public Health [IF = 4,614]**

Rok **2022**, tytuł artykułu: Analysis of a skating time-trial competition and associated performance-determinants in cross-country skiers.

Rok **2022**, tytuł artykułu: Analysis of physical fitness in young padel players according to gender and category.

Rok **2022**, tytuł artykułu: Effects of 30-s all-out effort on postural control in young road cyclists.

Rok **2022**, tytuł artykułu: Heart rate response, temporal structure and the stroke technique distribution in table tennis national category matches.

Rok **2022**, tytuł artykułu: Moderate-to-vigorous physical activity, obesity, and physical fitness in adults: a cross-sectional study.

- Dla czasopisma **Journal of Strength and Conditioning Research [IF = 4,415]**

Rok **2021**, tytuł artykułu: Exercise decreases serum brain-derived neurotrophic factor (BDNF) but did not change time-trial performance in older untrained men.

- Dla czasopisma **Physical Therapy in Sport [IF = 2,365]**

Rok **2018**, tytuł artykułu: Effect of short-term cold-water immersion on muscle pain sensitivity in elite track cyclists.

- Dla czasopisma **Frontiers in Physiology [IF = 4,755]**

Rok **2022**, tytuł artykułu: The acute effect of an exercise fatigue protocol on cardiorespiratory response to high intensity interval performance in road cyclists: the role of fitness level and annual training volume.

- Dla czasopisma **Plos One [IF = 3,752]**

Rok **2019**, tytuł artykułu: Cycling power output and cadence in short-term efforts: a comparison of laboratory and field-based data in XCO athletes.

- Dla czasopisma **Human Movement**

Rok **2019**, tytuł artykułu: Within and between sessions reliability of a pedal force system for power output and pedalling technique measurements.

- Dla czasopisma **Physiology International (Acta Physiologica Hungarica)**

Rok **2020**, tytuł artykułu: Agreement between heart rate deflection point and maximal lactate steady state in young adults.

6.3 Udział w konferencjach naukowych

Prace zaprezentowane podczas konferencji naukowych po uzyskaniu stopnia doktora:

- **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Zatoń Marek. The long-term effects of sprint interval training on physiological response to repeated maximal sprint cycling. 21st Annual Congress of the European College of Sports Science, 2016, Wiedeń, Austria.
- **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Zatoń Marek, Madej Wojciech. Zmiany wydolności fizycznej pod wpływem treningów pojemności glikolitycznej i pojemności tlenowej wykonywanych z zastosowaniem powiększonej objętości oddechowej przestrzeni martwej. XXXI Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Medycyny Sportowej, 2015, Zielona Góra.

- **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Zatoń Marek. Impact of training with additional respiratory dead space on the respiratory and circulatory efficiency in cyclists. *Journal of Physiology and Pharmacology* 2014, 65(1), s.47. XXVI Kongres Polskiego Towarzystwa Fizjologicznego, 2014, Szczecin.

6.4 Wyróżnienia za działalność naukową

- Ocena wyróżniająca, przyznana w roku 2019, w rankingu efektywności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej za lata 2017-2018 wśród pracowników akademickich Wydziału Wychowania Fizycznego, Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu.
- Nagroda II stopnia, w roku 2022, za działalność naukową i maksymalny IF w pojedynczej pracy proporcjonalnie do liczby autorów. Nagroda Rektora Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu.

6.5 Dodatkowe informacje

- Od 2014 roku do chwili obecnej jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Fizjologicznego
- W latach 2020 – 2023 byłam członkiem Komisji Rewizyjnej we Wrocławskim Oddziale Polskiego Towarzystwa Fizjologicznego
- Od 2021 roku jestem członkiem Rady Recenzentów w czasopiśmie *International Journal of Environmental Research and Public Health* [IF = 4,614]
- W latach 2022 – 2023 byłam Edytorem gościnnym w czasopiśmie *International Journal of Environmental Research and Public Health* [IF = 4,614], Special issue: „Exercise Training and Physiological Mechanisms Developing the Physical Fitness Level”

6.6 Wykaz pozostałych publikacji, napisanych po uzyskaniu stopnia doktora nauk o kulturze fizycznej z wyłączeniem prac zaprezentowanych w rozdziale 4 i 5.

Łączna wartość punktowa prac opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora, a nie wchodzących w skład monotematycznego cyklu oraz nie obejmujących prac powstałych w wyniku współpracy międzynarodowej, przedstawia się następująco:

IF = 21,473; MEiN = 707 pkt

Spójność tematyczna całego mojego dorobku naukowego opublikowanego po uzyskaniu stopnia doktora nauk o kulturze fizycznej sprawia, że artykuły które nie wchodzą w skład monotematycznego cyklu publikacji są nadal ściśle z nim związane i rozwijają główny nurt moich zainteresowań naukowych. Prace te obejmują pięć zagadnień, które kolejno omówię przyporządkowując do nich artykuły naukowe:

- Ocena zdolności wysiłkowych poprzez reakcje fizjologiczne, biochemiczne oraz fizyczne w kolejnych seriach sprinterskiego treningu interwałowego
- Ocena sprawności krążeniowo-oddechowej poprzez analizę parametrów termicznych podczas intensywnych wysiłków fizycznych
- Fizjologiczna i biochemiczna charakterystyka kolarzy górskich i kolarzy szosowych
- Ocena maksymalnego poboru tlenu – poszukiwanie protokołu testowego, który umożliwi weryfikowanie wartości VO_{2max}
- Wykorzystanie powiększonej objętości oddechowej przestrzeni martwej w rozwoju wydolności fizycznej

Ocena zdolności wysiłkowych poprzez reakcje fizjologiczne, biochemiczne oraz fizyczne w kolejnych seriach sprinterskiego treningu interwałowego

W skład programów treningowych, których skuteczność oceniałam w prowadzonych badaniach naukowych, wchodził między innymi sprinterski trening interwałowy. Protokół sprinterskiego treningu interwałowego jaki stosowałam, był dużym obciążeniem dla zawodników, ponieważ obejmował od kilku do nawet dwudziestu maksymalnych powtórzeń, a każde powtórzenie trwało 30 sekund. Sposób wykonania powtórzeń był analogiczny do testu Wingate, więc spodziewałam się, że powtórzenia będą miały charakter wysiłków glikolitycznych i będą prowokowały maksymalne zaburzenie równowagi kwasowo-zasadowej. Powtórzenia były podzielone na serie, w każdej serii wykonywano po 4 powtórzenia, przedzielone 90-sekundową przerwą aktywną. Między seriami stosowano dłuższą przerwę aktywną trwającą od 25 do 40 minut. W prowadzonych badaniach naukowych dokonaliśmy oceny bieżących efektów wykonania sprinterskiego treningu interwałowego na podstawie rejestrowanych parametrów fizjologicznych, biochemicznych i fizycznych. Zakładaliśmy, że na podstawie gromadzonych danych będzie można podjąć próbę indywidualizowania obciążenia w treningach interwałowych.

Do tego obszaru badań zaliczam następujące publikacje:

- Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**, Zatoń Marek. Heart rate variability after sprint interval training in cyclists and implications for assessing physical fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2022; 36(2): 558-564. IF = 3,200; MEiN = 100 pkt.
- Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**, Zatoń Marek. Work efficiency in repeated sets of sprint interval exercise in cyclists. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2017; 57(3): 195-201. IF = 1,120; MEiN = 20 pkt.
- **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Bakońska-Pacoń Ewa, Zatoń Marek. Acute hematological response to a single dose of sprint interval training in competitive cyclists. *Science & Sports* 2017; 32(6): 369-375. IF = 0,763; MEiN = 15 pkt.
- Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**, Borkowski Jacek, Zatoń Marek. Differences in physiological responses to interval training in cyclists with and without interval training experience. *Journal of Human Kinetics* 2016; 50: 93-101. IF = 0,798; MEiN = 15 pkt.
- **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Zatoń Marek, Borkowski Jacek. Dynamics of changes in power output, heart rate, and disorders of acid-base balance during interval training in mountain cyclists. *Isokinetics and Exercise Science* 2015; 23(4): 245-252. IF = 0,357; MEiN = 15 pkt.
- Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**, Zatoń Marek. Effects of long-term sprint interval training on work efficiency and acid-base balance in mountain bike cyclists. *Medicina dello Sport* 2019; 72(1): 12-24. IF = 0,406; MEiN = 20 pkt.

Praca: „Heart rate variability after sprint interval training in cyclists and implications for assessing physical fatigue.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w przeprowadzeniu badań, graficzne przedstawienie wyników badań, udział w korygowaniu tekstu artykułu przed wysłaniem do czasopisma oraz po otrzymaniu recenzji, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

W pracy tej oceniano parametry czasowe i częstotliwościowe zmienności zatokowego rytmu pracy serca (HRV) podczas sprinterskiego treningu interwałowego. Próbowaliśmy oceniać rozwój zmęczenia podczas sprinterskiego treningu interwałowego na podstawie analizy HRV, oraz oceny średniej mocy, szczytowej mocy, poboru tlenu, stężenia jonów wodoru i mleczanu we krwi. Dwudziestu siedmiu kolarzy wykonało sprinterski trening interwałowy, który obejmował cztery serie maksymalnych wysiłków. Każda seria składała się

z czterech 30-sekundowych maksymalnych sprintów przeplatanych 90-sekundową aktywną przerwą. Każda seria była oddzielona 25–40 minutową aktywną przerwą. Podczas sprinterskiego treningu interwałowego rejestrowano parametry czasowe i częstotliwościowe HRV: uśrednione odcinki czasowe pomiędzy załawkami R (RRNN), odchylenie standardowe od średniej odcinków czasowych pomiędzy załawkami R (SDNN), pierwiastek kwadratowy ze średniej sumy kwadratów różnic pomiędzy kolejnymi odstępami RR (RMSSD) oraz moc widma niskich częstotliwości (LF), moc widma wysokich częstotliwości (HF) i całkowitą moc widma (T). Przed drugą serią maksymalnych wysiłków obniżyła się wartość SDNN. Wartości wszystkich parametrów czasowych i częstotliwościowych obniżyły się w pomiarze wykonanym przed trzecią serią w porównaniu do pomiaru wykonanego przed pierwszą serią. Uzyskane dane wskazywały na rozwój stresu fizjologicznego już w następstwie wykonania pierwszej i drugiej serii sprintów. Zmianom parametrów HRV nie towarzyszyły zmiany średniej mocy, szczytowej mocy, poboru tlenu ani stężenia jonów mleczanu i wodoru. Dopiero w czwartej serii wysiłków zaobserwowano, że istotnie obniżyła się średnia moc i stężenie jonów wodoru oraz zwiększyła się wartość poboru tlenu, w porównaniu do początkowych serii. W związku z powyższym uznano, że zmiany HRV obserwowane przed kolejnymi seriami sprintów nie były prognostyczne dla zmian zmęczenia, rozumianych jako spadek zdolności do wykonywania pracy. Zmiany HRV nie były też prognostyczne dla zmian metabolicznych, których odzwierciedleniem był pobór tlenu i stężenie jonów wodoru. O braku prognostycznej wartości zmian HRV obserwowanych podczas faz restytucji w sprinterskim treningu interwałowym świadczył również brak znaczącej korelacji pomiędzy zmianami HRV i zmianami mocy jakie zaobserwowano podczas treningu interwałowego.

Praca „Work efficiency in repeated sets of sprint interval exercise in cyclists.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w przeprowadzeniu badań, graficzne przedstawienie wyników badań, udział w wykonaniu korekty tekstu artykułu, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

W publikacji oceniano zmiany efektywności pracy podczas kolejnych serii sprinterskiego treningu interwałowego u kolarzy charakteryzujących się różnym doświadczeniem w wykonywaniu treningu interwałowego. Badano 20 kolarzy podzielonych na dwie grupy: kolarzy wykonujących trening interwałowy co najmniej przez rok (kolarze doświadczeni) oraz kolarzy nieposiadających doświadczenia w treningu interwałowym (kolarze niedoświadczeni). Wszyscy uczestnicy wykonali trening interwałowy obejmujący cztery serie, maksymalnych wysiłków, w każdej serii po cztery 30-sekundowe maksymalne

powtórzenia przeplatane 90-sekundową aktywną przerwą. Między seriami stosowano 25-40 minut aktywnej przerwy. W każdej serii oceniano wydajność pracy, pobór tlenu i stężenie jonów wodoru. Wydajność pracy w grupie kolarzy niemających doświadczenia w treningu interwałowym spadła w drugiej, trzeciej i czwartej serii. Wydajność pracy w grupie kolarzy mających doświadczenie w treningach interwałowych poprawiła się w drugiej, trzeciej i czwartej serii. Stężenie jonów wodoru obniżyło się w drugiej, trzeciej i czwartej serii w porównaniu do pierwszej serii w grupie niedoświadczonych kolarzy, natomiast w trzeciej i czwartej serii w grupie doświadczonych kolarzy. W tej pracy wykazaliśmy, że wydajność pracy w kolejnych seriach sprinterskiego treningu interwałowego poprawia się u kolarzy z doświadczeniem w sprinterskim treningu interwałowym, natomiast pogarsza się u kolarzy nie mających doświadczenia w tym treningu.

Praca: „Acute hematological response to a single dose of sprint interval training in competitive cyclists.”

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w interpretacji wyników i wyciąganiu wniosków z badań, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, zbieraniu piśmiennictwa, prowadzeniu korespondencji z czasopismem.

W pracy oceniano zmiany parametrów hematologicznych podczas sprinterskiego treningu interwałowego u kolarzy. Szesnastu kolarzy wykonało sprinterski trening interwałowy, składający się z czterech serii maksymalnych wysiłków, podobnie jak w wyżej opisanych publikacjach. Podczas sprinterskiego treningu interwałowego mierzono stężenie czerwonych krwinek, białych krwinek i hemoglobiny we krwi oraz wartość hematokrytu po każdej serii oraz przed treningiem. Obliczano procentową zmianę objętości osocza. Przed i po treningu interwałowym oceniano skład ciała i masę ciała. Po każdej kolejnej serii, w porównaniu do wartości wyjściowych, zaobserwowano wyższe stężenie krwinek czerwonych (o 8,4%, 6,8%, 5,6%, 3,8%, odpowiednio w kolejnych seriach), krwinek białych (o 107,8%, 119,6%, 284,3%, 339,2%, odpowiednio w kolejnych seriach), hemoglobiny (o 7,5%, 6,1%, 4,1%, 2,0%, odpowiednio w kolejnych seriach) oraz wyższą wartość hematokrytu (o 9,2%, 7,5%, 7,0%, 3,7%, odpowiednio w kolejnych seriach). Objętość osocza zmniejszyła się (o -14,5%, -11,7%, -9,2%, -5,4%, odpowiednio w kolejnych seriach) w porównaniu z wartością wyjściową. Bezpośrednio po zakończeniu sprinterskiego treningu interwałowego zmniejszyła się masa ciała i zawartość wody w porównaniu ze stanem obserwowanym bezpośrednio przed

treningiem. Stosowany protokół sprinterskiego treningu interwałowego wywołał ostrą hipowolemię po pierwszej serii sprintów, jednak wraz z kolejnymi pomiarami, po kolejnych seriach, stan ten stawał się coraz bardziej łagodny. Po pierwszej serii maksymalnych wysiłków objętość osocza zmniejszyła się o 14,5% po czwartej serii wysiłków objętość osocza zmniejszyła się o 5,4%. Zmiany te mogą wskazywać na zwiększanie się objętości osocza krwi podczas aktywnych przerw (trwających 25-40 minut) stosowanych pomiędzy seriami sprintów. Zwiększenie objętości osocza krwi, pomiędzy kolejnymi seriami wysiłków w sprinterskim treningu interwałowym, byłoby mechanizmem korzystnym ponieważ m.in. może wpływać na zwiększenie objętości wyrzutowej serca, która determinuje ilość zużytego tlenu podczas maksymalnego wysiłku.

Praca „Differences in physiological responses to interval training in cyclists with and without interval training experience.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w przeprowadzeniu badań, udział w zbieraniu i przetwarzaniu danych, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

W tej pracy przedstawiono rozkład mocy powtórzeń w kolejnych seriach sprinterskiego treningu interwałowego. Badano 23 kolarzy, których podzielono na dwie grupy: kolarzy doświadczonych z co najmniej 2-letnim stażem treningu interwałowego i kolarzy niedoświadczonych w sprinterskim treningu interwałowym. Przebieg sprinterskiego treningu interwałowego był podobny do wyżej opisanych, ale liczba serii nie była ściśle określona, trening trwał do odmowy przez badanego. Doświadczeni kolarze wykonali znacznie więcej serii maksymalnych wysiłków niż niedoświadczeni kolarze (odpowiednio $5,8 \pm 1,2$ vs. $4,3 \pm 0,9$ serii). W grupie kolarzy doświadczonych wykonana praca obniżyła się tylko w ostatniej serii, natomiast w grupie kolarzy niedoświadczonych wykonana praca obniżyła się już w drugiej i każdej kolejnej serii, w porównaniu z pierwszą serią. Rozkład mocy, w kolejnych wykonywanych seriach, zmieniał się tylko w grupie kolarzy doświadczonych, od trzeciej serii moc spadała w początkowych powtórzeniach serii, i zwiększała się w końcowych powtórzeniach serii, w porównaniu do pierwszej serii. Stężenie jonów wodoru obniżyło się w trzeciej, przedostatniej i ostatniej serii w grupie doświadczonych kolarzy oraz w każdej kolejnej serii w grupie niedoświadczonych kolarzy, w porównaniu do pierwszej serii. Podsumowując, w pracy tej wykazano, że doświadczeni kolarze byli w stanie wielokrotnie tolerować wysoki poziom kwasicy mleczanowej. Rozkład mocy zmieniał się wraz ze zmniejszeniem zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej. Być może zmiany w

rozkładzie mocy pozwalały grupie kolarzy doświadczonych wykonywać zbliżoną pracę w kolejnych seriach przy mniejszych zaburzeniach równowagi kwasowo-zasadowej.

Praca: „Dynamics of changes in power output, heart rate, and disorders of acid-base balance during interval training in mountain cyclists.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w przetwarzaniu danych, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w zbieraniu piśmiennictwa, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

W pracy tej koncentrowano się na ocenie wysiłkowej oraz restytucyjnej częstości skurczów serca (HR) w kolejnych seriach sprinterskiego treningu interwałowego. Badaniami objęto kolarzy górskich doświadczonych i niedoświadczonych w treningu interwałowym. Przeprowadzony sprinterski trening interwałowy składał się z kilku serii (od 4 do 6, do odmowy przez badanego) maksymalnych powtórzeń, wykonywanych podobnie jak w wyżej opisanych artykułach. W przeprowadzonych badaniach, tylko w grupie kolarzy doświadczonych w treningu interwałowym, po ostatniej serii maksymalnych wysiłków zaobserwowano szybszą pierwszą fazę restytucji HR. Przyspieszenie pierwszej fazy restytucji HR mogło być związane ze znacznie mniejszym wzrostem stężenia jonów mleczanu i wodoru we krwi w ostatniej serii sprintów, w porównaniu do poprzednich serii. Szczytowa wartość HR mierzona podczas powtórzeń obniżyła się w ostatniej serii treningu tylko u kolarzy niedoświadczonych. Kolarze doświadczeni w treningu interwałowym wykonali więcej serii maksymalnych wysiłków ($5,4 \pm 0,64$) niż kolarze niedoświadczeni ($4,4 \pm 0,69$). Tylko u kolarzy niedoświadczonych moc i praca obniżyła się w ostatniej serii, w porównaniu do poprzednich serii. Podsumowując, spadek mocy, wykonanej pracy, szczytowego HR oraz stężenia jonów wodoru we krwi (w porównaniu do pierwszej serii) wydają się być użytecznymi markerami oceny indywidualnej wielkości obciążenia w treningu interwałowym u kolarzy niedoświadczonych w treningu interwałowym. U kolarzy doświadczonych użytecznymi markerami oceny wielkości obciążenia może być spadek stężenia jonów wodoru we krwi oraz szybsza pierwsza faza restytucji HR (w porównaniu do wcześniejszych serii).

Praca: „Effects of long-term sprint interval training on work efficiency and acid-base balance in mountain bike cyclists.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w zaplanowaniu metodyki badań, udział w przeprowadzeniu badań, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzeniu korespondencji z czasopismem.

Celem pracy była ocena zmian wydajności pracy i równowagi kwasowo-zasadowej po kilku miesiącach systematycznego stosowania sprinterskiego treningu interwałowego. Trzydziestu jeden kolarzy górskich o podobnym doświadczeniu treningowym podzielono na dwie grupy. Przez osiem miesięcy jedna grupa wykonywała autorski spolaryzowany program treningowy obejmujący sprinterski trening interwałowy, trening interwałowy o wysokiej intensywności oraz trening wytrzymałościowy o niskiej intensywności. Druga grupa (porównawcza) wykonywała trening interwałowy o wysokiej intensywności oraz trening wytrzymałościowy. Wydajność pracy i równowagę kwasowo-zasadową oceniano podczas sprinterskiego treningu interwałowego, który wykonano przed eksperymentem, oraz po 2, 6 i 8 miesiącach treningu eksperymentalnego. Zmiany istotne statystycznie zaobserwowano jedynie w grupie wykonującej autorski spolaryzowany program treningowy. Całkowita wydajność pracy i pobór tlenu wzrosły po 2, 6 i 8 miesiącach stosowania programu spolaryzowanego. Zaobserwowano mniejszy wzrost stężenia jonów wodoru we krwi w badaniach wykonanych po 2 i 6 miesiącach, w grupie wykonującej trening spolaryzowany, w porównaniu do pomiarów wykonanych przed eksperymentem. W grupie porównawczej zaobserwowano spadek wydajności pracy po 6 i 8 miesiącach treningu. Podsumowując osiągnięte w tej pracy wyniki, stwierdzono że długotrwałe wykonywanie autorskiego spolaryzowanego programu treningowego może znacząco zwiększyć całkowitą ilość wykonanej pracy w powtarzanych maksymalnych wysiłkach przy jednoczesnym zwiększeniu tlenowego kosztu energetycznego i zmniejszeniu zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej.

Ocena sprawności krążeniowo-oddechowej poprzez analizę parametrów termicznych podczas intensywnych wysiłków fizycznych

Podczas wykonywania długotrwałych i intensywnych wysiłków fizycznych istotną rolę w utrzymaniu zdolności wysiłkowej spełniają procesy termoregulacyjne, które umożliwiają usuwanie nadmiaru powstającej energii cieplnej. Sprawność mechanizmu termoregulacji zależy od dystrybucji krwi do mięśni oraz do krążenia skórno. Proces ten odbywa się efektywnie w warunkach dużej objętości krwi i jest dwufazowy. W pierwszej fazie intensywnego wysiłku skórny przepływ krwi się zmniejsza, w drugiej fazie intensywnego wysiłku przepływ krwi w naczyniach skórnych może się zwiększać. Ponieważ objętość krwi jest jednym z czynników determinujących objętość wyrzutową serca (a tym samym również VO_2max) to przyjęliśmy założenie, że możliwa powinna być ocena wydolności fizycznej i sprawności układu krążenia na podstawie obserwacji wysiłkowej

intensywności promieniowania termicznego z wybranych obszarów powierzchni ciała. Kolejnym przedmiotem naszych badań było określenie, czy istnieje związek pomiędzy wydolnością tlenową, a zmianą temperatury wybranych obszarów powierzchni ciała podczas intensywnych wysiłków fizycznych.

Do tego obszaru badań zaliczam następujące publikacje:

- Jastrzębska Agnieszka, Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**. Temporal skin temperature as an indicator of cardiorespiratory fitness assessed with selected methods. *Biology* 2022; 11(7): 948. IF = 4,200; MEiN = 100 pkt.
- Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**, Borkowski Jacek, Wierzbicka-Damska Iwona, Zatoń Marek. Relationship between the skin surface temperature changes during sprint interval testing protocol and the aerobic capacity in well-trained cyclists. *Physiological Research* 2019; 68(6): 981-989. IF = 1,655; MEiN = 40 pkt.

Praca: „Temporal skin temperature as an indicator of cardiorespiratory fitness assessed with selected methods.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w przeprowadzeniu badań, zbieranie danych do analiz, graficzne przedstawienie wyników badań, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu.

Celem tej pracy było ustalenie, czy istnieją związki pomiędzy miarami wydolności fizycznej i sprawności układu krążenia, a zmianami temperatury powierzchni ciała (intensywności promieniowania termicznego) podczas intensywnych wysiłków oraz po ich zakończeniu. W badaniu wzięło udział 23 mężczyzn aktywnych fizycznie. Każdy badany wykonywał test progresywny, a po 48-godzinnej przerwie test weryfikujący, z mocą 110% maksymalnej mocy wyznaczonej w teście progresywnym (Pmax), połączony z analizą parametrów termicznych i rejestracją częstości skurczów serca. Na podstawie zapisu częstości skurczów serca wykonano analizy zmienności zatokowego rytmu pracy serca w restytucji. Gęstość promieniowania cieplnego z powierzchni ciała mierzono kamerą termowizyjną Sonel KT384 podczas wysiłku z mocą 110% Pmax i w restytucji po tym wysiłku. Na podstawie wykonanych analiz stwierdziliśmy, że temperatura powierzchni skroni obniżyła się podczas wysiłku i wzrosła podczas restytucji. Następnie wykazaliśmy, że wysiłkowe zmiany temperatury powierzchni skroni ujemnie korelują z wydolnością fizyczną (mocą testu progresywnego). Wykazaliśmy również, że restytucyjne zmiany temperatury powierzchni skroni dodatnio korelują z wydolnością fizyczną i zastosowanymi miarami sprawności układu

krążenia (VO_2max , restytucyjne parametry zmienności zatokowego rytmu pracy serca, tempo restytucji częstości skurczów serca). Uzyskane wyniki wskazują, że pomiar temperatury powierzchni ciała podczas i po intensywnym wysiłku fizycznym może być użyteczny w ocenie wydolności fizycznej oraz w ocenie sprawności układu krążenia.

Praca: „Relationship between the skin surface temperature changes during sprint interval testing protocol and the aerobic capacity in well-trained cyclists.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w przeprowadzeniu badań, zbieranie danych do analizy, graficzne przedstawienie wyników badań, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

W przeprowadzonym badaniu oceniano, czy zmiany temperatury powierzchni ciała podczas sprinterskiego treningu interwałowego korelują z wydolnością tlenową kolarzy. W badaniu wzięło udział 21 kolarzy. Maksymalną moc testu progresywnego i maksymalny pobór tlenu znormalizowany do masy ciała szczupłego (odpowiednio LBM-Pmax i LBM- VO_2max) zmierzono podczas testu progresywnego. Temperaturę powierzchni ciała rejestrowano na skroni i ramieniu podczas sprinterskiego treningu interwałowego. Na podstawie zapisanych danych stwierdziliśmy, że temperatura powierzchni ciała obniża się w restytucji po serii sprinterskiego treningu interwałowego. Ponadto wykazaliśmy, że LBM- VO_2max silnie koreluje z restytucyjną zmianą temperatury powierzchni skroni. Znaczących korelacji nie stwierdziliśmy dla zmian temperatury powierzchni ramienia. Na podstawie uzyskanych wyników można uznać, że pomiar temperatury ciała podczas sprinterskiego treningu interwałowego może służyć diagnostyce wydolności fizycznej.

Fizjologiczna i biochemiczna charakterystyka kolarzy górskich i kolarzy szosowych

Kolarstwo dzieli się na wiele konkurencji, jednak najbardziej popularnymi w rekreacji i sporcie są kolarstwo górskie oraz kolarstwo szosowe. Charakterystyka tych dwóch konkurencji dość mocno się różni. Czas wyścigów w kolarstwie górskim jest krótszy, rywalizacja wymaga większej intensywności i odbywa się w większości na wyboistych górskich ścieżkach. Rywalizacja w kolarstwie szosowym jest znacznie dłuższa, co wymusza mniejszą intensywność wysiłku, i odbywa się na równych asfaltowych drogach. Niektóre wyścigi szosowe składają się z wielu etapów rozgrywanych w kolejnych dniach. W kilku naszych pracach staraliśmy się wskazać różnice pomiędzy charakterystyką fizjologiczną, biochemiczną i fizyczną kolarzy górskich i szosowych.

Do tego obszaru badań zaliczam następujące publikacje:

- Hebisz Rafał, Borkowski Jacek, **Hebisz Paulina**. Creatine kinase and myoglobin plasma levels in mountain bike and road cyclists 1 h after the race. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022; 19(15): 9456. MEiN = 140 pkt. W momencie opublikowania artykułu czasopismo posiadało IF = 4,614; ale w czerwcu bieżącego roku straciło współczynnik IF za rok 2022.
- **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Borkowski Jacek, Zatoń Marek. Time of VO₂max plateau and post-exercise oxygen consumption during incremental exercise testing in young mountain bike and road cyclists. *Physiological Research* 2018; 67(5): 711-719. IF = 1,701; MEiN = 20 pkt.
- **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Zatoń Marek. Body balance in a free-standing position in road and off-road cyclists. *Baltic Journal of Health and Physical Activity* 2014; 6(4): 245-251. MEiN = 11 pkt.
- Zatoń Marek, **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał. Zmiany fizjologiczne u kolarzy szosowych i górskich pod wpływem wieloletniego treningu. *Sport Wyczynowy* 2011; 49(3): 69-80. MEiN = 1 pkt.

Praca: „Creatine kinase and myoglobin plasma levels in mountain bike and road cyclists 1 h after the race.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w zbieraniu danych, graficzne przedstawienie wyników badań, wykonanie poprawek w przygotowanym tekście artykułu, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

Celem pracy było porównanie wpływu wyścigu kolarzy górskich i wyścigu kolarzy szosowych na zmiany aktywności kinazy kreatynowej (CK) i stężenia mioglobiny (Mb) w osoczu krwi. Ponadto chcieliśmy sprawdzić czy spodziewane zmiany wykażą korelację z wynikami wyścigu. Kolarze górscy (n = 11) i kolarze szosowi (n = 14), byli badani przed i po wyścigu. Kolarzom pobrano krew 2 godziny przed i 1 godzinę po wyścigu w celu oceny aktywności CK i stężenia Mb. Następnie obliczono różnicę aktywności CK i stężenia Mb pomiędzy pomiarami wykonanymi w próbkach pobranych przed wyścigiem i po wyścigu (Δ CK i Δ Mb). Mierzono czas rywalizacji każdego kolarza i obliczano stratę czasową w stosunku do zwycięzcy wyścigów (TD). Wydolność tlenową kolarzy oceniano podczas testu progresywnego, w którym mierzono maksymalny pobór tlenu i maksymalną moc testu progresywnego. Zaobserwowano, że aktywność CK i stężenie Mb różniły się istotnie

między pomiarami wykonanymi przed i po wyścigu. Aktywność CK po wyścigu zwiększyła się tylko u kolarzy szosowych, podczas gdy stężenie Mb po wyścigu zwiększyło się tylko u kolarzy górskich. Na podstawie wykonanych korelacji stwierdzono zależność pomiędzy stratą czasową do zwycięzcy i ΔMb wśród kolarzy szosowych, oraz zależność pomiędzy stratą czasową do zwycięzcy i ΔCK wśród kolarzy górskich.

Praca: „Time of VO_2max plateau and post-exercise oxygen consumption during incremental exercise testing in young mountain bike and road cyclists.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w zbieraniu piśmiennictwa, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

W pracy porównywano pośrednie markery wydolności beztlenowej (takie jak: stężenie jonów mleczanu i wodoru w krwi po teście Wingate i teście progresywnym, maksymalną moc osiągniętą w teście Wingate, oraz czas plateau VO_2max w teście progresywnym) u kolarzy szosowych i górskich. W badaniach uczestniczyło 14 kolarzy górskich i 13 kolarzy szosowych, którzy wykonali test Wingate oraz test progresywny. Podczas testu Wingate mierzono maksymalną moc beztlenową oraz średnią moc. Podczas testu progresywnego mierzono maksymalną moc tlenową, maksymalny pobór tlenu oraz czas plateau VO_2max ($T_{plateau}$). Analizowano powysiłkowe pomiary poboru tlenu (VO_2post), wydalania dwutlenku węgla, (VCO_2post) oraz współczynnika oddechowego RER ($RERpost$) przez 3 minuty bezpośrednio po teście progresywnym. Ponadto mierzono stężenie jonów mleczanu i wodoru w krwi, w 3 minucie po każdym teście. Zebrane dane wykazały znaczące różnice między kolarzami górskimi i kolarzami szosowymi pod względem $T_{plateau}$, VO_2post , VCO_2post , $RERpost$ i stężenia mleczanu. Powyższe parametry osiągnęły wyższe wartości wśród kolarzy górskich w porównaniu do kolarzy szosowych. Nie zaobserwowano różnic między kolarzami górskimi i szosowymi w wartościach P_{max} , VO_2max , stężenia jonów wodoru oraz parametrów mierzonych w teście Wingate. Wydłużony czas plateau VO_2max w połączeniu z większymi powysiłkowymi wartościami stężenia mleczanu i poboru tlenu może sugerować większy udział przemian beztlenowych podczas testów progresywnych u kolarzy górskich, w porównaniu z kolarzami szosowymi.

Praca: „Body balance in a free-standing position in road and off-road cyclists.

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w zbieraniu piśmiennictwa, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

W pracy porównywano zdolności utrzymania równowagi ciała kolarzy szosowych i górskich bezpośrednio przed i po sezonie wyścigowym. W badaniu wzięło udział 10 kolarzy szosowych i 10 kolarzy górskich. Bezpośrednio przed i po pięciomiesięcznym sezonie wyścigowym przeprowadzono próby stabilograficzne w swobodnej postawie stojącej (w spoczynku i po teście progresywnym). W ocenie równowagi ciała analizowano odległość i prędkość przesunięć środka nacisku (w płaszczyźnie strzałkowej i płaszczyźnie czołowej). Testy przeprowadzono przy oczach otwartych, zamkniętych i w sprzężeniu zwrotnym. Po sezonie wyścigowym, w grupie kolarzy górskich zwiększyła się odległość i prędkość środka przesunięć nacisku mierzona po teście progresywnym. W grupie kolarzy górskich, po sezonie wyścigowym, doszło do pogorszenia równowagi ciała w płaszczyźnie strzałkowej. Ponadto po sezonie wyścigowym kolarze górscy charakteryzowali się gorszą równowagą ciała w porównaniu z kolarzami szosowymi. Wysiłkowi kolarzy górskich towarzyszą drgania i ruchy pionowe związane z pokonywaniem nierówności podłoża. Zawodnicy mogą je amortyzować poprzez pracę kończyn i tułowia, utrzymując równowagę ciała. Możliwe, że wielokrotne powtarzanie takich bodźców wysiłkowych wpływa na recepcję układu przedsionkowego lub adaptację jąder przedsionkowych w ośrodkowym układzie nerwowym. Większa odległość i prędkość przesunięć środka nacisku podczas wyścigu może pozwalać sprawniej pokonywać nierówności terenu. W związku z powyższymi zmianami, które zaobserwowaliśmy w badaniach u kolarzy górskich mogą być zmianami przystosowawczymi. Jednocześnie w grupie kolarzy szosowych zaobserwowano poprawę równowagi statycznej po sezonie wyścigowym.

Praca: „Zmiany fizjologiczne u kolarzy szosowych i górskich pod wpływem wieloletniego treningu”.

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w przeprowadzeniu badań, udział w zbieraniu danych do analizy, graficzne przedstawienie wyników badań, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

Celem badań było porównanie zmian utrwalonych u zawodników uprawiających kolarstwo szosowe i górskie w następstwie wieloletniego treningu. W trakcie minimum 4 lat wykonywano regularne badania wysiłkowe (test progresywny) z pomiarem mocy mięśniowej,

pracy całkowitej, poboru tlenu, wentylacji minutowej płuc, częstości skurczów serca, pH krwi, stężenia wodorowęglanów oraz stężenia jonów mleczanu w krwi. W wyniku wieloletniego treningu istotnie wzrosła ilość wykonanej pracy i powysiłkowe pH krwi oraz obniżyła się maksymalna częstość skurczów serca, w całej badanej grupie. Kolarze górscy charakteryzowali się wyższymi wartościami maksymalnego poboru tlenu oraz wykonanej w teście pracy w trakcie całego eksperymentu. Uzyskane wyniki wskazują, że wysiłek kolarzy górskich sprzyja szybszemu wzrostowi zdolności do wykonywania maksymalnej pracy o charakterze tlenowym.

Ocena maksymalnego poboru tlenu – poszukiwanie protokołu testowego, który umożliwi weryfikowanie wartości VO_2max

Maksymalny pobór tlenu (VO_2max) jest przedmiotem badań od wielu lat i jest uznawany za złoty standard w ocenie wydolności tlenowej. W celu oceny VO_2max najczęściej stosowany jest protokół testu progresywnego, podczas którego systematycznie zwiększa się intensywność wykonywanego wysiłku, który trwa do odmowy przez badanego. Jednak ciągle dyskutowanym problemem jest ustalenie którzy uczestnicy rzeczywiście wykonali maksymalny wysiłek podczas testu progresywnego, a którzy zakończyli test przedwcześnie nie osiągając prawdziwego maksymalnego poboru tlenu. W związku z wątpliwościami poszukuje się protokołów testowych, które weryfikowałyby wyniki testu progresywnego. Niektórzy, w celu potwierdzenia uzyskania VO_2max , podpierają się osiągnięciem fazy plateau VO_2max podczas testu progresywnego. Inni proponują wykonanie testu weryfikującego w celu potwierdzenia uzyskania maksymalnego poboru tlenu. Jest to test wykonywany po około 5-15 minutach od zakończenia testu progresywnego. Podczas testu weryfikującego wykonuje się wysiłek kilkuminutowy o stałej mocy, wyższej niż moc osiągnięta w teście progresywnym. Niektórzy sugerują aby wysiłek weryfikujący uzyskanie VO_2max wykonać w innym dniu, niż test progresywny, ponieważ tolerancja wysiłku jest wówczas wyższa. W związku z powyższym prowadziliśmy badania, w których poszukiwaliśmy protokołu testowego, umożliwiającego osiągnięcie najwyższych wartości poboru tlenu wśród kolarzy.

Do tego obszaru badań zaliczam następujące publikacje:

- **Hebisz Paulina**, Jastrzębska Agnieszka, Hebisz Rafał. Real assessment of maximum oxygen uptake as a verification after an incremental test versus without a test. *Frontiers in Physiology* 2021; 12: 739745. IF = 4,755; MEiN = 100 pkt.
- Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**, Zatoń Marek, Michalik Kamil. Peak oxygen uptake in a sprint interval testing protocol vs. maximal oxygen uptake in an incremental testing protocol and their relationship with cross-country mountain biking performance. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism* 2017; 42(4): 371-376. IF = 2,518; MEiN = 30 pkt.

Praca: „Real assessment of maximum oxygen uptake as a verification after an incremental test versus without a test.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w tworzeniu koncepcji pracy, udział w interpretacji wyników badań, udział w graficznym przedstawieniu wyników, udział w przygotowaniu tekstu artykułu.

W pracy porównywano wartość szczytowego poboru tlenu (VO_{2peak}), mierzonego podczas testu progresywnego oraz podczas dwóch testów weryfikujących. Jeden z testów weryfikujących wykonano 15 min po teście progresywnym (VO_{2peak} 1), drugi wykonano w innym dniu (VO_{2peak} 2). Poszukiwano korelacji, która pozwoliłaby przewidzieć którym uczestnikom wystarczy do oceny maksymalnego poboru tlenu tylko test weryfikujący, a którzy powinni wykonywać test progresywny. Badania przeprowadzono wśród 23 osób (osoby aktywne fizycznie oraz kolarze). Indywidualna analiza wykazała, że w teście weryfikującym 1 – 3 osoby, a w teście weryfikującym 2 – 11 osób uzyskało większą wartość szczytowego poboru tlenu niż w teście progresywnym. Wśród osób młodych wydaje się prawdopodobnym, że test weryfikujący maksymalny pobór tlenu ma większe znaczenie diagnostyczne, gdy jest wykonywany w osobnym dniu. Na podstawie zmian częstości skurczów serca w fazie wolnej reakcji krążeniowej na wysiłek o umiarkowanej intensywności (np. podczas rozgrzewki) oraz na podstawie ilorazu masy ciała szczupłego i wysokości ciała możliwe jest przewidywanie, czy najwyższa wartość szczytowego poboru tlenu zostanie uzyskana w teście progresywnym, czy w teście weryfikującym, wykonanym w osobnym dniu. Ta zależność może mieć znaczenie aplikacyjne, ponieważ pozwoli na oszczędność czasu przeznaczanego na badanie maksymalnego poboru tlenu, poprzez skrócenie procedury jego pomiaru do jednego testu.

Praca: „Peak oxygen uptake in a sprint interval testing protocol vs. maximal oxygen uptake in an incremental testing protocol and their relationship with cross-country mountain biking performance.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w przeprowadzeniu badań, graficzne przedstawieniu wyników badań, udział w wykonaniu korekty tekstu artykułu przed wysłaniem do czasopisma, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

W tej pracy poszukiwaliśmy odpowiedzi na pytanie, czy szczytowy pobór tlenu (VO_2peak) osiągnięty w sprinterskim wysiłku interwałowym (SIT) koreluje z wynikiem sportowym. Ponadto chcieliśmy sprawdzić, czy wartość VO_2peak w SIT jest zbliżona do szczytowego poboru tlenu uzyskanego w teście progresywnym przez kolarzy górskich. Grupa 28 kolarzy górskich wykonała trzy próby wysiłkowe: a) test progresywny, b) wysiłek interwałowy polegający na wykonaniu czterech 30-sekundowych powtórzeń z maksymalną intensywnością, przedzielonych przerwą 90-sekundową, c) start w wyścigu kolarstwa górskiego. Podczas testu progresywnego i wysiłku interwałowego mierzony był pobór tlenu i wentylacja minutowa płuc. Podczas wyścigu mierzono czas rywalizacji. Wykazano istotną statystycznie korelację pomiędzy szczytowym poborem tlenu w wysiłku interwałowym, a czasem wyścigu. U 9 zawodników szczytowy pobór tlenu w wysiłku interwałowym był wyższy, niż w teście progresywnym. Zawodnicy ci charakteryzowali się istotnie krótszym czasem uzyskanym podczas wyścigu względem zawodników, u których pobór tlenu w wysiłku interwałowym był niższy niż w teście progresywnym. Podsumowując, kolarze górcy u których szczytowy pobór tlenu w wysiłku interwałowym przekraczał szczytowy pobór tlenu w teście progresywnym osiągnęli lepsze wyniki sportowe.

Wykorzystanie powiększonej objętości oddechowej przestrzeni martwej w rozwoju wydolności fizycznej

Jednym ze środków, który może kształtować wydolność fizyczną jest trening z zastosowaniem powiększonej objętości oddechowej przestrzeni martwej. W fizjologicznej przestrzeni martwej (nieużytecznej) powietrze wdychane zostaje rozcieńczone w drogach oddechowych przez powietrze, które pozostało w nich po poprzednim wydechu. To powoduje, że nowa porcja wdechowego powietrza rozcieńcza się w nim i zawiera mniejszą procentową ilość tlenu a większą dwutlenku węgla. Fizjologiczna przestrzeń martwa to objętość powietrza w tej części dróg oddechowych, w których nie zachodzi wymiana gazowa.

Anatomiczna przestrzeń martwa stanowi różnicę pomiędzy objętością oddechową a objętością powietrza zalegającą w płucach bezpośrednio po wykonaniu wydechu. Różnicowanie tych dwóch przedziałów wynika z faktu, że podczas pogłębionego i/lub częstego oddychania zwiększa się objętość powietrza nie podlegającego wymianie gazowej. Objętość anatomicznej przestrzeni martwej można zwiększyć poprzez zastosowanie specyficznych urządzeń. Wielkość obciążenia (objętość przestrzeni martwej) można dowolnie regulować. Wykorzystanie dodatkowej oddechowej przestrzeni martwej zachodzi na przykład podczas nurkowania z rurką. Wtedy w skład powietrza pęcherzykowego wchodzi więcej powietrza po poprzednim wydechu. Zwiększenie przestrzeni nieużytecznej może prowadzić do pogłębienia oddychania. Regularne wysiłki w takich warunkach mogą sprzyjać poprawie tolerancji podwyższonego ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla, a obniżonego ciśnienia parcjalnego tlenu. Sugeruje się, że w ten sposób można osiągnąć zmiany adaptacyjne do pracy w warunkach hiperkapnii i/lub hipoksji. Oddychanie przez powiększoną objętość oddechowej przestrzeni martwej może poprawić sprawność wymiany gazowej i sprawność mięśni oddechowych. Dlatego prowadziliśmy badania aby ocenić wpływ stosowania powiększonej objętości oddechowej przestrzeni martwej na poziom wydolności fizycznej.

Do tego obszaru badań zaliczam następujące publikacje

- Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**, Zatoń Marek. Impact of training with additional respiratory dead space on spirometry and exercise respiratory pattern in cyclists. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine* 2015; 9(1): 75-83. MEiN = 12 pkt.
- **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Zatoń Marek. Changes in breathing pattern and cycling efficiency as a result of training with added respiratory dead space volume. *Human Movement* 2013; 14(3): 247-253. MEiN = 14 pkt.
- Powyższe prace, oceniające wpływ treningu z powiększoną objętością oddechowej przestrzeni martwej na wydolność fizyczną, były kontynuacją badań jakie prowadziłam przed uzyskaniem stopnia doktora nauk o kulturze fizycznej.

Praca: „Impact of training with additional respiratory dead space on spirometry and exercise respiratory pattern in cyclists.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w zaplanowaniu i wyborze metodyki badań, udział w przeprowadzeniu badań, graficzne przedstawienie wyników badań, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopiśmem.

W pracy oceniano wpływ treningów z zastosowaniem powiększonej objętości oddechowej przestrzeni martwej, na parametry mierzone podczas badania spirometrycznego oraz parametry oddechowe mierzone podczas testu ciągłego. Dwudziestu kolarzy losowo podzielono na dwie grupy: eksperymentalną i kontrolną. Eksperyment trwał 10 tygodni, w tym czasie wszyscy kontynuowali swój dotychczasowy program treningowy. Tylko w grupie eksperymentalnej, podczas treningów wytrzymałościowych (wykonywanych 2 razy w tygodniu), kolarze stosowali dodatkową objętość oddechowej przestrzeni martwej (którą stanowiła maska połączona z rurą o łącznej objętości 1000 ml). Bezpośrednio przed i po eksperymencie każdy uczestnik został poddany badaniu spirometrycznemu oraz wykonał test ciągły o stałej intensywności. W teście spirometrycznym mierzono szczytowy przepływ wdechowy (PIF) i wydechowy (PEF), natężoną objętość wydechową w ciągu jednej sekundy (FEV1) i natężoną pojemność życiową (FVC). W teście ciągłym mierzono objętość oddechową, częstotliwość oddechów oraz czas wdechu i wydechu. Przeprowadzony eksperyment wykazał wzrost objętości oddechowej i spadek częstotliwości oddechów w obu grupach kolarzy. Objętość oddechowa była istotnie wyższa w grupie eksperymentalnej w porównaniu do grupy kontrolnej. Ponadto tylko w grupie eksperymentalnej wzrosła wartość PIF, PEF oraz FEV1. Podsumowując stwierdzono, że dodatkowa objętość oddechowej przestrzeni martwej zastosowana podczas treningów w grupie eksperymentalnej wpłynęła na wzrost przepływu powietrza obserwowany w badaniach spirometrycznych w spoczynku oraz podczas intensywnego wysiłku ciągłego.

Praca: „Changes in breathing pattern and cycling efficiency as a result of training with added respiratory dead space volume.”

Mój wkład w powstanie tej pracy: udział w planowaniu i wyborze metodyki badań, udział w przeprowadzeniu badań, udział przygotowaniu tekstu artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

W pracy oceniano wpływ treningu z powiększoną objętością oddechowej przestrzeni martwej na wzorzec oddychania i wydolność fizyczną. Dwudziestu kolarzy losowo podzielono na grupę eksperymentalną i kontrolną. Wszyscy uczestniczyli w programie treningowym, który obejmował trening wytrzymałościowy o umiarkowanej intensywności oraz trening interwałowy o maksymalnej intensywności. Podczas treningu wytrzymałościowego, tylko w grupie eksperymentalnej, stosowano dodatkową objętością oddechowej przestrzeni martwej (1000 ml). Parametry oddechowe, w tym m.in. pobór tlenu (VO_2), wydalanie dwutlenku węgla (VCO_2), krańcowo-wydechowe ciśnienie parcjalne

dwutlenku węgla (PETCO₂), wentylację minutową płuc (VE), objętość oddechową (TV) oraz całkowitą wykonaną pracę (W), mierzono przed i po eksperymencie podczas testu progresywnego i ciągłego. Po przeprowadzonym eksperymencie zaobserwowano wyższe PETCO₂ i TV w obu grupach podczas obu testów. VCO₂ wzrosło w grupie eksperymentalnej podczas testu ciągłego. VO₂ i VE wzrosły tylko w grupie eksperymentalnej podczas testu ciągłego i progresywnego. Praca całkowita wzrosła podczas testu ciągłego w obu grupach. Jednak całkowita praca wykonana podczas testu progresywnego wzrosła tylko w grupie eksperymentalnej. Podsumowując stwierdzono, że trening z powiększoną objętością oddechowej przestrzeni martwej poprawiał wydolność wysiłkową podczas maksymalnego wysiłku oraz wpłynął na poprawę maksymalnego poboru tlenu. Z drugiej strony ten rodzaj treningu wpłynął na zmniejszenie wydajności energetycznej wysiłku submaksymalnego.

Pozostałe prace:

- Michalik Kamil, Zatoń Marek, **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał. Heart rate and oxygen uptake recovery and the level of aerobic capacity in mountain bikers. *Polish Journal of Sport and Tourism* 2017; 24(4): 242-246. MEiN = 14 pkt.
- Hebisz Rafał, Błacha Ryszard, **Hebisz Paulina**, Szczepan Stefan. The relationship between the gross efficiency and the ability to repeat the given pressure force in trained cyclists. *Human Movement* 2019; 20(1): 48-54. MEiN = 40 pkt.

7. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

Staż dydaktyczny

9.06. – 15.06. 2016 – Staż dydaktyczny w University of Porto, Faculty of Sport, Porto, Portugalia. Opiekunką stażu była Profesor Susana Soares Ribeiro.

Promotorstwo prac dyplomowych

- W latach 2019 - 2022 byłam promotorem pomocniczym przewodu doktorskiego i rozprawy doktorskiej mgr Natalii Danek. Tytuł rozprawy: Znaczenie rozgrzewki hiperkapniczej w rozwoju wydolności beztlenowej.

- Od 2011 roku do chwili obecnej byłam promotorem oraz recenzentem prac dyplomowych licencjackich (7 prac) i magisterskich (5 prac). Tematyka prac była związana z wykorzystaniem wskaźników fizjologicznych, biochemicznych i fizycznych w ocenie skuteczności stosowania różnych programów treningowych w rozwoju wydolności fizycznej wśród osób trenujących i nietrenujących.

Autorski program specjalizacji instruktorskiej, sylabusy oraz zajęcia dydaktyczne z przedmiotów:

- Od 2014 roku do chwili obecnej prowadzę według mojego autorskiego programu przedmiot „Specjalizacja instruktorska: Kolarstwo”, realizowany na studiach drugiego stopnia, na kierunku Sport oraz na kierunku Wychowanie Fizyczne w Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu.
- Jestem autorką sylabusu dla przedmiotu „Fizjologia i biochemia treningu sportowego”, który jest realizowany na studiach drugiego stopnia, na kierunku Sport w Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu.
- Jestem autorką sylabusu dla przedmiotu „Fizjologia treningu sportowego”, który jest realizowany na studiach drugiego stopnia, na kierunku Wychowanie Fizyczne w Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu.
- Od 2010 roku do chwili obecnej prowadzę zajęcia z przedmiotu „Fizjologia”, który jest realizowany na studiach pierwszego stopnia, na kierunku Wychowanie Fizyczne oraz na kierunku Sport w Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu.
- W latach 2013 – 2017 prowadziłam zajęcia z przedmiotu „Fizjologiczne metody kontroli relaksacji”, który był realizowany na kierunku Turystyka i Rekreacja w Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu.
- Od 2015 roku do chwili obecnej prowadzę zajęcia z przedmiotu „Fizjologia i biochemia treningu sportowego”, który jest realizowany na studiach drugiego stopnia, na kierunku Sport w Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu.
- Od 2017 roku do chwili obecnej prowadzę zajęcia z przedmiotu „Fizjologia treningu sportowego”, który jest realizowany na studiach pierwszego stopnia, na kierunku Wychowanie Fizyczne w Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu.

- Od 2017 roku do chwili obecnej prowadzę zajęcia z przedmiotu „Programowanie i kontrola wysiłku fizycznego”, który jest realizowany na studiach drugiego stopnia, na kierunku Wychowanie Fizyczne w Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu.
- Od 2017 roku do chwili obecnej jestem opiekunem dydaktycznym praktyk studenckich w ramach „Praktyki zawodowej trenerskiej - dyscyplina: Kolarstwo”, realizowanej na studiach pierwszego stopnia, na kierunku Sport w Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu.

Członkostwo w komisjach i zespołach

- W latach 2016 – 2017 byłam członkiem Komisji Konkursowej Wydziału Wychowania Fizycznego, Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu. Komisja Konkursowa w sprawie rozstrzygnięcia otwartych konkursów na stanowiska nauczycieli akademickich.
- W latach 2017 – 2020 byłam członkiem Wydziałowej Komisji Dydaktyki, na Wydziale Wychowania Fizycznego w Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu.
- W latach 2019 – 2023 byłam członkiem Komisji Egzaminacyjnej do przeprowadzenia egzaminów dyplomowych (licencjackich) na kierunku Wychowanie Fizyczne w Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu (od 2022 Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu).
- W latach 2021 – 2022 byłam członkiem Komisji Przetargowej w Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu.
- W roku 2022 byłam członkiem Zespołu przygotowującego kierunek Sport, Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, do oceny przez Polską Komisję Akredytacyjną.

Uczestnictwo w szkoleniach

- W roku 2013 uczestniczyłam w szkoleniu pt.: „Zwiększanie dostępności uczelni wyższych dla osób niepełnosprawnych”, organizowanym przez Fundację Instytutu Rozwoju Regionalnego.
- W roku 2016 uczestniczyłam w szkoleniu pt.: „Aktualnie stosowane procedury w projektowaniu i wytwarzaniu suplementów diety. Zasady funkcjonowania

laboratoriów kontroli w zakładzie farmaceutycznym”, organizowanym przez Olimp Laboratories Sp. z o.o.

- W roku 2021 uczestniczyłam w szkoleniu pt.: „Wsparcie w kryzysie zdrowia psychicznego”, organizowanym przez Stowarzyszenie „Twoje Nowe Możliwości”.

Udział w konferencjach popularyzatorskich

Wystąpienie na Kongresie Rowerowym organizowanym przez Szkołę Wyższą Psychologii Społecznej we Wrocławiu w ramach Dolnośląskiego Festiwalu Rowerowego. Temat wystąpienia: Trening z użyciem współczesnych metod kontroli obciążeń, 2015, Wrocław.

Uniwersytet dzieci

Prowadziłam zajęcia w ramach Uniwersytetu Dzieci, w cyklu spotkań zatytułowanych „Rozbudzamy w dzieciach pasję do aktywności fizycznej i pomagamy im odkrywać własne zainteresowania”. Temat zajęć: „Jak pokonywać przeszkody na rowerze.”

Wyróżnienia

Podręcznik, którego jestem współautorem zajmuje II miejsce w rankingu popularności i liczby sprzedawanych egzemplarzy w ciągu ostatniej dekady. Ranking prowadzony przez Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu oraz Księgarnię Sportowo-Medyczną we Wrocławiu.

Zatoń Marek, Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**. Fizjologiczne podstawy treningu w kolarstwie górskim. Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Wrocław 2011.

8. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Do 2015 roku byłam zawodniczką kolarstwa górskiego, posiadającą licencję Polskiego Związku Kolarskiego. Do moich największych osiągnięć należą:

- I miejsce w Pucharze Polski w maratonie w kolarstwie górskim, 2008 rok, kategoria Elita kobiet.
- II miejsce w Pucharze Polski w kolarstwie górskim, 2010 rok, kategoria Elita kobiet,
- III miejsce w Mistrzostwach Polski w maratonie w kolarstwie górskim, 2010 rok, kategoria Elita kobiet,

- II miejsce w Mistrzostwach Polski w wyścigu drużynowym w kolarstwie górskim, 2012 rok.

W latach 2012 – 2020 byłam trenerem kolarstwa górskiego w następujących klubach:

- KTM Racing Team Złoty Stok,
- SGR Specialized,
- Asystentka trenera Kadry Narodowej w kolarstwie górskim 2013 rok.
- W tym czasie moi podopieczni wielokrotnie zdobywali medale podczas Mistrzostw Polski w kolarstwie górskim, oraz regularnie zajmowali miejsca w drugiej dziesiątce podczas Pucharów Świata, Mistrzostw Europy i Mistrzostw Świata w kolarstwie górskim.

Informacja nauko-metryczna całego dorobku po uzyskaniu stopnia doktora:

Liczba punktów zgodnie z wykazami MEiN/MNiSW - 1512 pkt.

Wartość wskaźnika Impact Factor – 43,641 (przed zmianą punktacji czasopism naukowych, która miała miejsce w czerwcu 2023 roku, wskaźnik IF mojego dorobku wynosił 56,267).

Indeks Hirscha – 6

Liczba cytowań:

- wg Author Search: ogółem 100, bez autocytowań 59, autocytowania 41
- wg Cited Reference Search: ogółem 112, bez autocytowań 68, autocytowania 44

Paulina Hebisz

.....
(podpis wnioskodawcy)

Wykaz dokumentów potwierdzających najistotniejsze osiągnięcia naukowe:

1. Skan dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora
2. Pełne teksty artykułów tworzących osiągnięcie naukowe: cykl siedmiu oryginalnych prac naukowych powiązanych tematycznie, opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora
3. Skany oświadczeń współautorów prac zespołowych, wchodzących w skład cyklu siedmiu oryginalnych prac naukowych powiązanych tematycznie
4. Potwierdzenie aktywności naukowej w innej Uczelni:
 - Skany dokumentów potwierdzających odbycie stażów naukowych
 - Pełne teksty artykułów naukowych będących efektem odbytego stażu
5. Potwierdzenie udziału w grantie naukowym finansowanym przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego
6. Informacja naukometryczna całego dorobku naukowego potwierdzona przez Bibliotekę Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu



RZECZPOSPOLITA POLSKA

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO WE WROCŁAWIU

WYDZIAŁ WYCHOWANIA FIZYCZNEGO

DYPLOM

Paulina Hebisz

URODZONA DNIA 22 maja 1983 r. w Leżajsku

NA PODSTAWIE PRZEDSTAWIONEJ ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

*Zmiany wydolności beztlenowej kolarzy w efekcie treningu
z powiększoną objętością oddechowej przestrzeni martwej*

ORAZ PO ZŁOŻENIU WYMAGANYCH EGZAMINÓW UZYSKAŁA
STOPIEŃ NAUKOWY

DOKTORA

NAUK O KULTURZE FIZYCZNEJ

NADANY UCHWAŁĄ RADY WYDZIAŁU WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
AKADEMII WYCHOWANIA FIZYCZNEGO we Wrocławiu

Z DNIA 02 CZERWCA 2011 ROKU

PROMOTOR W PRZEWODZIE DOKTORSKIM:

PROF. DR HAB. MAREK ZATOŃ

RECENZENCI W PRZEWODZIE DOKTORSKIM:

PROF. DR HAB. N. MED. KRZYSZTOF KLUKOWSKI

PROF. DR HAB. JAN CHMURA

Wrocław, 29 WRZEŚNIA 2011 R.

DZIEKAN

PROF. DR HAB. JAN CHMURA

REKTOR

PROF. DR HAB. JULIUSZ MIGASIEWICZ

NR 461

Pełne teksty artykułów tworzących osiągnięcie
naukowe: cykl siedmiu oryginalnych prac naukowych
powiązanych tematycznie, opublikowanych po
uzyskaniu stopnia doktora

Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists

Paulina Hebisz¹ · Rafał Hebisz^{1,2} · Marek Zaton¹ ·
Bartosz Ochmann¹ · Natalia Mielnik¹

Received: 20 January 2016 / Accepted: 28 May 2016 / Published online: 4 June 2016
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Abstract

Purpose In this study, we compared the effects of two different training modalities on maximal oxygen uptake and work output.

Methods Participants included 26 well-trained mountain bike cyclists were divided into two groups. The first group trained using a conventional endurance protocol at steady-state (moderate) intensity and variable-intensity (high-moderate-low) free of maximal efforts. The second group combined endurance training with a sprint and high-intensity interval training protocol, which, respectively, were based on 30 s maximal repetitions and 4 min high intensity repetitions. Training duration was 8 weeks. A graded exercise test was administered pre- and post-training. Work output, oxygen uptake, minute pulmonary ventilation, heart rate and stroke volume were determined during the test.

Results While work output significantly increased post-training in both groups ($P < 0.05$), the interval training group showed a greater magnitude of change (from 284.4 ± 91.9 to 314.2 ± 95.1 kJ) than the endurance training group (from 271.8 ± 73.3 to 283.4 ± 72.3 kJ). Significant increases in maximal oxygen uptake (from 57.9 ± 6.8 to 66.6 ± 5.3 ml kg⁻¹ min⁻¹), maximal pulmonary ventilation and stroke volume were observed only in the interval training group.

Conclusions An exercise protocol involving endurance and sprint and high-intensity interval training was found to induce positive effects on maximal oxygen uptake in a group of well-trained cyclists with several years athletic experience.

Keywords Interval training · Maximal oxygen uptake · Cycling

Abbreviations

ANOVA	Analysis of variance
E	Endurance training group
H ⁺	Hydrogen ion
HIIT	High-intensity interval training
HRmax	Maximal heart rate
I	Interval and endurance training group
MTB	Mountain bike
SV	Stroke volume
VE	Minute pulmonary ventilation
VO ₂	Oxygen uptake
VO ₂ max	Maximal oxygen uptake

Introduction

Maximal oxygen uptake (VO₂max) is a global indicator of fitness performance (Bassett and Howley 2000). It reflects cardiorespiratory effectiveness in supplying oxygen to working muscle as well as the ability of the muscular system to utilise oxygen during exercise. VO₂max is contingent on numerous supply- and demand-side determinants including minute pulmonary ventilation, pulmonary diffusion capacity, cardiac output, haemoglobin level, capillary density, mitochondrial volume density and oxidative enzyme activities (Bassett and Howley 2000; Warburton

Communicated by David C. Poole.

✉ Paulina Hebisz
paulinahebisz@interia.pl

¹ Department of Physiology and Biochemistry, University School of Physical Education in Wrocław, 35 J.I. Paderewski Avenue, 51-612 Wrocław, Poland

² National Team Coach, Polish Cycling Federation, Pruszków, Poland

Table 1 Anthropometric and physiological characteristics of groups I and E

Group	Age (years)	Height (cm)	Mass (kg)	VO ₂ max (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	W (kJ)
I	24.4 ± 3.7	178.4 ± 7.2	66.8 ± 8.7	57.9 ± 6.8	284.4 ± 91.9
E	25.1 ± 5.1	175.8 ± 4.3	63.9 ± 6.1	61.3 ± 7.5	271.8 ± 73.3

Data are presented as mean ± standard deviation

VO₂max maximal oxygen uptake during the graded exercise test, W work output during the graded exercise test

and Gledhill 2006). According to Wagner (2006), the most important factor in the development of VO₂max is cardiac output and locomotor muscle blood flow. Nonetheless, all of the above factors are interrelated, if one of the mechanisms are modified the entire oxygen transport and extraction chain is subject to change (Wagner 2006, 2011; Warburton and Gledhill 2006).

The results of numerous studies make it abundantly clear that elite performance in endurance sports requires high VO₂max capabilities (Le Meur et al. 2009; Lucia et al. 2001; Martino et al. 2002; Padilla et al. 1999). The higher the oxygen consumption, the more energy can be produced and translated into power or speed (Padilla et al. 1999). However, there are physiological limitations to individual VO₂max. Lucia et al. (2010) stated that variability in VO₂max is influenced to a large degree by genetics. In contrast, Bouchard et al. (2011) attribute the influence of genetics only in individuals prior to an appropriate training intervention. Astrand and Saltin (1967) stated that VO₂max may significantly increase (by 50 %) after exposure to adequate and regular exercise.

It is believed that continuous endurance training is effective in enhancing VO₂max, as prolonged exercise is dominated by aerobic energy metabolism (Gledhill et al. 1994; Warburton et al. 2004). This form of training is known to increase both cardiac output and stroke volume, two determinants considered crucial to improving oxygen transport to exercising muscles (Arbab-Zadeh et al. 2004; Gledhill et al. 1994; Goodman et al. 2005). However, there has been an increased focus on other training modalities and their effect on VO₂max in recent years, with a large body of work concentrating on high-intensity interval training (HIIT) (Sloth et al. 2013). Currently, there is consensus that interval training and endurance training as separate modalities are effective in improving VO₂max as they induce increased enzymatic activity, mitochondrial volume density (Burgomaster et al. 2008; Holloszy and Coyle 1984; Pilegaard et al. 2003; Russell et al. 2003) and capillary density (Fluck and Hoppeler 2003; Roxburgh et al. 2014).

Though many studies have documented the impact of interval training on VO₂max, almost all involve examining the effects of a single type of interval training on a sample of sedentary or recreational athletes (Sloth et al. 2013). There is a paucity of data on the influence of a training

program linking different interval training variations on VO₂max in athletes with several years professional experience. For this reason, the aim of this work was to compare the effects of two training modalities on VO₂max in well-trained mountain bike (MTB) cyclists. The first intervention would involve conventional endurance training at steady-state (moderate) intensity and variable intensity (high-moderate-low) free of maximal efforts. The second, besides an endurance training component, would involve two interval training protocols: (a) sprint interval training involving several sets of four 30 s maximal cycling efforts interspersed with 90 s rest periods and (b) high-intensity interval training consisting of several 4 min cycling efforts at 90–100 % maximal aerobic power followed by 12 min of moderate-intensity cycling. We hypothesised that both intervention programs would lead to improvements in VO₂max, but that the group of cyclists performing interval training would show a greater magnitude of change primarily by improvements in pulmonary ventilation and stroke volume as a result of the two additional training stimuli.

Methods

Participants

For the purposes of the study, we recruited 26 MTB cyclists of whom the majority were members of the National Team. All participants had at least 5 years of athletic experience and competed in the same cross-country categories (Elite and U23). The study design was approved by the Ethics Committee of the University School of Physical Education in Wroclaw, Poland and carried out in accordance with the Declaration of Helsinki. All of the cyclists provided written consent to participate in the study after being informed about the methods and procedures.

The participants were randomly divided into two groups. Group I completed an interval/endurance training protocol ($n = 13$; nine men and four women) whereas group E realised an endurance training protocol ($n = 13$; ten men and three women). No significant intergroup differences were observed for body height, mass or physical fitness level (determined using a graded exercise test, explained later). These characteristics are presented in Table 1. The groups

also did not differ in terms of training status and load, were previous training history primarily involved endurance-based cycling at steady-state (moderate) intensity and variable intensity (high-moderate-low). None of the cyclists had experience with maximal effort exercise characteristic of interval training, only high intensity efforts such as several-minute uphill climbs. All participants followed a similar training plan, in which they trained for 10 months each year from December to the following September. During a typical week training duration was 11–13 h in which a distance of 270–400 km was cycled. During the racing season (from April to September) all of the cyclists participated in 20–25 races. The present intervention encompassed the two last months of the preparatory season which lasts from December to March.

Experimental design

For group I, the training program lasted 8 weeks and involved three cycling protocols. Only one training protocol was performed per daily training session. The program began with protocol (a) on the first day, (b) on the second and (c) on the third day. The fourth day was a day of rest and on the fifth the participants began training with (a) again. They were:

- a. Sprint interval training, which was composed of several sets of maximal intensity cycling. Each set consisted of four maximal bouts of 30 s interspersed with 90 s rest periods (similar in design to the Wingate test) and was separated by 20–40 min active recovery at moderate intensity (60–70 % maximal heart rate). The number of sets performed by each participant was determined individually. Sets were repeated until work done decreased by 5 % compared with the highest value recorded during the training session. This criterion resulted in participants completing between two and five sets. Similarly, the duration of active recovery between sets was also tailored to each participant by calculating the time needed to return to acid–base homeostasis via blood hydrogen ion (H^+) concentration (measured after a warm-up and was approximately 44 nmol l^{-1}). This was performed using a RAPIDLab 348 blood gas system (Siemens Healthcare, Germany) and found to require 20–40 min of active recovery.
- b. High-intensity interval training, consisting of 4 min of high-intensity cycling (90–100 % maximal aerobic power) followed by 12 min of medium-intensity cycling (60–70 % maximal heart rate). The number of times the 4-min of high-intensity cycling was repeated was also determined individually; the session was ended when work output decreased by 5 % compared with the highest recorded value. This criterion resulted

in participants completing between four and seven such repetitions.

- c. Endurance training, which was performed at 80–90 % power at the ventilatory threshold for 2–3 h.

For group E, the training program lasted 8 weeks and involved three cycling protocols. Similar to group I, each protocol was performed once a day, beginning with (a) on the first day, (b) on the second day and (b) again on the third day. The fourth day was a day of rest to return to training (a) on the fifth day. These two training modalities were:

- a. Variable-intensity endurance training that alternated between 10–15 min of high-intensity cycling (100–110 % power at the ventilatory threshold) and 10–15 min of low- and moderate-intensity effort (50–70 % maximal heart rate) for a total of 2–3 h.
- b. Endurance training performed at 80–90 % power at the ventilatory threshold for 2–3 h.

The training load parameters of maximal heart rate (HR_{max}), power at the ventilatory threshold and maximal aerobic power were determined a priori using a graded exercise test outlined in further detail below. Exercise intensity was continually measured throughout each training session using a RS800CX heart rate monitor (Polar Electro, Finland) and cycling power meter system (PowerTap, United States).

Exercise test

A graded exercise test was administered before and after the 8-week training program in controlled laboratory conditions at the Exercise Laboratory at the University School of Physical Education (PN-EN ISO 9001:2001 certified). The test was performed on a Cyclus two cycle ergometer (RBM Elektronik, Germany). Starting workload was 50 W and increased every 3 min by 50 W until volitional exhaustion. The ergometer was connected to a computer that recorded instantaneous power and time. If a participant was unable to complete an entire 3 min stage 0.28 W per second missed was subtracted from the work rate at that stage. The highest power output determined in the graded exercise test was taken to be the measure of maximal aerobic power. Work done was calculated for each stage in the graded exercise test by multiplying power (e.g., 50 W) by time (180 s). The results were summed across all the completed stages and converted into kilojoules (kJ).

Respiratory function was measured 3 min prior and continued 5 min after the test. The cyclist wore a mask connected to a Quark gas analyser (Cosmed, Italy). The gas analyser was calibrated before use with a reference gas mixture of carbon dioxide (CO_2)—5 %, oxygen (O_2)—16 %, and nitrogen

Table 2 Total work output and cardiorespiratory variables pre- and post-training of groups I and E

	Group I		Group E	
	Pre	Post	Pre	Post
W_{tot} (kJ)	284.4 ± 91.9	314.2 ± 95.1*	271.8 ± 73.3	283.4 ± 72.3*
VO_{2max} (l min ⁻¹)	3.9 ± 0.8	4.5 ± 0.7*	3.9 ± 0.6	4.0 ± 0.5
VO_{2max} (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	57.9 ± 6.8	66.6 ± 5.3*	61.3 ± 7.5	62.4 ± 6.9
VE_{max} (l min ⁻¹)	160.2 ± 38.4	174.1 ± 36.7*	141.1 ± 24.9	141.6 ± 24.8**
HR_{max} (beats min ⁻¹)	189.9 ± 8.0	190.2 ± 8.1	190.5 ± 6.2	191.0 ± 7.1
SV_1 (ml)	115.1 ± 11.6	133.1 ± 18.8*	121.6 ± 8.9	116.7 ± 14.0**
SV_2 (ml)	129.9 ± 26.3	148.9 ± 23.5*	129.6 ± 21.8	131.9 ± 24.0

Data are presented as mean ± standard deviation

W_{tot} total work output during the graded exercise test, VO_{2max} maximal oxygen uptake during the graded exercise test; VE_{max} maximal pulmonary ventilation, HR_{max} maximal heart rate, SV_1 stroke volume, estimated on the basis of blood pressure measured after graded exercise test, SV_2 stroke volume, estimated on the basis of oxygen uptake and heart rate measured during graded exercise test

* $P < 0.05$ significant difference between before vs. after training program

** $P < 0.05$ significant difference between I vs. E

(N_2)—79 %. Tidal air was analyzed on a breath-by-breath basis to determine oxygen uptake (VO_2), maximal oxygen uptake (VO_{2max}), carbon dioxide excretion (VCO_2) and minute pulmonary ventilation (VE). Absolute and relative (per kg of body mass) VO_{2max} was calculated based on the composition of expired air and minute ventilation. The measures were averaged over 30-s intervals. The ventilatory threshold was determined by V-slope analysis of VO_2 and VCO_2 as outlined by Beaver et al. (1986). This method assumes an increase VCO_2 in relation to VO_2 during graded intensity efforts. The RS800CX monitor was also used to record HR_{max} .

Stroke volume (SV) was estimated using two independent methods. The first method estimated SV from VO_2 and the second from post-exercise blood pressure. As the first method was dependent on VO_2 , we used the second method to verify the first but interpreted the result with caution as post-exercise blood pressure can be volatile. The first involved a model based on the Fick principle in which we used VO_2 and HR measured in the last phase of graded exercise test when VO_{2max} was attained (Stringer et al. 1997). The equation reads:

$$SV = \left(\frac{VO_{2max}}{\frac{16.22}{HR}} \right) \times 100$$

where SV —stroke volume (ml), VO_{2max} —maximal oxygen uptake in the graded exercise test (ml min⁻¹), HR —heart rate at VO_{2max} in the graded exercise test (beats min⁻¹).

The second method employed post-exercise diastolic pressure, pulse pressure (the difference between systolic and diastolic blood pressure) and participant age (Jackson 1955). Here, blood pressure was recorded using an aneroid sphygmomanometer (Riester, Germany) in the first minute

of recovery after the graded exercise test was completed when the participant was still sitting on the ergometer. Blood pressure was taken by the same individual by placing the sleeve of the sphygmomanometer on the left arm. SV was estimated based on the equation:

$$SV = 101 + (0.50 \times \text{pulse pressure}) - (0.59 \times \text{diastolic pressure}) - (0.61 \times \text{age})$$

where SV —stroke volume (ml), pulse pressure—the difference between post-exercise systolic and diastolic blood pressure (mm Hg), diastolic pressure—post-exercise (mm Hg), age—(years).

Data analysis

The Statistica 10.0 software package (StatSoft, USA) was used for data processing. Arithmetic means and standard deviations were calculated. A two-way mixed model ANOVA (two groups × two time) was used to analyse the main effects and interaction. When significant changes were obtained, additionally the post hoc Duncan test was used to identify all interactions (in time and between groups). The significance level for all statistical procedures was set at $P = 0.05$. Pearson's correlation coefficients were calculated to determine the strength of associations between VO_{2max} and the physiological variables and work output obtained in the graded exercise test. Correlations were determined for the entire sample (groups I and E combined), and for each group separately.

Results

Upon completing the 8-week training programs, a statistically significant increase in work output was observed in

both groups I ($P = 0.002$) and E ($P = 0.018$) although group I showed a greater magnitude of change (Table 2). In group I, significant increases were also noted for VO_2max ($P = 0.004$), maximal VE ($P = 0.012$) and SV, the latter estimated from VO_2 ($P = 0.022$) and blood pressure ($P = 0.003$). No difference was found for pre- and post-training HRmax in either group. Significant post-training differences between the groups were found in VEmax and SV estimated from blood pressure (Table 2).

Significant correlations were obtained for the entire group (groups I and E combined) between VO_2max and maximal VE ($r = 0.46$, $P < 0.05$); VO_2max and SV estimated from oxygen uptake and heart rate ($r = 0.76$, $P < 0.05$) and VO_2max and SV estimated from blood pressure ($r = 0.39$, $P < 0.05$).

Analysis of the inter-individual differences in group I showed that VO_2max increased in each participant by approximately $4.7\text{--}13.8 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$. The mean increase in VO_2max was $8.7 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ or 15 % (Fig. 1). No corresponding increase in VO_2max was observed in group E. Inter-individual analysis showed increased oxygen uptake in eight individuals (by approximately $1.9\text{--}6.1 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) but a decrease in five cyclists (by approximately $0.3\text{--}6.6 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$) (Fig. 2).

Discussion

Our findings indicate that a combined endurance and interval training protocol is more effective in increasing VO_2max than endurance training alone in MTB cyclists. Only group I showed such a marked improvement in VO_2max (by approximately 15 %). It is highly probable that this training adaptation is the result of the two types of interval training protocols (sprint interval training and high-intensity interval training) that were applied and that training load was individually adjusted to each participant to generate the most effective training effects. Additionally, only group I showed significant increases in maximal VE and estimated SV, both of which affect the VO_2max . The only variable to increase post-training in both groups I and E was work output, improving by 10.4 and 4.2 %, respectively.

Roxburgh et al. (2014) compared the effects of HIIT and endurance training on VO_2max in sedentary adults. While improvements in maximal oxygen uptake were observed after both training modalities, the group performing both endurance and interval training showed an increase in VO_2max by 10.1 %, whereas endurance training alone was responsible for a 3.9 % increase. Such a dynamic improvement in VO_2max among sedentary or untrained individuals has been confirmed in numerous studies (Bouchard et al. 2011; Metcalfe et al. 2012). The literature shows that such

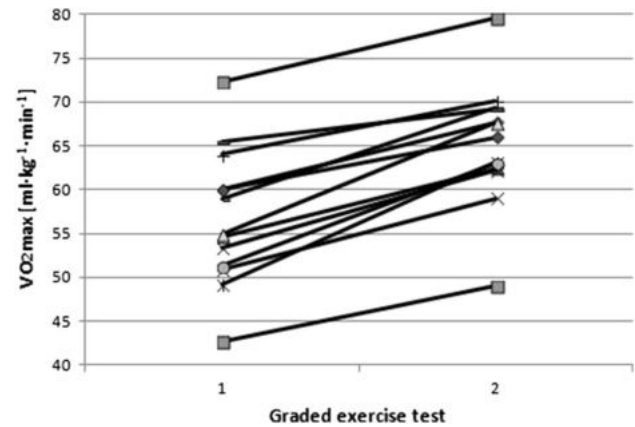


Fig. 1 Inter-individual differences in VO_2max pre- and post-interval endurance training (group I)

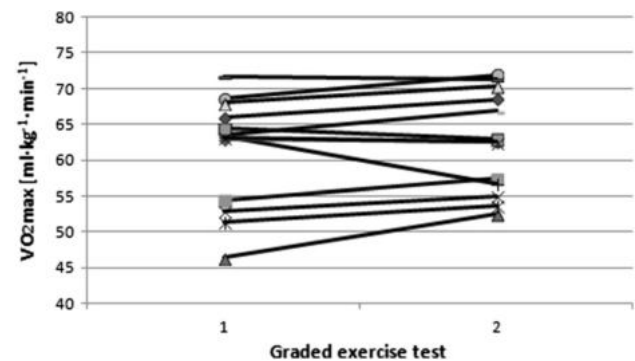


Fig. 2 Inter-individual differences in VO_2max pre- and post-endurance training (group E)

results cannot be translated for athletes with several years training experience. This is especially the case for athletes whose training routines involve only endurance-based exercise, where studies have indicated that it is difficult to increase VO_2max in this population (Laursen and Jenkins 2002; Sloth et al. 2013).

Metcalfe et al. (2012) observed increases in VO_2max about 15 % in males and 13 % in females after HIIT, although this was also observed in individuals leading a sedentary lifestyle. Other studies have shown smaller gains, where an interval training intervention for inactive or recreationally active individuals improved VO_2max by approximately 4–13 % (Roxburgh et al. 2014; Sloth et al. 2013). In an athletic population, the concomitant application of endurance and interval training was found to increase VO_2max by only 1–7 % (Creer et al. 2004; Laursen and Jenkins 2002; Smith et al. 1999). However, all of the cited studies involved either sprint interval training or high-intensity interval training, never both. Additionally, these works utilised a rigid interval training protocol for all participants using a fixed number of repetitions (4–8) involving 30 s

to 5 min of exercise interspersed with predetermined rest periods (1–5 min) (Creer et al. 2004; Laursen and Jenkins 2002; Smith et al. 1999).

Sloth et al. (2013) compared the results of various interval training strategies to conclude that sprint (all-out) interval training induced better training effects on VO_2max than when using HIIT alone. They found that generating peak power in the first few seconds of sprint exercise leads to more physiological adaptations (due to increased use of the glycolytic and phosphocreatine pathways) than maintaining a constant, high (but not maximal) level of power during a short bout of exercise. The ability to rapidly generate high power in sprint exercise is also associated with a high level of muscle fibre recruitment. Since training intensity in interval training exceeds VO_2max , increased recruitment leads to augmented adaptations among not only the anaerobic enzymes in type II fibres but also aerobic enzyme activity (Bailey et al. 2009). Hence, the application of sprint training even in highly trained athletes is believed to induce significant improvements in aerobic capacity as measured by VO_2max (Sloth et al. 2013).

One of the other previously mentioned determinants of VO_2max is cardiac output, which is a function of heart rate and stroke volume (Trilk et al. 2011; Wagner 2006; Warburton and Gledhill 2006). According to various sources, high-intensity training produces a stronger effect on stroke volume than continuous moderate-intensity training as the increase in blood returning to the heart stretches the ventricles to a greater extent, thereby forcing stronger contractions (Morris-Thurgood and Frenneaux 2000; Stray-Gundersen et al. 1986; Trilk et al. 2011).

Another determinant of VO_2max is VE (Warburton and Gledhill 2006). Studies have found that sprint interval training improves maximal pulmonary ventilation (McKenna et al. 1997) to a greater extent than traditional endurance training in trained athletes (Laursen and Jenkins 2002; Sloth et al. 2013). This has been explained by increases in blood H^+ concentration, partial pressure of oxygen (pO_2) and partial pressure of carbon dioxide (pCO_2), all of which stimulate blood chemoreceptors (Kumar and Bin-Jaliach 2007). As a result, by increasing the accumulation of post-exercise metabolites, this training modality may have provoked an enhanced respiratory response.

Other authors have highlighted the role of skeletal muscle oxidative enzyme activities on VO_2max , such as succinate dehydrogenase and citrate synthase, or the development of blood capillaries and mitochondrial volume density (Henriksson and Reitman 1977). Some investigations reported an increase in enzyme activity after just 2 weeks of interval training, where a similar result was obtained only after 10–12 weeks of endurance training

(Blomstrand et al. 2011; Burgomaster et al. 2005, 2008; Gollnick et al. 1973; Green et al. 1991; Henriksson and Reitman 1977; Perry et al. 2010). It is, therefore, highly likely that the metabolic adaptations brought on by interval training stimulate rapid improvement in VO_2max .

There is also evidence that increased VO_2max via interval training more efficiently translates into augmented work output than endurance training, such as by 10.1 and 7.5 % in recreationally active and 11.1 and 3 % in sedentary individuals, respectively (Gibala et al. 2006; Roxburgh et al. 2014). However, research involving highly trained athletes showed far smaller gains in work output via interval training (Laursen and Jenkins 2002; Sloth et al. 2013). Nonetheless, the superior gains in fitness performance afforded by the inclusion of interval training in an endurance-based training program attest to the effectiveness of this training modality in both trained and untrained populations. This is compounded by the fact that interval training involves lower training volume, finding it to be a time-efficient exercise strategy. Lastly, as indicated in this study, of particular importance is the modulation of interval training strategies (sprint interval training and high-intensity interval training) and the individual adjustment of training load to induce the most effective performance adaptations.

Conclusions

An exercise protocol involving endurance and sprint and high-intensity interval training induced greater positive effects on VO_2max as well as maximal exercise performance than an exercise program involving conventional endurance training in well-trained MTB cyclists with several years athletic experience.

Acknowledgments This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education under Grant Number NRSA300253 titled “Development of Academic Sport”.

Compliance with ethical standards

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interest.

Funding This study was supported by the Ministry of Science and Higher Education under Grant Number NRSA300253 titled “Development of Academic Sport”.

Ethical approval All procedures involving human participants were performed in accordance with the ethical standards of the institutional research committee and 1964 Declaration of Helsinki and its later amendments.

Informed consent Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

References

- Arbab-Zadeh A, Dijk E, Prasad A, Fu Q, Torres P, Zhang R, Thomas JD, Palmer D, Levine BD (2004) Effect of aging and physical activity on left ventricular compliance. *Circulation* 110:1799–1805
- Astrand PO, Saltin B (1967) Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol* 23(3):353–358
- Bailey SJ, Wilkerson DP, Dimenna FJ, Jones AM (2009) Influence of repeated sprint training on pulmonary VO_2 uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. *J Appl Physiol* 106:1875–1887
- Bassett DR, Howley ET (2000) Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sport Exer* 32:70–84
- Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ (1986) A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 60:2020–2027
- Blomstrand E, Krstrup P, Sondegaard H, Radegran G, Calbet JA, Saltin B (2011) Exercise training induces similar elevations in the activity of oxoglutarate dehydrogenase and peak oxygen uptake in the human quadriceps muscle. *Pflug Arch Eur J Phy* 462:257–265
- Bouchard C, Sarzynski MA, Rice TK, Kraus WE, Church TS, Sung YJ, Rao DC, Rankinen T (2011) Genomic predictors of the maximal O_2 uptake response to standardized exercise training programs. *J Appl Physiol* 110:1160–1170
- Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJ, Bradwell SN, Gibala MJ (2005) Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol* 98:1985–1990
- Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, Rakobowchuk M, Macdonald MJ, McGee SL, Gibala MJ (2008) Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol* 586:151–160
- Creer AR, Ricard MD, Conlee RK, Hoyt GL, Parcell AC (2004) Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *Int J Sports Med* 25:92–98
- Fluck M, H Hoppeler (2003) Molecular basis of skeletal muscle plasticity—from gene to form function. *Rev Physiol Bioch P* 146:159–216
- Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, Raha S, Tarnopolsky MA (2006) Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol* 575:901–911
- Gledhill N, Cox D, Jamnik R (1994) Endurance athletes' stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function. *Med Sci Sport Exer* 26:1116–1121
- Gollnick PD, Armstrong RB, Saltin B, Sauber CW, Sembrowich WL, Shepherd RE (1973) Effect of training on enzyme activity and fibre composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 34:107–111
- Goodman JM, Liu PP, Green HJ (2005) Left ventricular adaptations following short-term endurance training. *J Appl Physiol* 98:454–460
- Green HJ, Jones S, Ball-Burnet ME, Smith D, Livesey J, Farrance BW (1991) Early muscular and metabolic adaptations to prolonged exercise training in humans. *J Appl Physiol* 70:2032–2038
- Henriksson J, Reitman JS (1977) Time course of changes in human skeletal muscle succinate dehydrogenase and cytochrome oxidase activities and maximal oxygen uptake with physical activity and inactivity. *Acta Physiol Scand* 99:91–97
- Holloszy JO, Coyle EF (1984) Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol* 56:831–838
- Jackson CE (1955) Nomogram for simple calculation of cardiac output. *Circulation* 11:635–636
- Kumar P, Bin-Jaliach I (2007) Adequate stimuli of the carotid body: more than an oxygen sensor. *Resp Physiol Neurobi* 157(1):12–21
- Laursen PB, Jenkins DG (2002) The scientific basis for high-intensity interval training: optimizing training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med* 32(1):53–73
- Le Meur Y, Hausswirth C, Dorel S, Bignet F, Brisswalter J, Bernard T (2009) Influence of gender on pacing adopted by elite triathletes during a competition. *Eur J Appl Physiol* 106:535–545
- Lucia A, Hoyos J, Chicharro JL (2001) Physiology of professional road cycling. *Sports Med* 31:325–337
- Lucia A, Moran M, Zihong H, Ruiz JR (2010) Elite athletes: are the genes the champions? *Int J Sports Physiol Perfor* 5:98–102
- Martino M, Gledhill N, Jamnik V (2002) High VO_2max with no history of training is primarily due to high blood volume. *Med Sci Sport Exer* 34:966–971
- McKenna MJ, Heigenhauser GJ, McKelvie RS, Obminski G, MacDougall JD, Jones N (1997) Enhanced pulmonary and active skeletal muscle gas exchange during intense exercise after sprint training in men. *J Physiol* 501(3):703–716
- Metcalfe RS, Babraj JA, Fawcner SG, Vollaard NB (2012) Towards the minimal amount of exercise for improving metabolic health: beneficial effects of reduced-exertion high-intensity interval training. *Eur J Appl Physiol* 112(7):2767–2775
- Morris-Thurgood JA, Frenneaux MP (2000) Diastolic ventricular interaction and ventricular diastolic filling. *Heart Fail Rev* 5:307–323
- Padilla S, Mujika I, Cuesta G, Goiriena JJ (1999) Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Med Sci Sport Exer* 31:878–885
- Perry CG, Lally J, Holloway GP, Heigenhauser GJ, Bonen A, Spriet LL (2010) Repeated transient mRNA bursts precede increases in transcriptional and mitochondrial proteins during training in human skeletal muscle. *J Physiol* 588:4795–4810
- Pilegaard H, Saltin B, Neufer PD (2003) Exercise induces transient transcriptional activation of the PGC-1 α gene in human skeletal muscle. *J Physiol* 546:851–858
- Roxburgh BH, Nolan PB, Weatherwax RM, Dalleck LC (2014) Is moderate intensity exercise training combined with high intensity interval training more effective at improving cardiorespiratory fitness than moderate intensity exercise training alone? *J Sport Sci Med* 13:702–707
- Russell AP, Feilchenfeldt J, Schreiber S, Praz M, Crettenand A, Gobelet C, Meier CA, Bell DR, Kralli A, Giacobino JP, Deriaz O (2003) Endurance training in human leads to fibre type-specific increases in levels of peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator-1 and peroxisome proliferator-activated receptor alpha in skeletal muscle. *Diabetes* 52:2874–2881
- Sloth M, Sloth D, Overgaard K, Dalgas U (2013) Effects of sprint interval training on VO_2max and aerobic exercise performance: a systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Spor* 23:341–352
- Smith TP, McNaughton LR, Marshall KJ (1999) Effects of 4-wk training using $V_{\text{max}}/T_{\text{max}}$ on VO_2max and performance in athletes. *Med Sci Sport Exer* 31:892–896
- Stray-Gundersen J, Musch TI, Haidet GC, Swain DP, Ordway GA, Mitchell JH (1986) The effect of pericardiectomy on maximal oxygen consumption and maximal cardiac output in untrained dogs. *Circ Res* 58:523–530

- Stringer WW, Hansen JE, Wasserman K (1997) Cardiac output estimated noninvasively from oxygen uptake during exercise. *J Appl Physiol* 82(3):908–912
- Trilk JL, Singhal A, Bigelman KA, Cureton KJ (2011) Effect of sprint interval training on circulatory function during exercise in sedentary, overweight/obese women. *Eur J Appl Physiol* 111:1591–1597
- Wagner PD (2006) Counterpoint: in health and in normoxic environment VO_2max is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow. *J Appl Physiol* 100(2):745–748
- Wagner PD (2011) Modeling O_2 transport as an integrated system limiting VO_2max . *Comput Methods Programs Biomed* 101(2):109–114
- Warburton DE, Gledhill N (2006) Comment on point-counterpoint: in health and in a normoxic environment, VO_2max is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow. *J Appl Physiol* 100:744–748
- Warburton DE, Haykowsky MJ, Quinney HA, Blackmore D, Teo KK, Taylor DA, McGavock J, Humen DP (2004) Blood volume expansion and cardiorespiratory function: effects of training modality. *Med Sci Sport Exer* 36:991–1000

Changes in exercise capacity and serum BDNF following long-term sprint interval training in well-trained cyclists

Paulina Hebisz, Rafał Hebisz, Eugenia Murawska-Ciałowicz, and Marek Zatoń

Abstract: The study determined the effects of sprint interval training on the acute and chronic changes of serum brain-derived neurotrophic factor (BDNF) and aerobic capacity. Twenty-six cyclists were divided into experimental (E) and control groups. Both groups executed a 6-month exercise intervention involving high-intensity interval training (HIIT) and continuous endurance training (CET) with group E replacing HIIT and CET sessions with sprint interval training (SIT) that was executed twice a week. Two exercise tests were administered prior to the intervention and at 2 and 6 months after study outset. Incremental exercise test assessed aerobic capacity by measuring maximal oxygen uptake and work output; the sprint interval exercise test (SIXT) comprises 3 sets of four 30-s all-out repetitions interspersed with 90 s of rest with sets separated by 25–40 min of active recovery. Oxygen uptake, work output, BDNF, and vascular endothelial growth factor A (VEGF-A) concentrations (baseline, 10 min after first set, and 10 and 60 min after third SIXT set) were taken during the SIT test. Significant decreases in BDNF relative to baseline values were observed 10 min after the first set and 60 min after the third set in group E at the 2- and 6-month assessments. Increases in baseline VEGF-A after 2 and 6 months of training and increases in maximal oxygen uptake after 2 months of training were also observed only in group E. The inclusion of SIT with HIIT and CET shows positive long-term effects, including increased maximal oxygen uptake and baseline VEGF-A and a reduction in BDNF below baseline levels during and after SIXT.

Key words: sprint interval training, brain-derived neurotrophic factor, vascular endothelial growth factor, maximal oxygen uptake, cyclists, aerobic capacity.

Résumé : Cette étude détermine les effets de l'entraînement par intervalle au sprint sur les modifications ponctuelles et chroniques du facteur neurotrophique dérivé du cerveau (« BDNF ») et sur la capacité aérobie. On répartit 26 cyclistes dans deux groupes, l'un expérimental (« E ») et l'autre, de contrôle. Les deux groupes se soumettent durant 6 mois à un programme comprenant un entraînement par intervalle d'intensité élevée (« HIIT ») et un entraînement d'endurance en continu (« CET »); le groupe E remplace les séances HIIT et CET par des séances de sprint par intervalle (« SIT ») à raison de 2 fois par semaine. On fait passer deux tests kinésiques avant puis 2 et 6 mois après le début de l'étude. Le test à l'effort progressif évalue la capacité aérobie par la mesure de la consommation maximale d'oxygène et de la production de travail; le test de sprint par intervalle (« SIXT ») comprend 3 séances de 4 sprints de 30 s à fond de train intercalés de 90 s de repos, chaque séance étant séparée de l'autre par 25-40 min de récupération active. On enregistre au cours des SIT la consommation d'oxygène, la production de travail, les concentrations du BDNF et du facteur de croissance A de l'endothélium vasculaire (« VEGF-A »), et ce, au début, 10 min après la première séance puis 10 et 60 min après la 3^e séance SIXT. On observe dans le groupe E comparativement à la valeur initiale une diminution significative du BDNF 10 min après la première séance et 60 min après la 3^e séance au 2^e et 6^e mois. On observe une augmentation significative de la valeur de base du VEGF-A après 2 et 6 mois d'entraînement et une augmentation de la consommation maximale d'oxygène après 2 mois d'entraînement seulement dans le groupe E. L'inclusion de SIT dans les séances HIIT et CET suscite à long terme des effets positifs, soit l'augmentation de la consommation maximale d'oxygène et du VEGF-A de base et une diminution du BDNF sous la valeur initiale, et ce, durant et après SIXT. [Traduit par la Rédaction]

Mots-clés : entraînement par intervalle de sprint, facteur neurotrophique dérivé du cerveau, facteur de croissance de l'endothélium vasculaire, consommation maximale d'oxygène, cyclistes, capacité aérobie.

Introduction

Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) is a member of the neurotrophin family and the most prevalent growth factor in the central nervous system (Schmolesky et al. 2013), and is important in the creation, development, and maintenance of neurons as well as the production and differentiation of synapses (Bos et al. 2014). BDNF is vital for stable memory function and low BDNF levels are associated with the onset of Alzheimer's disease and other nervous system disorders (Thoenen et al. 1991). Animal research has found exercise to be beneficial in BDNF synthesis by inducing a

5-fold increase in BDNF messenger RNA expression in the hippocampus and cerebral cortex following exercise (Cotman and Berchtold 2002; Neeper et al. 1996; Rasmussen et al. 2009), with levels peaking in the second hour of postexercise recovery (Rasmussen et al. 2009).

There is a lack of agreement on the role of BDNF in other body systems. BDNF is thought to stimulate satellite cells and play an important role in muscle regeneration (Clow and Jasmin 2010). BDNF has been linked to energy metabolism as a contraction-inducible protein in skeletal muscle that is capable of enhancing fat oxidation during postexercise recovery via AMP-activated

Received 20 June 2018. Accepted 26 September 2018.

P. Hebisz, R. Hebisz, E. Murawska-Ciałowicz, and M. Zatoń. Department of Physiology and Biochemistry, University School of Physical Education in Wrocław, 35 J.I. Paderewski Avenue, 51-612 Wrocław, Poland.

Corresponding author: Paulina Hebisz (email: paulinahebisz@interia.pl).

Copyright remains with the author(s) or their institution(s). Permission for reuse (free in most cases) can be obtained from [RightsLink](https://www.rightslink.com).

protein kinase (Matthews et al. 2009). Moreover, BDNF is also recognized as a regulator of intercellular communication in the immune system (Bos et al. 2014). Usui et al. (2014) highlighted the functional role of BDNF in angiogenic tube formation by influencing the expression of vascular endothelial growth factor A (VEGF-A), a potent angiogenic factor, suggesting that VEGF-A and BDNF act concomitantly to induce angiogenesis (Long et al. 2013). VEGF-A is also strongly involved in neurodevelopmental and neurodegenerative processes (Carmeliet and Ruiz de Almodovar 2013; Wu et al. 2008).

Human studies on BDNF have mostly concentrated on evaluating serum levels in response to acute exercise. It was shown that the release of BDNF from platelets is influenced by factors connected with muscle function such as Ca^{2+} secretion and shear stress (Fujimura et al. 2002). According to Schmidt-Kassow et al. (2012) and Vega et al. (2006), serum BDNF significantly increases following exercise and returns to baseline within 10 min after cessation. Several studies have reported a correlation between cardiorespiratory fitness (maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) and the magnitude of change in serum BDNF (Huang et al. 2014), although many studies have shown that the magnitude of change in serum BDNF is dependent on the intensity and duration of exercise (Ferris et al. 2007; Schmolesky et al. 2013; Vega et al. 2006). When considering the most appropriate exercise time-point, Schmidt-Kassow et al. (2012) posited that peak serum BDNF is achieved approximately 20 min into intensive exercise.

In the available literature, little is known on the acute changes in serum BDNF after several repeated sets of maximal efforts common in sprint interval training (SIT), a training modality characterized by exercise performed at a very high intensity for approximately 30 s (protocol similar to the Wingate anaerobic test). This lack of knowledge includes the duration of the postexercise change of serum BDNF concentration, which is important as SIT can induce significant changes in blood pH and lactate ion concentration, both of which are associated with the postexercise secretion of certain hormones including cortisol (Vega et al. 2006). Schiffer et al. (2011) and Vega et al. (2006) have suggested that changes in the acid-base balance after intensive exercise may affect BDNF secretion. Schiffer et al. (2011) showed that an intravenous injection of sodium lactate resulted in an immediate increase serum BDNF concentration. Hence, if acute and significant changes in acid-base homeostasis affect the secretion of BDNF, it is possible that SIT may induce changes in BDNF relative to baseline levels.

There is also a lack of agreement in the literature on the effects of long-term regular training on serum BDNF concentrations compared with pretraining levels (Huang et al. 2014). Low-intensity exercise performed over 3 months has been reported to increase baseline serum BDNF when administered during physiotherapy in patients with Parkinson's disease (Angelucci et al. 2016). Other studies have reported an increase in serum BDNF after 3 months of systematic cross-fit training in a sample of physically active individuals (Murawska-Ciałowicz et al. 2015) and after 8 weeks of resistance training in men with previous resistance training experience (Church et al. 2016). On the other hand, a number of studies have shown that baseline serum BDNF does not change after aerobic training (Ruscheweyh et al. 2011; Schiffer et al. 2009; Schulz et al. 2004) or resistance training (Goekint et al. 2010; Schiffer et al. 2009). This discrepancy may be due to evidence suggesting that long-term adaptations in BDNF level may be dependent on the exercise intensity used during an intervention (Bos et al. 2014). In addition to the inconclusive findings on serum BDNF response to standard exercise protocols, there is insufficient data on how baseline BDNF changes as a result of systematic SIT, which is considered to be an effective training method for improving aerobic capacity (Hebisz et al. 2016).

The aim of this study was to investigate the acute changes in serum BDNF during and after an SIT session and document the

Table 1. Experimental (E) and control (C) group characteristics.

Group	$\dot{V}O_{2max}$ ($ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$)	P_{max} (W)	Age (y)	Mass (kg)	Height (cm)
E	58.9±5.0	343.0±61.2	18.5±4.6	66.8±9.6	175.9±6.8
C	54.1±8.2	314.2±56.4	20.0±5.6	66.0±11.8	173.6±10.2

Note: Data are presented as means ± SD. P_{max} , maximal aerobic power during incremental exercise testing; $\dot{V}O_{2max}$, maximal oxygen uptake during incremental exercise testing.

long-term effects after 6 months of training with SIT in mountain bike (MTB) cyclists. In addition, $\dot{V}O_{2max}$, VEGF-A, and maximal aerobic power (P_{max}) were analyzed to assess the relationship between aerobic capacity and BDNF level. It was hypothesized that acute SIT exercise would increase BDNF above baseline levels. It was also hypothesized that 6 months of systematic training would result in an increase in baseline BDNF and improvement in aerobic capacity.

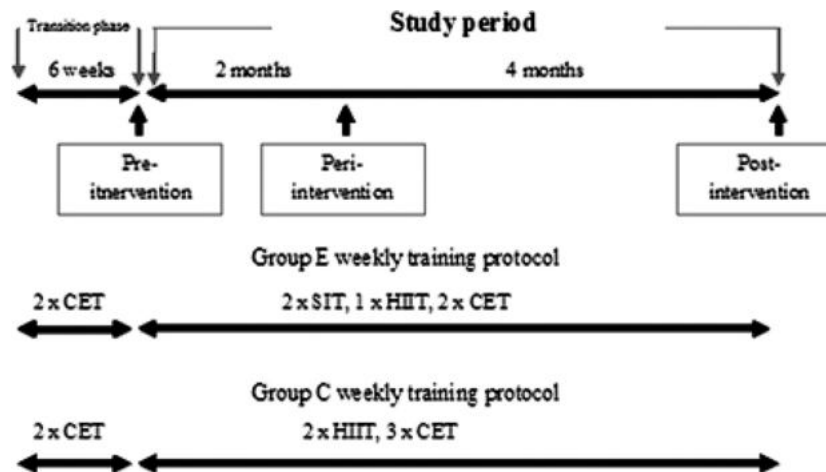
Materials and methods

Participants

This study involved 26 MTB cyclists with at least 2 years of competitive experience. Participant training background was analyzed and training characteristics (heart rate and power output) over a 12-month period prior to study outset were collected from previously saved training records using the Garmin Connect system (Garmin Ltd., USA). On average, participants trained 10–13 h a week and competed in 20–25 races per year. Approximately 80% of training volume was based on a continuous endurance training (CET) protocol performed at an intensity below 80% maximum heart rate (HR_{max}) and 20% involved high-intensity interval training (HIIT) performed above 80% HR_{max} . Participants were randomized to a control group (C: $n = 12$; 4 females and 8 males) and an experimental group (E: $n = 14$; 5 females and 9 males). No significant intergroup differences were observed for body height, mass, and aerobic capacity (Table 1). The study design was approved by the Ethics Committee of the University School of Physical Education (Wroclaw, Poland) and conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. Participants were advised of the procedures and provided their written informed consent prior to inclusion in the study.

Experimental design

The study duration was 6 months and encompassed the preparatory season and the beginning of the race season. Preceding the preparatory season was a 6-week transition season in which training volume had been reduced by 50% compared with the preparatory and race season (4–6 h per week). This phase involved 2 CET sessions per week at an intensity not exceeding 70% HR_{max} . Training involved various modalities such as cycling, gym exercises, running, swimming, or cross-country skiing. Upon concluding the 6-week transition, group C resumed their normal training regimen of CET and HIIT in which CET was executed 3 times a week and HIIT twice a week. Each CET session was performed at an intensity of 55%–60% P_{max} for 120–180 min whereas HIIT involved five to seven 5-min bouts at 85%–95% P_{max} interspersed with 12 min of moderate-intensity efforts. In group E, the training protocol was modified to include an SIT component in which CET was performed twice a week, HIIT once a week, and SIT twice a week. The procedures in CET and HIIT were identical to those in group C whereas SIT involved 3 to 4 sets of maximal cycling. Each set comprised four 30-s all-out repetitions interspersed with 90 s of recovery performed at a power output below 50 W. Upon concluding a set, the participants cycled at moderate intensity (45%–50% P_{max}) for 25 min as a form of active recovery. The remaining 2 days of the week were designated as days of rest. The design of the study is illustrated in Fig. 1.

Fig. 1. Flowchart of the study design. CET, continuous endurance training; HIIT, high-intensity interval exercise; SIT, sprint interval training.

Total training volume in both groups was 10–13 h per week. Every fourth week the training volume was decreased by approximately 50% to 5–6.5 h to promote recovery without modification to the training protocol or intensity. Exercise intensity was measured throughout using an Edge 520 or Edge 810 heart rate monitor (Garmin Ltd, Kansas, US). Power output was measured using a PowerTap G3 ANT+ meter and GS ANT+ telemetric system (PowerTap, Wis., USA).

Exercise tests

Outcome measures were measured during an incremental exercise test (IXT) and a sprint interval exercise test (SIXT) prior to study outset (pre-intervention), after a 2-month period (peri-intervention), and at the end of the 6-month intervention (post-intervention). The tests were separated by a 24-h interval during which the participants refrained from any exercise or physical exertion. The tests were administered under laboratory conditions in a temperature- and humidity-controlled exercise laboratory (PN-EN ISO 9001:2001). Each test began at 09:00 h and participants were at least 150 min postprandial. Although biochemical measures were to be recorded in both tests, fasting was avoided due to the duration and intensity of the exercise tests. Participant breakfast was high in carbohydrates and identical to the meal consumed prior to competition.

The IXT was conducted on a Cyclus 2 cycle ergometer (RBM elektronik-automation GmbH, Leipzig, Germany) that was calibrated before each trial. Starting workload was set at 50 W and increased by another 50 W every 3 min until volitional exhaustion was reached. If a participant was unable to complete an entire 3-min stage, 0.28 W was subtracted for each missing second from the work rate at the attained stage. The resultant power output was used to define the P_{\max} for each participant. Respiratory function was measured by wearing a mask connected to a Quark gas analyzer (Cosmed, Milan, Italy). The device was calibrated before use with a reference gas mixture of carbon dioxide (5%), oxygen (16%), and nitrogen (79%). Tidal air was analyzed on a breath-by-breath basis to determine oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), carbon dioxide excretion, and minute pulmonary ventilation. Absolute and relative (per kg of body mass) $\dot{V}O_{2\max}$ was calculated based on the composition of expired air and minute ventilation. The measures were averaged over 30-s intervals.

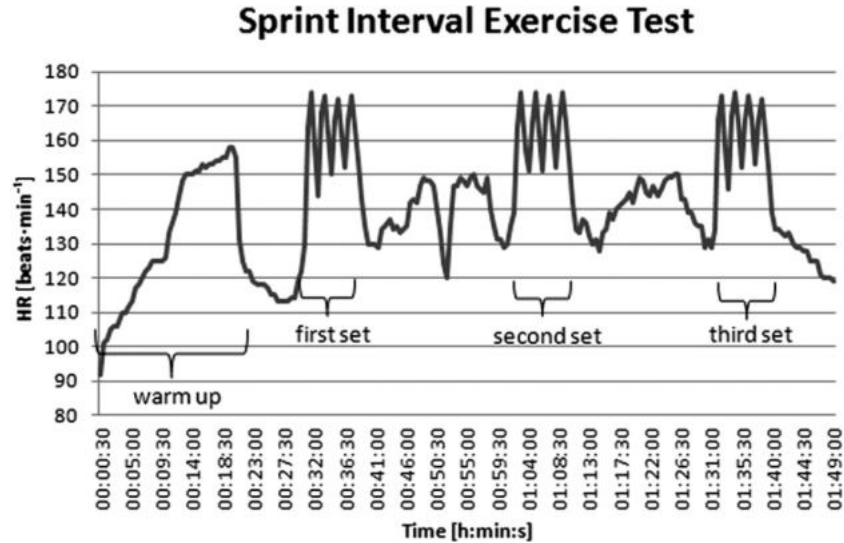
The SIXT was performed on the same Cyclus 2 cycle ergometer. The test was preceded by a 20-min warm-up where the first 5 min involved cycling at an intensity corresponding to 40% P_{\max} (as determined in the IXT) and the remaining 15 min at 60% P_{\max} . Following the warm-up, an active 10-min cool-down was performed by cycling at a low intensity. The test proper involved 3 sets of maximal cycling sprints similar in design to an SIT ses-

sion with the participant motivated to pedal as hard and as fast as possible during the sprints. Each set consisted of four 30-s repetitions interspersed with 90 s of active recovery in which workload was decreased to 30 W. The sets were separated by moderate-intensity cycling at approximately 40% P_{\max} . The active recovery component between sets was continued until blood pH returned to at least 7.35, resulting in individual recovery times that ranged from 25 to 40 min. Blood pH during this recovery phase was continually measured using a RAPIDLab 348 blood gas system (Siemens Healthcare, Germany). Power output was recorded throughout and the work done was calculated as the product of power output and time. Respiratory function was evaluated using the same procedures and equipment as in the IXT. Data were collected from the beginning of each set until 2 min after set termination. For data analysis, work done and $\dot{V}O_2$ were summed across the 3 sets. A visual approximation of the SIXT protocol is presented in Fig. 2 alongside the heart rate values recorded during 1 trial.

Biochemical measures

Blood samples were collected during the SIXT and always drawn from the basilic vein. A baseline sample was collected 20 min prior to test start and then 10 min after the completion of the first set followed by additional samples 10 and 60 min after the third set was finished. The 10-min mark was chosen as drawing blood prior to this time may pose a risk of fainting after maximal efforts that involve substantial anaerobic glycolysis (Krediet et al. 2004; Lacewell et al. 2014). It has been recommended that low-intensity exercise be continued after exhaustive exercise to maintain myocardial pump action and prevent a sudden drop in blood pressure and fainting (Halliwill et al. 2014). For the sample drawn in the first set, the active recovery phase was briefly interrupted. Blood samples were collected in Sarstedt tubes with serous granules (Stamar, Poland) and then allowed to clot at room temperature for 30 min. The samples were then centrifuged for 10 min at 3000 rpm (Eppendorf Centrifuge 5810, Hamburg, Germany). Serum was extracted and then stored Eppendorf tubes at -80°C . Only serum samples were collected to determine BDNF and VEGF-A as Slusher et al. (2018) showed that BDNF in serum and plasma provides different results after HIIT in which BDNF increased in serum but did not change in plasma. Furthermore, anticoagulants found in plasma can activate platelets releasing BDNF with high variability (Pareja-Galeano et al. 2015). Biochemical analysis was performed after all pre-, peri-, and post-intervention samples had been collected. After thawing, BDNF levels were assayed using an enzyme-linked immunosorbent assay kit for BDNF (Cloud-Clone Corp., Texas, USA). VEGF-A was analyzed in the same time points using a VEGF-A immunoenzymatic test (Diaclone SAS, Besancon, France).

Fig. 2. Illustration of sprint interval exercise test protocol concomitant with participant heart rate (HR).



BDNF and VEGF-A concentrations measured 10 min after the first set and at 10 and 60 min after the last set were corrected for plasma volume changes. For this purpose, hematocrit value (HCT) and hemoglobin (HGB) concentrations were measured prior to centrifugation using an ABX Micros OT 16 Analyser (Horiba, Poland). The measures were used to show the percent change in blood plasma volume (% Δ PV) following the formula given by [Dill and Costill \(1974\)](#):

$$\% \Delta PV = 100 \times \left(\frac{HGB_{pre}}{HGB_{post}} \right) \times \left(\frac{1 - HCT_{post}}{1 - HCT_{pre}} \right) - 100$$

where HGB_{pre} and HGB_{post} are XXX and XXX, respectively, and HCT_{pre} and HCT_{post} are XXX and XXX, respectively.

In addition to the above sampling, arterialized capillary blood was also drawn immediately before and 3 min after each set to determine hydrogen (H^+) and lactate ion (La^-) concentrations using the RAPIDLab 348 (Siemens Healthcare, Germany) and Lactate Scout (SensLab, Leipzig, Germany) analyzers. These measurements were taken to analyze the correlation between lactic acidosis and BDNF concentrations.

Statistical analysis

The data set was analyzed with the Statistica 13 software package. Arithmetic means and standard deviations were calculated for all measures. BDNF levels across the 2 groups (E and C), 3 exercise tests for each group (pre-intervention, peri-intervention, and post-intervention), 4 blood samples for each test (baseline, 10 min after first set, 10 min after third set, and 60 min after third set) were compared using multi-factorial ANOVA with post hoc comparisons using the Duncan's test. For BDNF, standard error of the measurement (SEMeas) and smallest detectable change (SDC) were calculated as per [Schambra et al. \(2015\)](#). For this analysis, 2 sets of BDNF data were created that contained all the results obtained from the test and retest using the same serum samples and by the same analyst. The calculations were made using the following equations:

$$SEMeas = \sqrt{\sigma^2_{\text{measurement}} + \sigma^2_{\text{residual}}}$$

$$SDC = SEMeas \times \sqrt{2} \times 1.96$$

where $\sigma^2_{\text{measurement}}$ is the variance of differences between the test and the retest, and $\sigma^2_{\text{residual}}$ is the residual variance.

VEGF-A concentrations were analyzed with the Friedman test and then with the Wilcoxon signed-rank test due to the large variability of this variable. The remaining variables were analyzed (2 groups and 3 exercise tests) using 2-way ANOVA with the Duncan's test post hoc. Statistical significance was assumed at the level of $p < 0.05$. Pearson's correlation coefficients were calculated to determine the strength of associations between BDNF levels and aerobic capacity determined by the $\dot{V}O_{2\text{max}}$, P_{max} , and lactic acidosis determined by H^+ and La^- concentrations. Spearman's correlation coefficients were determined to analyze the relationship between BDNF and VEGF-A levels due to the lack of a normal distribution.

Results

Only in group E did BDNF significantly decrease 10 min after the first set and 60 min after the third set when compared with baseline (pre-SIXT) levels at the peri-intervention ($p = 0.013$ and $p = 0.039$, respectively) and post-intervention ($p = 0.01$ and $p = 0.039$, respectively) time points ([Table 2](#)). Baseline BDNF levels did not change in either group at any time point; however, a significant upward trend in group C was observed when comparing post-intervention with pre-intervention levels ($p = 0.1$) ([Table 2](#)). For BDNF, SEMeas and smallest detectable change were $3.18 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$ and $8.81 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$, respectively. Additionally, VEGF-A significantly increased in group E at 10 min after the first set and 10 min after the third set when compared with baseline (pre-SIXT) levels at pre-intervention ($p = 0.049$ and $p = 0.037$, respectively) and significantly decreased 10 min after the first set when compared with baseline levels at the peri-intervention and post-intervention time-points ($p = 0.01$ and $p = 0.029$, respectively) ([Table 2](#)). Moreover, in group E baseline VEGF-A significantly increased at peri-intervention ($p = 0.009$) and post-intervention ($p = 0.023$) when compared with pre-intervention levels. In group C, VEGF-A significantly increased 10 min after the third set when compared with baseline (pre-SIXT) levels at peri-intervention ($p = 0.049$) ([Table 2](#)). No significant changes were observed in either group for total work output, $\dot{V}O_2$, or lactate and hydrogen ion concentrations ([Table 3](#)).

In the IXT, $\dot{V}O_{2\text{max}}$ measured at peri-intervention had significantly increased only in group E when compared with pre-

Table 2. SIXT-based BDNF and VEGF-A concentrations.

	Pre-intervention	Peri-intervention	Post-intervention
Experimental group			
BDNF concentration (ng/mL)			
Baseline	12.6±5	12.6±4.1	13.4±5.3
10 min after first set	10.8±6.4	6.8±2.8*	7.5±3.6*
10 min after third set	12.4±5.1	9.9±3.8	9.4±4.4
60 min after third set	9.7±3.8	7.7±2.8*	8.4±3.6*
VEGF-A concentration (pg·mL ⁻¹)			
Baseline	347.3±342.3	443.8±401 ^{††}	434.7±388.2 [†]
10 min after first set	418.2±381.4*	323.7±309.9*	308.2±281.2*
10 min after third set	455.4±320.5*	365.6±296.7	331.8±274.8
60 min after third set	384.7±309.6	350.7±317.8	342.6±312.3
Control group			
BDNF concentration (ng/mL)			
Baseline	8±4	10.7±5.7	11.6±3.9
10 min after first set	9.7±5.2	9.8±6.8	11.2±4.4
10 min after third set	10.8±5.1	10.6±6.2	11.8±3.9
60 min after third set	7.4±2.8	8.3±4.5	10.4±3.5
VEGF-A concentration (pg·mL ⁻¹)			
Baseline	339.1±269	328.4±236	309.9±349.5
10 min after first set	397.8±301.7	362.6±321.6	331.6±307.6
10 min after third set	404.3±298.6	411.8±288.3*	363±308.7
60 min after third set	376.4±322.8	397.4±342.2	344±269.3

Note: Data are presented as means ± SD. BDNF, serum brain-derived neurotrophic factor; SIXT, sprint interval exercise test; VEGF-A, vascular endothelial growth factor A. *, $p < 0.05$ vs. baseline measure; †, $p < 0.05$ versus pre-intervention measures; ††, $p < 0.01$ versus pre-intervention measures.

Table 3. SIXT-based total work output, oxygen uptake, and postexercise hydrogen and lactate ion concentrations.

Variable	Pre-intervention	Peri-intervention	Post-intervention
Experimental group			
W_{tot} (kJ)	205.4±33.1	215.5±34.4	217.5±36.5
$\dot{V}O_{2tot}$ (L)	55.2±8.6	60.2±10.5	61.4±9.6
H^+_{1st} (nmol·L ⁻¹)	85.4±8.2	80.2±8.7	79.2±10.3
H^+_{3rd} (nmol·L ⁻¹)	76.6±7.3	79±8	73.9±9.2
La^-_{1st} (mmol·L ⁻¹)	17.4±2.1	17.4±3.7	17.1±3.1
La^-_{3rd} (mmol·L ⁻¹)	16.9±2.7	17.4±4.2	16.5±3
Control group			
W_{tot} (kJ)	194.4±41.5	199.5±42.2	198.2±41.9
$\dot{V}O_{2tot}$ (L)	53.5±12.8	54±11.7	56.8±12.3
H^+_{1st} (nmol·L ⁻¹)	90.2±10.6	87.2±12.8	87.7±12.2
H^+_{3rd} (nmol·L ⁻¹)	85.8±14.5	85±14.9	85.3±13.9
La^-_{1st} (mmol·L ⁻¹)	19.1±1.8	18.6±1.6	18.1±2
La^-_{3rd} (mmol·L ⁻¹)	18.6±2.1	16.9±5.8	18.1±2.1

Note: Data are presented as means ± SD. H^+_{1st} , hydrogen ion concentration after the first SIXT set; H^+_{3rd} , hydrogen ion concentration after the third SIXT set; La^-_{1st} , lactate ion concentration after the first SIXT set; La^-_{3rd} , lactate ion concentration after the third SIXT set; SIXT, sprint interval exercise test; $\dot{V}O_{2tot}$, total oxygen uptake in the SIXT; W_{tot} , total work output in the SIXT.

intervention levels ($p = 0.042$). No significant changes were observed for P_{max} in either group (Table 4).

There were no significant correlations between BDNF levels and aerobic capacity determined by the $\dot{V}O_{2max}$, VEGF-A, and P_{max} , and lactic acidosis determined by H^+ and La^- concentrations.

BDNF analysis revealed statistically significant main effects for factors: collected blood sample, group × exercise test, and group × collected blood sample (Table 5). Statistically significant main effects were also demonstrated for P_{max} (group factor: $df = 1$; $F = 7.842$; $p = 0.006$; $\eta^2 = 0.095$), $\dot{V}O_{2max}$ (group factor: $df = 1$; $F = 17.39$; $p = 0.000$, $\eta^2 = 0.188$, and exercise test factor: $df = 2$; $F = 3.144$; $p = 0.048$; $\eta^2 = 0.077$), lactate ion concentrations in SIXT (group factor: $df = 1$; $F = 7.113$; $p = 0.008$; $\eta^2 = 0.036$), and hydrogen ion concentrations in SIXT (group factor: $df = 1$; $F = 25.83$; $p = 0.000$; $\eta^2 =$

Table 4. IXT-based maximal aerobic power and maximal oxygen uptake.

Variable	Pre-intervention	Peri-intervention	Post-intervention
Experimental group			
P_{max} (W)	343±61.2	364.7±60.9	363.3±61.4
$\dot{V}O_{2max}$ (mL ⁻¹ ·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	58.9±5	65.1±5.6 [†]	64.5±6.8
Control group			
P_{max} (W)	314.2±56.4	322.7±62.8	319.6±62.9
$\dot{V}O_{2max}$ (mL ⁻¹ ·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	54.1±8.2	57.2±9.6	56.7±8.7

Note: Data are presented as means ± SD. IXT, incremental exercise test; P_{max} , maximal aerobic power; $\dot{V}O_{2max}$, maximal oxygen uptake. †, $p < 0.05$ versus pre-intervention measures.

Table 5. Main effects in ANOVA for BDNF.

Factor	df	F	p	η^2
Group	1	0016	0899	0000
Exercise test	2	0962	0384	0008
Collected blood sample	3	5753	0001*	0064
Group × exercise test	2	4598	0011*	0035
Group × collected blood sample	3	3113	0027*	0036
Exercise test × collected blood sample	6	0837	0542	0,02
Group × exercise test × collected blood sample	6	0089	0997	0002

Note: BDNF, brain-derived neurotrophic factor.

0.12). No statistically significant main effects were demonstrated for the remaining variables.

Discussion

The results did not show any acute changes in serum BDNF concentrations when performing the SIXT at pre-intervention in either group. However, after 2 and 6 months of training, only in group E did BDNF levels significantly decrease 10 min following the first set and 60 min after the last set of sprints when compared with baseline levels. These results are different from previous studies that have shown an increase in serum BDNF levels following exercise (Ferris et al. 2007; Schmidt-Kassow et al. 2012; Schmolesky et al. 2013). For example, Tonoli et al. (2015) assessed the effects of HIIT on serum BDNF concentrations in type 1 diabet-

ics to find a significant increase after ten 60-s repetitions were performed at 90% P_{\max} . In another study, a similar HIIT-based protocol was administered to healthy subjects and resulted in even higher serum BDNF increases when compared with those recorded after CET performed at 70% P_{\max} (Saucedo Marquez et al. 2015). Nofuji et al. (2012) compared serum BDNF levels following exercise at various levels of intensity among physically active and inactive participants. In both groups, BDNF did not change after exercise at 40% $\dot{V}O_{2\max}$, but did significantly increase immediately after exercise at 60% $\dot{V}O_{2\max}$ and 100% $\dot{V}O_{2\max}$ when compared with baseline levels. Interestingly, a significant decrease was observed in serum BDNF at 30 and 60 min after exercise only in the physically active group and only after exercise at 100% $\dot{V}O_{2\max}$, suggesting an improvement in BDNF utilization after maximal intensity exercise (Nofuji et al. 2012). The present results corroborate this finding, further indicating that BDNF utilization may be enhanced after just 1 set of maximal exercise in SIXT compared with an entire 3-set session as a reduction in BDNF below baseline levels was observed just 10 min after the first SIXT set. One of the possible roles of BDNF utilization is the repair of exercise-induced muscle damage. The majority of circulating BDNF is stored in platelets, which also contain epidermal growth factor (Oka and Orth 1983), VEGF (Tischer et al. 1989), and platelet-derived growth factor (Antoniades et al. 1979), all of which play a role in wound healing. Some studies have shown that serum BDNF can induce muscle damage (Ferris et al. 2007; Kuipers 1994). Therefore, it is possible that the BDNF during exercise contributes to the repair of damaged skeletal muscle. Lian et al. (1998) showed that BDNF treatment suppressed the release of creatine kinase and prostaglandin E₂, which are indicators of muscle cell damage, in rat muscle exposed to oxidative stress *in vivo*. Furthermore, the delayed regeneration of muscle fibers after injury was observed in muscle-specific BDNF knockout mice (Clow and Jasmin 2010). In another study by this group of authors, the increase in myoglobin concentration and creatine kinase activity (markers of muscular damage) after a SIT test was significantly less when compared with pre-intervention measures in a group of cyclists who regularly performed interval training (unpublished data). In the present study, a reduction of VEGF-A was observed after the first set in the SIXT compared with baseline levels only in the experimental group at 2 and 6 months of training. Based on these findings and those in the present study involving group E, it can be surmised that the decrease in BDNF and VEGF-A after maximal exercise is indicative of its utilization for muscle regeneration. It is likely that this is the effect of regularly performed SIT because the pre-intervention BDNF level after a set of maximal sprints did not change while VEGF-A at 10 min after the first and third sets significantly increased. Similarly, the acute increase in VEGF-A at 10 min after interval training was observed by Wahl et al. (2011) in untrained participants.

Analysis of baseline BDNF concentrations in group E revealed no significant changes in the subsequent months of training (pre-intervention vs. peri- and post-intervention). This finding is consistent with other studies that have examined the effects of aerobic training on BDNF (Ruscheweyh et al. 2011; Schiffer et al. 2009; Schulz et al. 2004). One highly suggestive explanation for the lack of change in baseline BDNF in this group may be the already high concentrations (12.6 ± 5 ng·mL⁻¹) measured at pre-intervention particularly when compared with group C (8 ± 4 ng·mL⁻¹). Although no significant between-group differences were observed and the magnitudes both fall within the accepted range for healthy participants (1.5 – 30 ng·mL⁻¹) (Knaepen et al. 2010), the baseline values in group E attest to individual differences despite the identical pre-intervention training profile of both groups. Furthermore, the inclusion of SIT in the training regime of group E apparently did not have a significant effect on baseline BDNF at later time-points despite the enhanced training intensity. To further elucidate the effects of SIT on baseline BDNF, future research

should include participants of a lower physical activity level who should present lower baseline BDNF levels (Gruszczynska et al. 2018). In contrast with group E, baseline BDNF in group C revealed a positive trend ($p = 0.01$) across the time-points and may be explained by the resumption of aerobic training after a 2-month reduction in training intensity prior to study outset. This trend of increasing BDNF is consistent with other studies that also observed increased baseline BDNF after regular aerobic exercise (Żołądź et al. 2008). Of interest is the fact that BDNF increased in group C and reached a magnitude similar to group E at the pre-intervention time-point. Future research should conduct a more sustained investigation to determine if this positive trend continues over time or if a plateau is reached due to homeostatic regulation.

Relatively high magnitudes of SEMeas and smallest detectable change for serum BDNF concentration were obtained in the present study. SEMeas represented ≈ 23 – 40% of the average BDNF baseline value. It is difficult to find similar data on biochemical measures of human blood in the literature, with previously reported SEMeas for transcranial magnetic stimulation to be $\approx 10\%$ (Schambra et al. 2015) for indirectly determined $\dot{V}O_{2\max}$ $\approx 13\%$ (Greife et al. 1995) and the strength of various muscle groups ≈ 4 – 20% (Mentiplay et al. 2015). The SEMeas and SDC determined for serum BDNF does indicate that our findings should be interpreted with caution.

Significant increases in $\dot{V}O_{2\max}$ and baseline VEGF-A were observed only in group E. These changes suggest that a combination of moderate-intensity endurance training with HIIT and SIT can significantly improve the physiological adaptations to training than CET and HIIT alone and maintain these positive changes over a 6-month interval. These results confirm our earlier findings (Hebisz et al. 2016) in which a combination all 3 training modalities in 1 training program improved $\dot{V}O_{2\max}$ more than a protocol based on steady-state and variable exercise in well-trained cyclists. The changes we observed in $\dot{V}O_{2\max}$ are substantially greater than those reported by other authors who administered an endurance training intervention with only HIIT (Etzebarria et al. 2014; Laursen et al. 2005; Rønnestad et al. 2015; Smith et al. 1999) or only SIT (Creer et al. 2004; Etzebarria et al. 2014). The concomitant increase in VEGF-A was expected as VEGF-A expression is known to increase under hypoxic conditions induced by metabolic acidosis such as during strenuous exercise (Hoppeler 1999). VEGF-A is considered an important stimulus of muscle angiogenesis (Breen et al. 2008; Tang et al. 2010), suggesting that the applied intervention in group E induces a complex cardiovascular response in the study group of cyclists; no correlation between changes in VEGF-A and BDNF was demonstrated, as reported by other authors (Long et al. 2013; Usui et al. 2014).

Conclusions

The inclusion of regular SIT in a training regime can reduce serum BDNF and VEGF-A to below pre-exercise baseline levels after just 1 set of SIXT-based maximal sprints although the reduction of BDNF is greater after 1 set of sprints than after 3 sets. This acute BDNF and VEGF-A response was maintained during the duration of the study. The combination of CET with HIIT and SIT appears to be more effective in increasing $\dot{V}O_{2\max}$ and baseline VEGF-A than CET and HIIT alone and that these positive effects were also observed over the 6-month intervention.

Conflict of interest statement

The authors report no conflicts of interest associated with this manuscript.

Acknowledgements

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education under grant number NRSA300253. The program: Development of Academic Sport. Our gratitude to Michael Antkowiak

and Błażej Stęszewski for their translation and language assistance.

References

- Angelucci, F., Piermaria, J., Gelfo, F., Shofany, J., Tramontano, M., Fiore, M., et al. 2016. The effects of motor rehabilitation training on clinical symptoms and serum BDNF levels in Parkinson's disease subjects. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* **94**(4): 455–461. doi:10.1139/cjpp-2015-0322. PMID:26863448.
- Antoniades, H.N., Scher, C.D., and Stiles, C.D. 1979. Purification of human platelet-derived growth factor. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **76**(4): 1809–1813. doi:10.1073/pnas.76.4.1809. PMID:287022.
- Bos, L., De Boever, P., Int Panis, L., and Meeusen, R. 2014. Physical activity, air pollution and the brain. *Sports Med.* **44**: 1505–1518. doi:10.1007/s40279-014-0222-6. PMID:25119155.
- Breen, E., Tang, K., Olfert, M., Knapp, A., and Wagner, P. 2008. Skeletal muscle capillarity during hypoxia: VEGF and its activation. *High Alt. Med. Biol.* **9**(2): 158–166. doi:10.1089/ham.2008.1010. PMID:18578647.
- Church, D.D., Hoffman, J.R., Mangine, G.T., Jajtner, A.R., Townsend, J.R., Beyer, K.S., et al. 2016. Comparison of high-intensity vs. high-volume resistance training on the BDNF response to exercise. *J. Appl. Physiol.* **121**: 123–128. doi:10.1152/jappphysiol.00233.2016. PMID:27231312.
- Clow, C., and Jasmin, B.J. 2010. Brain-derived neurotrophic factor regulates satellite cell differentiation and skeletal muscle regeneration. *Mol. Biol. Cell.* **21**: 2182–2190. doi:10.1091/mbc.e10-02-0154. PMID:20427568.
- Cotman, C.W., and Berchtold, N.C. 2002. Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends Neurosci.* **25**(6): 295–301. doi:10.1016/S0166-2236(02)02143-4. PMID:12086747.
- Creer, A.R., Ricard, M.D., Conlee, R.K., Hoyt, G.L., and Parcell, A.C. 2004. Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high-intensity sprint-interval training in well-trained cyclists. *Int. J. Sports Med.* **25**(2): 92–98. doi:10.1055/s-2004-819945. PMID:14986190.
- Dill, D.B., and Costill, D.L. 1974. Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J. Appl. Physiol.* **37**(2): 247–248. doi:10.1152/jappphysiol.1974.37.2.247. PMID:4850854.
- Etzebarria, N., Anson, J.M., Pyne, D.B., and Ferguson, R.A. 2014. High-intensity cycle interval training improves cycling and running performance in triathletes. *Eur. J. Sport Sci.* **14**(6): 521–529. doi:10.1080/17461391.2013.853841. PMID:24206175.
- Ferris, L.T., Williams, J.S., and Shen, C.S. 2007. The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Med. Sci. Sports Exerc.* **39**(4): 728–734. doi:10.1249/mss.0b013e31802f04c7. PMID:17414812.
- Fujimura, H., Altar, C.A., Chen, R., Nakamura, T., Nakahashi, T., Kambayashi, J., et al. 2002. Brain-derived neurotrophic factor is stored in human platelets and released by agonist stimulation. *Thromb. Haemost.* **87**(4): 728–734. doi:10.1055/s-0037-1613072.
- Goekint, M., De Pauw, K., Roelands, B., Njemini, R., Bautmans, I., Mets, T., and Meeusen, R. 2010. Strength training does not influence serum brain-derived neurotrophic factor. *Eur. J. Appl. Physiol.* **110**(2): 285–293. doi:10.1007/s00421-010-1461-3. PMID:20467874.
- Greive, J.S., Kaminsky, L.A., Whaley, M.H., and Dwyer, G.B. 1995. Evaluation of the ACSM submaximal ergometer test for estimating VO₂max. *Med. Sci. Sports Exerc.* **27**(9): 1315–1320. PMID:8531631.
- Gruszczynska, M., Bak-Sosnowska, M., and Plinta, R. 2018. Health behaviors of amateur mountain bike athletes. *Human Movement*, **19**(2): 60–67. doi:10.5114/hm.2018.74060.
- Halliwill, J.R., Sieck, D.C., Romero, S.A., Buck, T.M., and Ely, M.R. 2014. Blood pressure regulation X: what happens when the muscle pump is lost. Post-exercise hypotension and syncope. *Eur. J. Appl. Physiol.* **114**(3): 561–578. doi:10.1007/s00421-013-2761-1. PMID:24197081.
- Hebisz, P., Hebisz, R., Zaton, M., Ochmann, B., and Mielnik, N. 2016. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* **116**(8): 1495–1502. doi:10.1007/s00421-016-3405-z. PMID:27262887.
- Hoppeler, H. 1999. Vascular growth in hypoxic skeletal muscle. *Adv. Exp. Med. Biol.* **474**: 277–286. doi:10.1007/978-1-4615-4711-2_21. PMID:10635007.
- Huang, T., Larsen, K.T., Ried-Larsen, M., Møller, N.C., and Andersen, L.B. 2014. The effects of physical activity and exercise on brain-derived neurotrophic factor in healthy humans: a review. *Scand J. Med. Sci. Sports*, **24**: 1–10. doi:10.1111/sms.12069. PMID:23600729.
- Knaepen, K., Goekint, M., Heyman, E.M., and Meeusen, R. 2010. Neuroplasticity – exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor. *Sports Med.* **40**(9): 765–801. doi:10.2165/11534530-000000000-00000. PMID:20726622.
- Krediet, C.P.T., Wilde, A.A.M., Wieling, W., and Halliwill, J.R. 2004. Exercise related syncope, when it's not the heart. *Clin. Autonem. Res.* **14**(suppl. 1): 25–36. doi:10.1007/s10286-004-1005-1.
- Kuipers, H. 1994. Exercise-induced muscle damage. *Int. J. Sports Med.* **15**(3): 132–135. doi:10.1055/s-2007-1021034. PMID:8005725.
- Lacewell, A.N., Buck, T.M., Romero, S.A., and Halliwill, J.R. 2014. Post-exercise syncope: Wingate syncope test and effective countermeasure. *Exp. Physiol.* **99**(1): 172–186. doi:10.1113/expphysiol.2013.075333. PMID:24078670.
- Laursen, P.B., Shing, C.M., Peake, J.M., Coombes, J.S., and Jenkins, D.G. 2005. Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *J. Strength Cond. Res.* **19**(3): 527–533. doi:10.1519/15964.1. PMID:16095414.
- Lian, J.D., Al-Jumah, M., Cwik, V., and Brooke, M.H. 1998. Neurotrophic factors decrease the release of creatine kinase and prostaglandin E2 from metabolically stressed muscle. *Neuromuscular Disord.* **8**(1): 7–13. doi:10.1016/S0960-8966(97)00122-3.
- Long, B.L., Rekkhi, R., Abrego, A., Jung, J., and Qutub, A.A. 2013. Cells as state machines: cell behavior patterns arise during capillary formation as a function of BDNF and VEGF. *J. Theor. Biol.* **326**: 43–57. doi:10.1016/j.jtbi.2012.11.030. PMID:23266714.
- Matthews, V.B., Aström, M.B., Chan, M.H., Bruce, C.R., Krabbe, K.S., Prelovsek, O., et al. 2009. Brain-derived neurotrophic factor is produced by skeletal muscle cells in response to contraction and enhances fat oxidation via activation of AMP-activated protein kinase. *Diabetologia*, **52**(7): 1409–1418. doi:10.1007/s00125-009-1364-1. PMID:19387610.
- Mentiplay, B.F., Perraton, L.G., Bower, K.J., Adair, B., Pua, Y.H., Williams, G.P., et al. 2015. Assessment of lower limb muscle strength and power using handheld and fixed dynamometry: a reliability and validity study. *PLoS ONE*, **10**(10): e0140822. doi:10.1371/journal.pone.0140822. PMID:26509265.
- Murawska-Cialowicz, E., Wojna, J., and Zuwała-Jagiello, J. 2015. Crossfit training changes brain-derived neurotrophic factor and irisin levels at rest, after Wingate and progressive tests, and improves aerobic capacity and body composition of young physically active men and women. *J. Physiol. Pharmacol.* **66**(6): 811–821. PMID:26769830.
- Neeper, S.A., Gomez-Pinilla, F., Choi, J., and Cotman, C.W. 1996. Physical activity increases mRNA for brain-derived neurotrophic factor and nerve growth factor in rat brain. *Brain Res.* **726**(1–2): 49–56. doi:10.1016/0006-8993(96)00273-9. PMID:8836544.
- Nofuji, Y., Suwa, M., Sasaki, H., Ichimiya, A., Nishichi, R., and Kumagai, S. 2012. Different circulating brain-derived neurotrophic factor responses to acute exercise between physically active and sedentary subjects. *J. Sports Sci. Med.* **11**(1): 83–88. PMID:24137066.
- Oka, Y., and Orth, D.N. 1983. Human plasma epidermal growth factor/beta-urogastrone is associated with blood platelets. *J. Clin. Invest.* **72**(1): 249–259. doi:10.1172/JCI110964. PMID:6603475.
- Pareja-Galeano, H., Alis, R., Sanchis-Gomar, F., Cabo, H., Cortell-Ballester, J., Gomez-Cabrera, M.C., et al. 2015. Methodological considerations to determine the effect of exercise on brain-derived neurotrophic factor levels. *Clin. Biochem.* **48**(3): 162–166. doi:10.1016/j.clinbiochem.2014.11.013. PMID:25464018.
- Rasmussen, P., Brassard, P., Adser, H., Pedersen, M.V., Leick, L., Hart, E., et al. 2009. Evidence for a release of brain-derived neurotrophic factor from the brain during exercise. *Exp. Physiol.* **94**(10): 1062–1069. doi:10.1113/expphysiol.2009.048512. PMID:19666694.
- Rønnestad, B.R., Hansen, J., Vegge, G., Tønnessen, E., and Slettaløkken, G. 2015. Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists – an effort-matched approach. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, **25**: 143–151. doi:10.1111/sms.12165. PMID:24382021.
- Ruscheweyh, R., Willemer, C., Krüger, K., Duning, T., Warnecke, T., Sommer, J., et al. 2011. Physical activity and memory functions: an interventional study. *Neurobiol. Aging*, **32**(7): 1304–1319. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2009.08.001. PMID:19716631.
- Saucedo Marquez, C.M., Vanaudenaerde, B., Troosters, T., and Wenderoth, N. 2015. High-intensity interval training evokes larger serum BDNF levels compared with intense continuous exercise. *J. Appl. Physiol.* **119**(12): 1363–1373. doi:10.1152/jappphysiol.00126.2015. PMID:26472862.
- Schambra, H.M., Ogden, R.T., Martinez-Hernandez, I.E., Lin, X., Chang, Y.B., Rahman, A., et al. 2015. The reliability of repeated TMS measures in older adults and in patients with subacute and chronic stroke. *Front. Cell. Neurosci.* **9**: 335. doi:10.3389/fncel.2015.00335. PMID:26388729.
- Schiffer, T., Schulte, S., Hollmann, W., Bloch, W., and Strüder, H.K. 2009. Effects of strength and endurance training on brain-derived neurotrophic factor and insulin-like growth factor 1 in humans. *Horm. Metab. Res.* **41**(3): 250–254. doi:10.1055/s-0028-1093322. PMID:18975254.
- Schiffer, T., Schulte, S., Sperlich, B., Achtzehn, S., Fricke, H., and Strüder, H.K. 2011. Lactate infusion at rest increases BDNF blood concentration in humans. *Neurosci. Lett.* **488**(3): 234–237. doi:10.1016/j.neulet.2010.11.035. PMID:21094220.
- Schmidt-Kassow, M., Schädle, S., Otterbein, S., Thiel, C., Doehring, A., Löttsch, J., and Kaiser, J. 2012. Kinetics of serum brain-derived neurotrophic factor following low-intensity versus high-intensity exercise in men and women. *Neuroreport*, **23**(15): 889–893. doi:10.1097/WNR.0b013e32835946ca. PMID:22964969.
- Schmoleksy, M.T., Webb, D.L., and Hansen, R.A. 2013. The effects of aerobic exercise intensity and duration on levels of brain-derived neurotrophic factor in healthy men. *J. Sports Sci. Med.* **12**: 502–511. PMID:24149158.
- Schulz, K.H., Gold, S.M., Witte, J., Bartsch, K., Lang, U.E., Hellweg, R., et al. 2004. Impact of aerobic training on immune-endocrine parameters, neurotrophic factors, quality of life and coordinative function in multiple sclerosis. *J. Neurol. Sci.* **225**(1–2): 11–18. doi:10.1016/j.jns.2004.06.009. PMID:15465080.
- Slusher, A.L., Patterson, V.T., Schwartz, C.S., and Acevedo, E.O. 2018. Impact of high intensity interval exercise on executive function and brain derived

- neurotrophic factor in healthy college aged males. *Physiol. Behav.* **191**: 116–122. doi:10.1016/j.physbeh.2018.04.018. PMID:29673858.
- Smith, T.P., McNaughton, L.R., and Marshall, K.J. 1999. Effects of 4-wk training using Vmax/Tmax on VO₂max and performance in athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* **31**(6): 892–896. doi:10.1097/00005768-199906000-00019. PMID:10378918.
- Tang, K., Xia, F.C., Wagner, P.D., and Breen, E.C. 2010. Exercise-induced VEGF transcriptional activation in brain, lung and skeletal muscle. *Respir. Physiol. Neurobiol.* **170**(1): 16–22. doi:10.1016/j.resp.2009.10.007. PMID:19853064.
- Thoenen, H., Zafra, F., Hengerer, B., and Lindholm, D. 1991. The synthesis of nerve growth factor and brain-derived neurotrophic factor in hippocampal and cortical neurons is regulated by specific transmitter systems. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* **640**: 86–90. doi:10.1111/j.1749-6632.1991.tb00196.x. PMID:1776765.
- Tischer, E., Gospodarowicz, D., Mitchell, R., Silva, M., Schilling, J., Lau, K., et al. 1989. Vascular endothelial growth factor: a new member of the platelet-derived growth factor gene family. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **165**: 1198–1206. doi:10.1016/0006-291X(89)92729-0. PMID:2610687.
- Tonoli, C., Heyman, E., Roelands, B., Buysse, L., Piacentini, F., Berthoin, S., et al. 2015. BDNF, IGF-1, glucose and insulin during continuous and interval exercise in type 1 diabetes. *Int. J. Sports Med.* **36**(12): 955–959. doi:10.1055/s-0035-1548886. PMID:26212245.
- Usui, T., Naruo, A., Okada, M., Hayabe, Y., and Yamawaki, H. 2014. Brain-derived neurotrophic factor promotes angiogenic tube formation through generation of oxidative stress in human vascular endothelial cells. *Acta Physiol.* **211**(2): 385–394. doi:10.1111/apha.12249.
- Vega, S.R., Strüder, H.K., Vahrman, B.V., Schmidt, A., Bloch, W., and Hollmann, W. 2006. Acute BDNF and cortisol response to low intensity exercise and following ramp incremental exercise to exhaustion in humans. *Brain Res.* **1121**(1): 59–65. doi:10.1016/j.brainres.2006.08.105. PMID:17010953.
- Wahl, P., Zinner, C., Achtzehn, S., Behringer, M., Bloch, W., and Mester, J. 2011. Effects of acid-base balance and high or low intensity exercise on VEGF and bFGF. *Eur. J. Appl. Physiol.* **111**(7): 1405–1413. doi:10.1007/s00421-010-1767-1. PMID:21161264.
- Żołądź, J.A., Pilc, A., Majerczak, J., Grandys, M., Zapart-Bukowska, J., and Duda, K. 2008. Endurance training increases plasma brain-derived neurotrophic factor concentration in young healthy men. *J. Physiol. Pharmacol.* **59**(suppl. 7): 119–132. PMID:19258661.

Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise-induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds

Rafał Hebisz, Paulina Hebisz*, Jacek Borkowski and Marek Zatoń

Department of Physiology and Biochemistry, University School of Physical Education in Wrocław, Wrocław, Poland

Received 22 July 2018

Accepted 5 October 2018

Abstract.

BACKGROUND: While interval training is considered an effective modality for improving performance, its effectiveness among athletes may be influenced by previous training experience.

OBJECTIVE: To investigate whether differences in training background are reflected in the development of exercise capacity and level of muscle damage following a single bout of repeated maximal sprints after an 8-week intervention of high-intensity interval training (HIIT), sprint interval training (SIT), and endurance training (ET).

METHODS: Three groups of male cyclists were studied: E1 ($n = 10$) included cyclists with a background in high-volume moderate-intensity training, E2 ($n = 7$) comprised cyclists with low-volume high-intensity training experience, and C ($n = 7$) served as a control group with an identical training background as E1. During 8-week intervention HIIT, SIT, and ET were performed by cyclists in group E1 and E2, group C performed only ET. At pre- and post-intervention, cyclists performed two exercise tests: 1) incremental testing protocol (ITP) to assess maximal oxygen uptake (VO_{2max}) and maximal power (P_{max}); and 2) sprint interval testing protocol (SITP) to determine oxygen uptake (VO_2), work, and change in creatine kinase (ΔCK) and myoglobin (ΔMb) levels.

RESULTS: After intervention, VO_{2max} increased in all groups although P_{max} increased only in E1 and C. During post-intervention sprint interval testing protocol, VO_2 and work increased only in E1, whereas ΔCK and ΔMb decreased in E1 but increased in E2.

CONCLUSIONS: A history of high-volume moderate-intensity training can induce beneficial performance adaptations by reducing muscle damage and allowing greater work output. It is suggested that interval training be preceded by a longer period of high-volume training in athletes.

Keywords: Interval training, work, creatine kinase, myoglobin

1. Introduction

*Corresponding author: Paulina Hebisz, Department of Physiology and Biochemistry, University School of Physical Education, 35 J.I. Paderewski Avenue, 51-612 Wrocław, Poland. Tel.: +48 507548737; Fax: +48 713473036; E-mail: paulinahebisz@interia.pl

Sprint interval training (SIT) and high-intensity interval training (HIIT) are known as two potent exercise strategies in the development of aerobic and

anaerobic capacity [1–3]. The former involves several bouts of short maximal intensity exercise (Cca. 30 s) separated by recovery intervals of 15 s–4 min duration [4–6]. In the latter, the repeated exercise is either performed for several minutes at an intensity exceeding 90% maximal oxygen uptake (VO_2max) [1] or with repeated efforts at an intensity above the ventilatory threshold [2]. The well-documented effects of these training modalities in high-performance athletes include significant increases in VO_2max [6,7], maximal power output during incremental exercise testing [6,7], power output on metabolic thresholds [6], performance in individual time trials [7,8], and performance in cycling races [9]. One study by the present authors [10] revealed greater improvements in VO_2max ($\approx 15\%$) and maximal power output ($\approx 10.4\%$) during incremental test among well-trained mountain bike (MTB) cyclists than those reported in comparable studies that administered an exclusive HIIT or SIT intervention ($\approx 3\text{--}8\%$) [1,6,7]. In Hebisz et al. [10], the authors administered the 8-week training intervention that involved a microcycle of SIT, HIIT, and steady-state endurance training. While most of the available studies assess the effects of one type of interval training [7–9]. It is possible that an exercise protocol consisting of both HIIT and SIT may induce enhanced training adaptations compared with one modality alone. HIIT that involves several minutes of exercise at an intensity above 90% VO_2max is known to increase cardiac output and stroke volume [1,10–12] whereas the concomitant application of SIT may have provoked changes in skeletal muscle oxidative capacity [13]. Many of these adaptations are associated with stimulated angiogenesis; increased mitochondrial biogenesis via the peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha (PGC-1 α) and AMP-activated protein kinase (AMPK) activation; and increased maximal oxidative enzyme activity including citrate synthase, beta-hydroxyacyl-CoA-dehydrogenase, cytochrome oxidase, pyruvate dehydrogenase, and malate dehydrogenase [3].

In addition to limited information on the combination of different interval modalities, there is lack of documented evidence on the effects of athlete training background. The most majority of interval training studies have stratified their population samples according to VO_2max levels by distinguishing groups such as elite athletes ($> 70 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$), highly trained athletes ($60\text{--}69 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$), well-trained athletes ($50\text{--}59 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$), and sedentary individuals ($< 50 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) [2]. Accord-

ing to this classification of aerobic capacity, studies have found that SIT or HIIT elicit greater improvements in VO_2max among sedentary individuals ($\approx 10\text{--}15\%$) [14–16] than trained cyclists ($\approx 5\%$) [17] or well-trained cyclists or triathletes ($\approx 3\text{--}8\%$) [7]. While research has included a wide range of study populations, a literature review revealed no works that have stratified a sample according to such characteristics as exercise intensity, volume and training history.

Despite many beneficial changes induced by interval training, several negative effects have been identified with muscle damage as the most prominent [18]. It is worth noting that significant exercise-induced muscle fiber damage can result from not only interval training but steady-state exercise performed at moderate or high intensity [19]. Research also suggests that muscle fiber damage is a necessary precursor for the onset of important physiological adaptations [20]. In the literature, some biochemical markers of muscle damage are increased myoglobin concentration (Mb) and creatine kinase activity (CK) in blood plasma following exercise [21,22]. Interestingly, current findings suggest that eccentric muscular contractions induce greater increases in Mb and CK than concentric contractions [23] and that Mb and CK can also be triggered by increased oxidative stress [21]. However, it is unclear what changes occur to Mb and CK during SIT-based exercise particularly among trained athletes with varied training backgrounds (different macrocycle volume and intensity). This is of interest as many coaches continue to apply the Matveyev model of training periodization [24], in which training progresses from a low-intensity high-volume phase to a high-intensity low-volume phase. This model theoretically would best prepare the athlete for the high loads entailed in interval training. However, there is a modicum of scientific evidence for this model particularly among advanced athletes [24]. An assessment of the acute changes in serum Mb and CK in response to SIT should show the degree of experienced muscle damage among athletes with different training backgrounds. Furthermore, interval training has been strongly promoted as a time-efficient exercise strategy that induces enhanced adaptations compared with longer-duration and more monotonous endurance training [3]. However, little attention has been paid to whether the participant or athlete can tolerate the high loads of SIT, again suggesting the need for research on the effects of this training modality on muscle damage.

In light of the above, the aim of the study was to determine the effects of a concomitant SIT, HIIT, and

Table 1
Anthropometric and physiological characteristics of groups E1, E2, and C

Group	Age [years]	Height [cm]	Mass [kg]	VO ₂ max [ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]	Pmax [W]
E1	21.7 ± 6.6	179.5 ± 6	70.2 ± 9.9	57.4 ± 3.4	369.5 ± 42.5
E2	21.2 ± 4.8	176.4 ± 5.2	67.4 ± 8.6	58.6 ± 5.9	349.3 ± 26.5
C	20.2 ± 4.3	176.5 ± 5.8	68.4 ± 9.1	55.4 ± 7.2	345.6 ± 44.2

VO₂max – maximal oxygen uptake in an incremental testing protocol, Pmax – maximal aerobic power in an incremental testing protocol; data are presented as mean ± standard deviation.

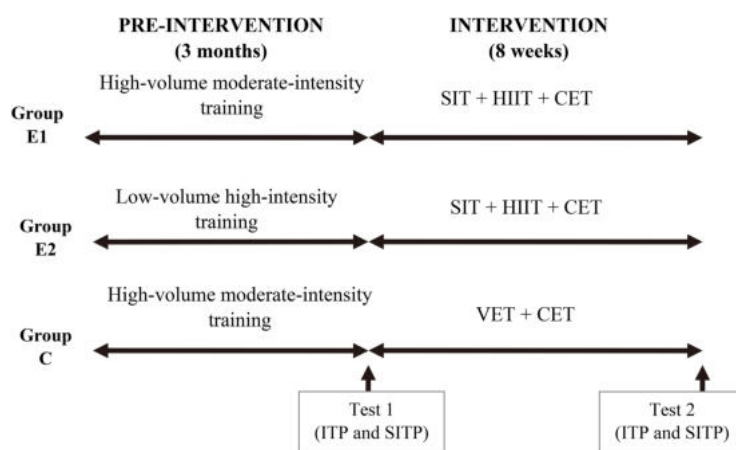


Fig. 1. Scheme of the experiment (SIT – sprint interval training; HIIT – high-intensity interval training; CET – continuous endurance training; VET – varied-intensity endurance training; ITP – incremental testing protocol; SITP – sprint interval testing protocol).

continuous endurance training (CET) intervention on maximal aerobic power and VO₂max in relation to prior training background. Another goal was to determine if differences in training background would be reflected in the level of muscle damage in response a single dose of SIT. It was hypothesized that athletes with greater training experience in high-volume exercise would be subject to less muscular damage and present better post-intervention improvements in exercise performance.

2. Materials and methods

2.1. Participants

This study design was approved by the institutional ethics committee and all procedures were performed in accordance with the Declaration of Helsinki. Twenty-six male mountain bike (MTB) cyclists were recruited with a minimum of 2 years competitive experience in their respective racing format. Written informed consent was obtained after the procedures were fully explained. Previous training characteristics (heart rate and power output) over a 3-month period prior to study outset were collected from previously saved training

records using the Garmin Connect system (Garmin Ltd.,USA). Participant exercise history was then determined and the cyclists were assigned to either one of two experimental groups (E1: $n = 10$; E2: $n = 7$) or a control group (C: $n = 7$). Group E1 was composed of cyclists who executed a relatively high-volume training regime at moderate intensity. In this group, weekly training volume was 14–16 hours, of which 7% was performed at 65–70% of maximal heart rate (HRmax), 85% at 70–80% HRmax, 5% at 80–85% HRmax, and 3% above 85% HRmax. Group E2 included cyclists who executed relatively low-volume training at high intensity. Weekly training volume was 7–9 hours, of which 15% of exercise was performed at 65–70% HRmax, 21% at 70–80% HRmax, 62% at 80–90% HRmax, and 2% above 90% HRmax. Group C involved cyclists who shared an identical training profile as group E1 (high-volume training at moderate-intensity) but served as a control group and were not subject to any intervention or training modifications during the study duration. Group characteristics are presented in Table 1.

2.2. Procedures

The duration of the training intervention was 8 weeks (shown in Fig. 1). HIIT, SIT, and CET were

concomitantly executed by E1 and E2. SIT was performed twice a week. Each SIT session involved 12 to 16 repetitions of 30-s maximal intensity cycling with four repetitions constituting one set. Each repetition was interspersed with 90 s of low-intensity cycling not exceeding 30 W. A recovery period was provided between each set in which the first 2 min were performed at an intensity corresponding to 30% maximal aerobic power (determined during an incremental test) followed by 20 min of cycling at 50% maximal aerobic power and then 3 min of cycling at 15% maximal aerobic power. HIIT was performed once a week and involved 5 to 7 cycling bouts of 5 min performed at an intensity 85–95% maximal aerobic power with recovery intervals between each repetition performed at 45–50% maximal aerobic power for 10–15 min. The CET modality was performed twice a week and involved 120–180 min of cycling at an intensity of 70–80% HRmax.

Participants in group C continued their existing training regime based on two endurance training modalities. The first was varied-intensity endurance training (VET) with two sessions held each week. Each session began with several minutes of cycling at an intensity of 65–70% HRmax, followed by cycling again for several minutes at an intensity of 80–85% HRmax, and then several dozen minutes of cycling at 70–80% HRmax. This order was then repeated several times with total session duration 120–180 min. The second involved steady-state CET executed three times a week. In this modality, the controls cycled for 120–180 min at an intensity equivalent to 70–80% HRmax.

In total, participants in all groups (E1, E2, and C) performed five training sessions per week during the intervention. Only one training session was held per day. The remaining two days of the week included: a day of absolute rest and a day of recovery session that involved low-intensity cycling at 60% HRmax, in all participants. Weekly training volume was 11–13 hours for groups E1 and E2 and 14–16 hours for group C (identical to pre-intervention training volume). Every fourth week total training volume was decreased by approximately 50% in each group (to 5.5–8 hours of exercise) to promote recovery without modification to the exercise protocol or intensity. Power output during training was continuously measured using a rear wheel hub-mounted G3 ANT+ and GS ANT+ telemetric system (PowerTap, Wisconsin, US). Heart rate was continuously measured and displayed together with power output during training with the Garmin Edge 520 and Edge 810 cycling monitor (Garmin Ltd., Kansas, US).

2.3. Testing

Physical fitness parameters and physiological variables were measured pre- and post-intervention by administering two exercise tests based on an incremental testing protocol (ITP) and a sprint interval testing protocol (SITP). The two tests were interspersed by 24 hours of rest during which the participants refrained from any exercise or training stimulus. ITP and SITP were executed in controlled laboratory conditions (temperature and humidity controlled) at the Exercise Laboratory of the University School of Physical Education (PN-EN ISO 9001:2001 certified). Testing began at 09:00 approximately 150 min postprandial.

2.3.1. Incremental testing protocol

The ITP was performed on an Excalibur Sport cycle ergometer calibrated before each test (Lode B.V., The Netherlands). Starting workload was 50 W and increased every 3 min by 50 W until volitional fatigue. If a participant was unable to complete an entire 3 min stage 0.28 W per second missed was subtracted from the work rate at that stage. The highest power output determined in the incremental exercise test was taken to be the measure of maximal aerobic power (Pmax). Respiratory gas exchange was measured on a breath-by-breath basis with a Quark gas analyzer (Cosmed, Italy, Mediolan). The device was calibrated before each trial with a reference gas mixture of carbon dioxide (5%), oxygen (16%), and nitrogen (79%). Tidal air was collected by wearing a face mask and analyzed to determine oxygen uptake (VO_2). The composition of expired air and minute pulmonary ventilation was used to determine $\text{VO}_{2\text{max}}$ and averaged over 30-s intervals.

2.3.2. Sprint interval testing protocol

The SITP was performed on the same Excalibur Sport cycle ergometer as in the ITP and preceded by a warm-up in which the participant cycled for 5 min at 40% Pmax (as determined in the ITP) and then for 15 min at 60% Pmax. An active 5-min cool-down was then performed by cycling at an intensity equivalent to 30 W. The test proper then began and consisted of three sets of sprint interval exercise. Each set was composed of four 30-s maximal bouts with the participant motivated to produce an all-out effort and sustain a high power output for as long as possible. The repetitions were interspersed with 90 s of active recovery in which cycling intensity was reduced to 30 W. Upon completing each set a recovery component was performed that

Table 2
Pre- and post-intervention work done, Pmax, and VO₂ in the ITP and SITP

	E1		E2		C	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Sprint interval testing protocol						
W ₁ [kJ]	72.3 ± 8.4	76.2 ± 9**	73.9 ± 6.9	75 ± 7.7	68.5 ± 10.7	71.1 ± 10.3
W ₂ [kJ]	72.4 ± 8.1	76.4 ± 9.4**	74.3 ± 7.2	74.8 ± 7.6	69.4 ± 11.3	71.7 ± 11.2
W ₃ [kJ]	71.5 ± 8.1 [^]	75.7 ± 9.1**	73.2 ± 6.8	74.3 ± 7.7	69 ± 11	69.4 ± 10.5 [^]
W _{tot} [kJ]	216.2 ± 24.6	220.9 ± 12.4**	221.3 ± 20.8	224.1 ± 22.9	206.9 ± 32.9	213.1 ± 32.2
VO ₂₋₁ [l]	36.8 ± 6.5	41.5 ± 6.4**	43.4 ± 3.8	43.1 ± 3	37.4 ± 6.3	37.9 ± 6.7
VO ₂₋₂ [l]	38.8 ± 5.7	43.2 ± 6.9** [^]	43.5 ± 4.4	41.5 ± 2.5	38.1 ± 6	36.9 ± 8
VO ₂₋₃ [l]	39.4 ± 5.6	43.3 ± 6.2 [^]	43.3 ± 4.7	41.9 ± 2.5	38 ± 6.2	37.3 ± 6.8
Incremental testing protocol						
Pmax [W]	369.5 ± 42.5	393.9 ± 39**	349.3 ± 26.5	365 ± 35.4	345.6 ± 44.2	352 ± 45.3
VO ₂ max [ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹]	57.4 ± 3.4	63.5 ± 6.1**	58.6 ± 5.9	63.6 ± 3.9*	55.4 ± 7.2	58.9 ± 9.8*

Pre – pre-intervention; Post – post-intervention; W_{1,2,3} – work done in the first, second, third *sprint interval testing protocol* set; W_{tot} – total work done in all *sprint interval testing protocol* sets; VO_{2-1,2,3} – sum of oxygen uptake in the first, second, third *sprint interval testing protocol* set; Pmax – maximal aerobic power in an *incremental testing protocol*; VO₂max – maximal oxygen uptake in an *incremental testing protocol*; * – $p < 0.05$ vs. pre-intervention measures; ** – $p < 0.01$ vs. pre-intervention measures; [^] – $p < 0.05$ vs. the first and second set; data are presented as mean ± standard deviation.

involved pedaling with no external load for the first 2.5 min. Intensity was then increased to 40% Pmax and continued until blood pH decreased to 7.3. Arterialized capillary blood from the fingertip was drawn in order to assay pH with the use of a RapidLab 348 blood gas analyzer (Siemens Healthcare, Germany). This resulted in individualized recovery times that ranged from 25 to 40 min. A subsequent low-intensity effort of 5 min at 30 W was then performed prior to beginning the next set.

Instantaneous and average power were recorded in each sprint repetition and the work done in each set (W₁, W₂, W₃) and the sum of all sets (W_{tot}) was extrapolated as the product of power and time. Respiratory function was also measured with the same procedure and equipment as in the ITP. Respiratory gas measures were collected at test start and recorded for 2.5 min after set termination. VO₂ was summed for each set and included the four sprint repetitions and recovery intervals and the 2.5 min post-exertion interval.

A 10 ml blood sample was drawn from the antecubital forearm vein to determine myoglobin concentration (Mb) and creatine kinase activity (CK) as markers of muscular damage. A baseline measure was obtained 20 min prior to test start and a post-exertion sample was drawn 60 min after the last set was completed. Blood was immediately centrifuged to extract blood plasma. The samples were stored in Eppendorf tubes at –80°C and analyzed once all pre- and post-intervention samples were collected. CK was determined with a standard assay kit (Biosystems, Spain) and an Epoch microplate spectrophotometer integrated with Gen5 proprietary software (Biotek, USA). Mb

was determined with a respective assay kit (EIAab, USA) with the same microplate reader as above. The delta change between baseline and post-exertion measures was calculated and reported as ΔCK and ΔMb.

2.4. Data analysis

Means and standard deviations were calculated for all variables using the Statistica 13 software package (Statsoft, Poland). The distribution of the data set was screened for normality with the Shapiro-Wilk test. Data comparisons were made with the Friedman test with the Wilcoxon signed-rank test for post-hoc analysis. Pearson's correlation coefficients (PCC) were calculated to analyze the relationship between changes in pre- and post-intervention W_{tot} with the changes in ΔMb and ΔCK. Significance for inferential analysis was accepted at the 0.05 level of confidence.

3. Results

The assumption of normal distribution was not met for ΔCK and ΔMb in E1, ΔMB in E2, and W₁, W₂, W₃, W_{tot}, VO₂₋₂, VO₂₋₃ and ΔCK in group C. For group-combined data (E1 and E2), ΔMb, ΔCK, and W_{tot} were characterized by a normal distribution. Analysis of pre- and post-intervention ITP-derived Pmax and VO₂max revealed significant increases in group E1. In E2, a significant increase was observed only for VO₂max albeit a trend towards an increase in Pmax was identified ($p = 0.09$) (Table 2). Analysis of the SITP variables showed that VO₂ and work done in-

	E1		E2		C	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
CK _B [U·l ⁻¹]	148.9 ± 61.8	150.5 ± 67.2	220.7 ± 125	231.5 ± 156.5	156.9 ± 39.8	162.4 ± 79.2
CK _E [U·l ⁻¹]	205 ± 83.1 [^]	174.8 ± 75.5* [^]	232.7 ± 128.5	279.3 ± 136* [^]	179.6 ± 57.2 [^]	190.3 ± 85 [^]
Mb _B [ng·ml ⁻¹]	12.4 ± 8.9	11.6 ± 5.6	12 ± 5.6	20.3 ± 26.2	13.8 ± 7.1	12.6 ± 4.7
Mb _E [ng·ml ⁻¹]	41.1 ± 20.4 [^]	27.8 ± 14.6* [^]	18.5 ± 9.4	41.5 ± 17.2* [^]	31.8 ± 15.1 [^]	32.4 ± 19.7 [^]
ΔCK [U·l ⁻¹]	56.2 ± 33.3	24.4 ± 17.1*	12 ± 15.6	47.8 ± 8.9*	22.6 ± 34.3	27.9 ± 26.3
ΔMb [ng·ml ⁻¹]	28.7 ± 18.1	16.2 ± 13.1*	6.5 ± 10.1	21.2 ± 6.9*	18 ± 17.1	19.8 ± 20

Pre – pre-intervention; Post – post-intervention; CK_B – baseline creatine kinase activity in blood serum; CK_E – post-exertion creatine kinase in blood serum; Mb_B – baseline myoglobin concentration in blood serum; Mb_E – post-exertion myoglobin concentration in blood serum; ΔCK – difference in baseline and post-exertion CK; ΔMb – difference in baseline and post-exertion Mb; * – $p < 0.05$ vs. pre-intervention measures; [^] – $p < 0.05$ vs. baseline value; data are presented as mean ± standard deviation.

314 creased significantly only in group E1, in all three individual sets. No significant differences were observed
315 for total work done, work done per set, or VO₂ in group
316 E2 and C (Table 2).
317

318 Analysis of the biochemical markers revealed significant post-exertion increases in CK and Mb (compared with baseline values) among all groups at both the pre- and post-intervention time points (excluding pre-intervention E2). Post-intervention group comparisons showed that the increase in CK and Mb was significantly less in E1 but significantly greater in E2 when compared with pre-intervention measures. This was reflected in the delta change between baseline and post-exertion values, in which post-intervention ΔCK and ΔMb significantly decreased in E1 but significantly increased in E2. No significant differences were observed in control group between pre- and post-intervention CK and Mb levels. Baseline value CK and Mb was greater in E2 compared with E1 and C at pre- and post-intervention but not significant between-group differences were observed (Table 3).
327
328
329
330
331
332
333
334

335 Correlation analysis of the changes in ΔMb and W_{tot} for group-combined data (E1 and E2, together) at pre- and post-intervention revealed a significant negative correlation ($r = -0.62$, $R^2 = 0.39$, $p = 0.008$), in which a decrease in ΔMb after SITP was associated with an increase in post-intervention W_{tot} when compared pre-intervention W_{tot} (Fig. 2). A similar relationship was observed for the change in ΔCK and the change in W_{tot} ($r = -0.5$, $R^2 = 0.25$, $p = 0.041$) (Fig. 3).
340
341
342
343
344

345 4. Discussion

346 Increased Mb and CK levels were observed after the administration of SITP. Several studies have confirmed that strenuous exercise and the resultant ox-
347
348

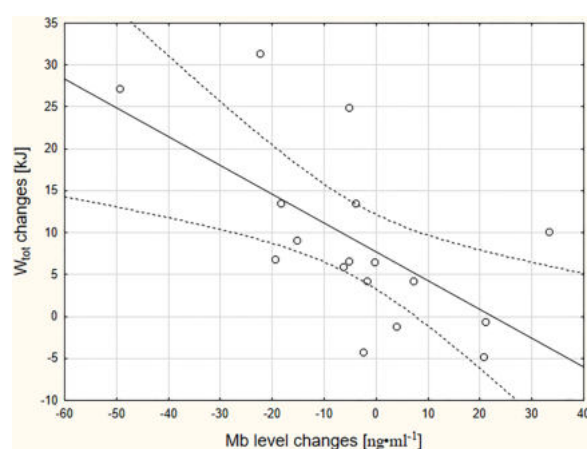


Fig. 2. Scatter plot illustrating the linear correlation between pre- and post-intervention changes in ΔMb and W_{tot} ($r = -0.62$, $p < 0.05$); correlation coefficients based on E1 and E2 combined data.

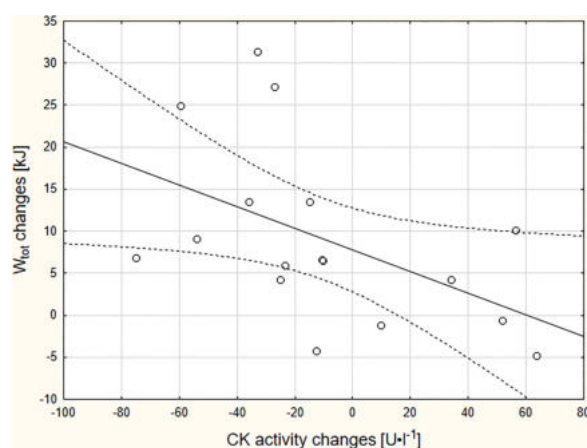


Fig. 3. Scatter plot illustrating the linear correlation trend between pre- and post-intervention changes in ΔCK and W_{tot} ($r = -0.5$, $p < 0.05$); correlation coefficients based on E1 and E2 combined data.

oxidative stress can cause severe muscle damage due to metabolic [21,25] and mechanical factors associated with excessive muscle tension or stretch [26,27]. However, the applied exercise tests were all based on pedaling mechanics, an activity dominated by concentric muscle work [28]. While researchers have suggested that even highly intensive concentric exercise does not induce significant changes in CK and Mb [23,29] or other biochemical markers of acute muscle damage (i.e. calpain or calpastatin) [29–31], the cited works adopted an exercise testing protocol significantly different from the one used herein. For example, Newham and Jones [23] and Vissing et al. [29] both administered an uphill walking/climbing task. While Murphy et al. [31] did use a cycle ergometer, their exercise protocol involved cycling at 70% VO_2max until fatigue and a Wingate-based protocol. In the present study, Mb and CK were measured when performing repeated 30-s maximal sprints which may have induced greater metabolic stress and causing increased muscle damage than the above protocols.

Post-intervention group comparisons revealed that the increase in CK and Mb was significantly less in E1 compared with other groups. This was also seen by the significant decrease in post-intervention ΔCK and ΔMb compared with pre-intervention values. Such a diametric difference between pre- and post-intervention values was accompanied by increased muscle oxygen potential. Laughlin and Roseguini [32] indicated that sprint interval training develops capillary density and muscular blood flow in fast twitch muscle fibers. In addition, SIT-induced changes in neuromuscular characteristics are known to increase muscle oxidative potential during such efforts [26]. This is evidenced in the present study by the significant post-intervention increases of SITP-based VO_2 . The concomitant increase in oxygen potential and the observed changes of ΔCK and ΔMb could have influenced the increase in the amount of work done in E1 but none of the other groups. This thesis is supported by the negative correlation between the change in ΔMb and ΔCK with the change in work done that was observed at both pre- and post-intervention time points. These changes are significant in the context of previous findings in which a strong correlation was identified between VO_2 peak obtained during a SITP and race performance in well-trained MTB cyclists [33]. Moreover, another study demonstrated a correlation between average power in an interval training exercise test and MTB race times [34]. This relationship appears to be rationally justified as competitive MTB in-

volves repeated dynamic efforts at an intensity above P_{max} [35].

It is interesting to note the increase in CK and Mb in group E2 after the intervention was completed. Current evidence suggests that regular training should reduce susceptibility to muscle fatigue [26] and muscle tissue damage [36]. However, the differences between E1 and E2 suggest that the adaptive response to intensive training may be strongly influenced by previous high-volume endurance training background in well-trained cyclists. It may be surmised that if the training stimulus was insufficient, then the resistance to damage and also oxidative potential of muscle to short high-intensity exercise may not improve. Relatedly, the administration of intermittent sprint training to a group of untrained adults (twenty 10-s sprints performed three times per week for 5 weeks) led to enhanced Ca^{++} release compared with controls [37]. This release can result in the activation of calpain-3 leading to the proteolysis of cell constituents and eventual apoptosis [30,38] and also the activation of phospholipase A_2 which affects cell membrane integrity [38]. Hence, the detrimental effects of phospholipase A_2 and Ca^{2+} overload due to high-intensity exercise [38] may explain the CK and Mb dynamics observed in group E2. It is important to note that while Ørtenblad et al. [37] did report improved sprint performance after 5 weeks of sprint training, they involved an untrained sedentary sample. In the present study, no change in work done was observed in group E2, suggesting that the applied intervention was not effective in the enhancement of exercise capacity during repeated sprint performance. When comparing E1 and E2 post-intervention outcomes, the results show that work done and VO_2 in the SITP is enhanced when previous training status involves high-volume training at moderate intensity and that the application of such a training regime appears to also reduce the post-exertion effects of CK and Mb during high-intensity exercise.

5. Conclusions

The concomitant execution of SIT, HIIT, and CET is beneficial in the development of VO_2max regardless of previous training background. However, the findings suggest that an increase in VO_2 and work done in repeated sprint exercise is possible if a training intervention of SIT, HIIT, and CET be preceded by aerobic training of high-volume moderate-intensity. Such high-volume moderate-intensity training may induce

beneficial training adaptations (evidenced via reduced SITP-based CK and Mb levels) that reduce structural damage within the muscle fiber thereby allowing a greater amount of work done during intense exercise. These findings may aid the coach in explicitly determining training load over a long-term (several-month or several-year) perspective. This is particularly useful in the planning of training at high-volume to prepare MTB cyclists for later training at high-intensity, with the goal of increasing power output during maximal efforts and therefore improving competitive performance.

5.1. Study limitations

The findings of the study require careful interpretation due to certain intrinsic limitations. The relatively small sample size and underlying distribution of the data required the use of non-parametric methods to compare individual sets and pre- and post-intervention. Non-parametric tests, particularly with small samples, lack the statistical power of their parametric equivalents and limit inference on the magnitude of the studied training effects. However, these limitations are difficult to overcome due to the difficulties in recruiting and retaining high-performance athletes that can execute the training intervention and highly demanding exercise tests.

Conflict of interest

The authors report no conflicts of interest associated with this manuscript.

References

- [1] Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med.* 2013; 43(5): 313-338. doi: 10.1007/s40279-013-0029-x.
- [2] Laursen PB, Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training. Optimizing training programmes and maximizing performance in highly trained endurance athletes. *Sports Med.* 2002; 32(1): 53-73. doi: 10.1249/01.MSS.0000036691.95035.7D.
- [3] Sloth M, Sloth D, Overgaard K, Dalgas U. Effects of sprint interval training on VO₂max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports.* 2013; 23(6): 341-352. doi: 10.1111/sms.12092.
- [4] Burgomaster KA, Heigenhauser GJ, Gibala MJ. Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *J Appl Physiol.* 2006; 100(6): 2041-2047. doi: 10.1152/jappphysiol.01220.2005.
- [5] Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol.* 2006; 575(3): 901-911. doi: 10.1113/jphysiol.2006.112094.
- [6] Rønnestad BR, Hansen J, Vegge G, Tønnessen E, Slettaløkken G. Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists – an effort-matched approach. *Scand J Med Sci Sports.* 2015; 25: 143-151. doi: 10.1111/sms.12165.
- [7] Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 2002; 34(11): 1801-1807. doi: 10.1249/01.MSS.0000036691.95035.7D.
- [8] Stepto NK, Hawley JA, Dennis SC, Hopkins WG. Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1999; 31(5): 736-741.
- [9] Inoue A, Impellizzeri FM, Pires FO, Pompeu FA, Deslandes AC, Santos TM. Effects of sprint versus high-intensity aerobic interval training on cross-country mountain biking performance: a randomized controlled trial. *PLOS One.* 2016; 11(1). doi: 10.1371/journal.pone.0145298.
- [10] Hebisz P, Hebisz R, Zaton M, Ochamann B, Mielnik N. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol.* 2016; 116(8): 1495-1502. doi: 10.1007/s00421-016-3405-z.
- [11] Colakoglu M, Ozkaya O, Balci GA, Yapicioglu B. Shorter intervals at peak SV vs. VO₂max may yield high SV with less physiological stress. *Eur J Sport Sci.* 2015; 15(7): 623-630. doi: 10.1080/17461391.2014.966762.
- [12] Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners?: empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med.* 2006; 36(2): 117-132.
- [13] Gist NH, Fedeva MV, Dishman RK, Cureton KJ. Sprint interval training effects on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2014; 44: 269-279. doi: 10.1007/s40279-013-0115-0.
- [14] Bayati M, Farzad B, Gharakhanlou R, Agha-Alinejad H. A practical model of low-volume high-intensity interval training induces performance and metabolic adaptations that resemble ‘all-out’ sprint interval training. *J Sports Sci Med.* 2011; 10(3): 571-576.
- [15] Metcalfe RS, Babraj JA, Fawcner SG, Vollaard NB. Towards the minimal amount of exercise for improving metabolic health: beneficial effects of reduced-exertion high-intensity interval training. *Eur J Appl Physiol.* 2012; 112(7): 2767-2775. doi: 10.1007/s00421-011-2254-z.
- [16] Trilk JL, Singhal A, Bigelman KA, Cureton KJ. Effect of sprint interval training on circulatory function during exercise in sedentary, ever weight/obese women. *Eur J Appl Physiol.* 2011; 111(8): 1591-1597. doi: 10.1007/s00421-010-1777-z.
- [17] Creer AR, Ricard MD, Conlee RK, Hoyt GL, Parcell AC. Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *Int J Sports Med.* 2004; 25(2): 92-98. doi: 10.1055/s-2004-819945.
- [18] Nalcaçan GR. The effects of sprint interval vs. continuous endurance training on physiological and metabolic adaptations in young healthy adults. *Journal of Human Kinetics.* 2014; 30(44): 97-109.
- [19] Niemelä M, Juvonen J, Kangastupa P, Niemelä O, Juvonen

- 560 T. Clinical and laboratory responses of cross-country skiing
561 for a 24-H world record: case report. *J Sports Sci Med.* 2015;
562 14(4): 702-707.
- 563 [20] Banfi G, Colombini A, Lombardi G, Lubkowska A. Metabolic
564 markers in sports medicine. *Advances in Clinical Chemistry.*
565 2012; 56: 1-54.
- 566 [21] Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. Biochemical markers of
567 muscular damage. *Clin Chem Lab Med.* 2010; 48(6): 757-
568 767. doi: 10.1515/CCLM.2010.179.
- 569 [22] Noakes TD. Effect of exercise on serum enzyme activities in
570 humans. *Sports Med.* 1987; 4(4): 245-267.
- 571 [23] Newham DJ, Jones DA, Edwards RH. Plasma creatine kinase
572 changes after eccentric and concentric contractions. *Muscle*
573 *Nerve.* 1986; 9(1): 59-63.
- 574 [24] Lyakh V, Mikolajec K, Bujas P, Litkowycz R. Review of
575 Platonov's "Sports training periodization. General theory and
576 its practical application" – Kiev: olympic literature. *J Hum*
577 *Kinet.* 2014; 44: 259-263. doi: 10.2478/hukin-2014-0131.
- 578 [25] Abbiss CR, Laursen PB. Models to explain fatigue during pro-
579 long endurance cycling. *Sports Med.* 2005; 35(10): 865-898.
- 580 [26] Bogdanis GC. Effects of physical activity and inactivity
581 on muscle fatigue. *Front Physiol.* 2012; 3(142): 1-15. doi:
582 10.3389/fphys.2012.00142.
- 583 [27] Coffey VG, Hawley JA. The molecular bases of training adap-
584 tation. *Sports Med.* 2007; 37(9): 737-763.
- 585 [28] Perrey S, Betik A, Candau R, Rouillon JD, Hughson RL.
586 Comparison of oxygen uptake kinetics during concentric and
587 eccentric cycle exercise. *J Appl Physiol.* 2001; 91(5): 2135-
588 2142.
- 589 [29] Vissing K, Overgaard K, Nedergaard A, Fredsted A, Schjer-
590 ling P. Effects of concentric and repeated eccentric exercise
591 on muscle damage and calpain-calpastat in gene expression
592 in human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol.* 2008; 103(3):
593 323-332. doi: 10.1007/s00421-008-0709-7.
- [30] Murphy RM, Goodman CA, McKenna MJ, Bennie J, Leikis
594 M, Lamb GD. Calpain-3 is autolyzed and hence activated in
595 human skeletal muscle 24h following a single bout of ec-
596 centric exercise. *J Appl Physiol.* 2007; 103: 926-931. doi:
597 10.1152/jappphysiol.01422.2006.
- [31] Murphy RM, Snow RJ, Lamb GD. Mu-calpain and calpain-
598 3 are not autolyzed with exhaustive exercise in humans.
599 *Am J Physiol Cell Physiol.* 2006; 290(1): 116-122. doi:
600 10.1152/ajpcell.00291.2005.
- [32] Laughlin MH, Roseguini B. Mechanisms for exercise
601 training-induced increases in skeletal muscle blood flow ca-
602 pacity: differences with interval sprint training versus aerobic
603 endurance training. *J Physiol Pharmacol.* 2008; 7: 71-88.
- [33] Hebisz R, Hebisz P, Zatoń M, Michalik K. Peak oxy-
604 gen uptake in a sprint interval testing protocol vs. maxi-
605 mal oxygen uptake in an incremental testing protocol and
606 their relationship with cross-country mountain-biking perfor-
607 mance. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2017; 42(4): 371-376. doi:
608 10.1139/apnm-2016-0362.
- [34] Inoue A, SaFilho AS, Mello FC, Santos TM. Relationship
609 between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-
610 country performance. *J Strength Cond Res.* 2012; 26(6):
611 1589-1593. doi: 10.1519/JSC.0b013e318234eb89.
- [35] Impellizzeri FM, Marcora SM. The physiology of mountain
612 biking. *Sports Med.* 2007; 37(1): 59-71.
- [36] Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric ex-
613 ercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clin-
614 ical applications. *J Physiol.* 2001; 537(2): 333-345. doi:
615 10.1111/j.1469-7793.2001.00333.x.
- [37] Ørtenblad N, Lunde PK, Levin K, Andersen JL, Pedersen PK.
616 Enhanced sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ release following
617 intermittent sprint training. *Am J Physiol Regulatory Integra-*
618 *tive Comp Physiol.* 2000; 279(1): 152-160.
- [38] Gissel H. The role of Ca²⁺ in muscle cell damage. *Ann N Y*
619 *Acad Sci.* 2005; 1066: 166-180.
- 620
621
622
623
624
625
626
627
628



Article

The Effect of Polarized Training (SIT, HIIT, and ET) on Muscle Thickness and Anaerobic Power in Trained Cyclists

Paulina Hebisz * and Rafał Hebisz

Department of Physiology and Biochemistry, University School of Physical Education in Wrocław, 35 I.J. Paderewski Avenue, 51-612 Wrocław, Poland; rafalhebisz@poczta.fm

* Correspondence: paulinahebisz@interia.pl

Abstract: This study was undertaken to investigate the effect of two different concepts in a training program on muscle thickness and anaerobic power in trained cyclists. Twenty-six mountain bike cyclists participated in the study and were divided into an experimental group (E), which performed polarized training, comprising sprint interval training (SIT), high-intensity interval training (HIIT), and endurance training (ET), and a control group (C), which performed HIIT and ET. The experiment was conducted over the course of 9 weeks. Laboratory tests were performed immediately before and after the conducted experiment, including an ultrasound measurement of the quadriceps femoris muscle thickness and a sprint interval testing protocol (SITP). During the SITP, the cyclists performed 4 maximal repetitions, 30 s each, with a 90-s rest period between the repetitions. SITP was performed to measure maximal and mean anaerobic power. As a result of the applied training program, the muscle thickness decreased and the mean anaerobic power increased in the experimental group. By contrast, no significant changes were observed in the control group. In conclusion, a decrease in muscle thickness with a concomitant increase in mean anaerobic power resulting from the polarized training program is beneficial in mountain bike cycling.



Citation: Hebisz, P.; Hebisz, R. The Effect of Polarized Training (SIT, HIIT, and ET) on Muscle Thickness and Anaerobic Power in Trained Cyclists. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 6547. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126547>

Keywords: polarized training; sprint interval training; high intensity interval training; muscle thickness; anaerobic capacity; trained athletes

Academic Editor: Joseph Marino

Received: 17 May 2021

Accepted: 15 June 2021

Published: 18 June 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Athletes practicing endurance sports, such as cross-country running, cycling, and cross-country skiing, use different concepts in their training programs to improve athletic performance [1,2]. It has been proven that peak performance in endurance sports requires a high level of maximal oxygen uptake (VO_2max), a common measure of aerobic capacity [3–5]. However, in the abovementioned sports disciplines, the racing effort is characterized by variable intensity, repeatedly reaching the maximal level of intensity. Therefore, it is increasingly important to develop not only aerobic but also anaerobic capacity [6]. Anaerobic capacity is the ability to perform short maximal efforts to achieve maximal anaerobic power [7]. According to some authors, the development of maximal anaerobic power is accompanied by an increase in muscle thickness [8]. Significant increases in muscle thickness and mass in sports such as cycling, cross-country running, and cross-country skiing are not beneficial, as competitions usually take place in mountainous or hilly terrains. Sports performance is affected by body mass in conditions such as those [9,10]. In light of the above, the effectiveness of various training programs concepts in endurance sports characterized by variable intensity is assessed.

One training program concept is the use of high-volume, low-intensity endurance training (ET) [1,11]. During ET trainings, the intensity is below 65% of maximal aerobic power as well as below the lactate threshold [12]. Another training concept is to combine ET trainings with those performed at or slightly above lactate threshold training (TT), at an intensity of 65–80% of maximal aerobic power [1,11–14]. The next concept is to use

polarized training, which involves a combination of ET, TT, and interval training (IT) performed well above the lactate threshold and at intensities exceeding 80% of maximal aerobic power [1,11–14]. Two of the most common forms of IT are high-intensity interval training (HIIT) and sprint interval training (SIT), which differ in terms of the duration and intensity of repetitions, in addition to the duration of rest intervals between repetitions [15–17]. Typically, HIIT-type interval training is used in polarized training [1,18].

Due to the variable intensity of the racing effort, in the aforementioned sports disciplines, the concept of polarized training seems to be an optimal approach. This was supported by a study by Stöggl and Sperlich [1] conducted on endurance athletes, in which four training strategies were compared: (1) polarized training, (2) high-volume, low-intensity training, (3) threshold training, and (4) HIIT training, each used for 9 weeks. It was demonstrated that polarized training produces the best results in terms of developing peak oxygen uptake, peak power, and peak velocity and improves time to exhaustion during the ramp protocol [1]. Similarly, training cyclists showed greater improvements in peak power output, lactate threshold, and high-intensity exercise capacity [18], while recreational runners achieved improvement in 5-km performance and a greater increase in maximal oxygen uptake (VO_2max) [19] as a result of polarized training, compared to other training strategies.

The studies cited in the foregoing paragraph on polarized programs used HIIT-type interval training [1,18,19]. According to some, polarized training involving simultaneous use of two types of interval training, HIIT and SIT, is beneficial in the development of aerobic capacity, as indicated by significant increases in VO_2max and maximal aerobic power (APmax) in trained cyclists [17,20]. One may wonder what effect this combination of trainings would have on anaerobic capacity level and muscle thickness. The target intensity during HIIT is typically “near maximal”, or between 80% and 100% of APmax, with single periods of physical activity usually taking 4 min, while SIT protocols commonly include “all-out” efforts often taking 10–30 s [21,22]. SIT improves not only aerobic capacity indicators but also anaerobic capacity, as indicated by the increase in peak power and mean power during short maximal efforts [23,24]. Estes et al. [25] indicate that the use of interval training, in addition to the development of aerobic capacity, affects the increase in muscle mass and thickness of the vastus lateralis muscle among nonathletic adolescents. Naimo et al. [8] demonstrated an increase in peak and mean anaerobic power with a simultaneous increase in thigh muscle thickness under the influence of interval training among hockey players.

Having considered the foregoing, the aim of this study was to investigate whether in a group of trained cyclists, the use of polarized training, including two types of interval training, SIT and HIIT, as well as endurance training, affects the changes in quadriceps femoris muscle thickness, in addition to maximal and mean anaerobic power, measured during the sprint interval testing protocol (SITP).

2. Materials and Methods

2.1. Participants

The study involved twenty-six mountain bike cyclists (males). Each participant was characterized by at least three years of training experience in cycling. In addition, each participant declared the following with regard to the three-year period prior to entering the experiment: (1) training for at least 10 h per week (not including rest periods), (2) participating in a minimum of 15 cycling races per year, and (3) no regular (performed at least once every two weeks) trainings described as sprint interval training (SIT) below. The participants were randomly divided into two groups: control (C, $n = 12$) and experimental (E, $n = 14$). The characteristics of the groups are shown in Table 1.

Table 1. Characteristics of the cyclist groups studied.

Group	VO ₂ max [mL ⁻¹ ·min ⁻¹ ·kg]	APmax [W]	Age [years]	Body Mass [kg]	Body Height [cm]
Pre-Experiment					
E	62.3 ± 6.4	380.8 ± 50.0	21.7 ± 7.7	69.6 ± 8.1	179.1 ± 6.2
C	59.6 ± 8.4	369.6 ± 29.2	20.5 ± 5.5	70.2 ± 8.9	177.5 ± 6.1
Post-Experiment					
E	66.3 ± 5.6 *	398.3 ± 37.8 *	21.7 ± 7.7	69.9 ± 7.6	179.1 ± 6.2
C	61.2 ± 10.1	373.8 ± 29.1	20.5 ± 5.5	69.4 ± 9.1	177.5 ± 6.1

E—experimental group; C—control group; VO₂max—maximal oxygen uptake measured during the incremental testing protocol; APmax—maximal aerobic power measured during the incremental testing protocol; *— $p < 0.05$ —significant difference between pre- and post-experiment value; data are presented as mean ± standard deviation.

The study design was approved by the Ethics Committee of the University School of Physical Education (Consent number: 39/2019) and carried out in accordance with the Declaration of Helsinki. Written informed consent was obtained from the participants and their guardians after the study details, procedures, benefits, and risks were explained.

2.2. Course of the Experiment

Prior to the start of the experiment (the course of which is shown in Figure 1), each participant reduced their training volume to 2 sessions per week for a period of 6 weeks. During this period, cyclists were not involved in physical activities at intensities exceeding 70% maximal heart rate (HRmax). The experiment lasted 9 weeks and was conducted during the preparatory period. During the experiment, group E cyclists performed:

- twice a week, sprint interval training (SIT), which consisted of 12–16 repetitions at maximal intensity, taking 30 s. The activity periods were divided into sets, and 4 repetitions were performed in each set. A low-intensity active rest of 90 s was used between repetitions, during which the power did not exceed 50 W. A 25-min active rest was used between sets, during which the first 2 min were performed at an intensity of 20% APmax, the next 20 min at approximately 50% APmax, and the last 3 min at 20% APmax. The course of the SIT is shown in Figure 2.
- once a week, high intensity interval training (HIIT), which included several (5–7) 5-min activity periods at an intensity of 85–95% APmax, interspersed with a 12-min activity at 50% APmax.
- twice a week, endurance training (ET), performed at an intensity of 55–60% APmax, for a total of 120–180 min.

As a part of the experiment, group C cyclists performed:

- twice a week, HIIT training (trainings were performed as described above, the same as in group E).
- three times per week, ET training (trainings were performed as described above, the same as in group E).

Two days per week were dedicated to active or passive recreation in each group. The total weekly training volume was 10–13 h for each participant in the experiment and did not differ significantly between the groups. In the fifth week of the experiment, a recovery cycle was applied, featuring 50% less total training volume in both groups (5–6.5 h), with no change in training methods or intensity.

During training, power output was monitored using a PowerTap G3 ANT+ and GS ANT+ system (PowerTap, Madison, WI, USA), whereas heart rate (HR) was monitored using a Garmin Edge 520 and Edge 810 system (Garmin Ltd., Olathe, KS, USA).

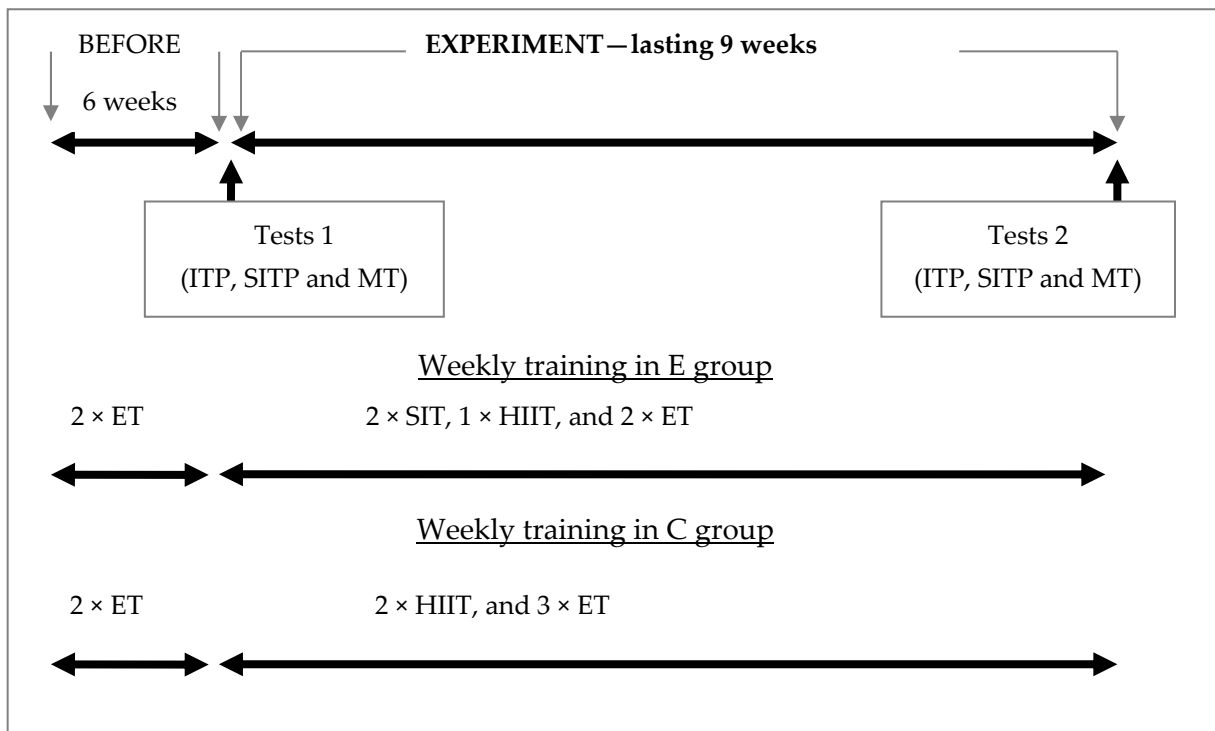


Figure 1. Scheme of the experiment (ITP—incremental testing protocol; SITP—sprint interval testing protocol; MT—muscle thickness measurements; E—experimental group; C—control group; ET—endurance training; SIT—sprint interval training; HIIT—high intensity interval training).

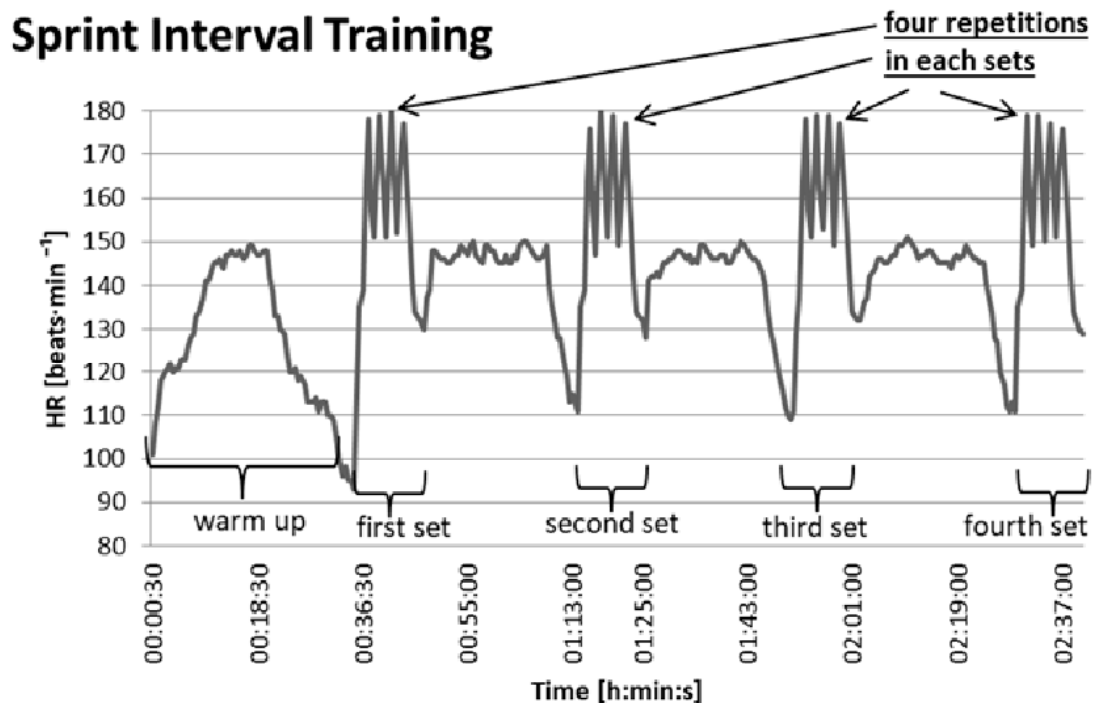


Figure 2. Diagram representing the sprint interval training with the heart rate (HR) of one of the participants.

2.3. Study Procedures

Laboratory testing was performed immediately before and after the experiment, which included an incremental testing protocol (ITP), ultrasound measurement of quadriceps femoris muscle thickness, and performing the sprint interval testing protocol. During the

24 h that preceded the exercise tests, the participants did not perform any training. All the foregoing tests and measurements were performed in controlled laboratory conditions (temperature and humidity controlled) at the Exercise Laboratory of the University School of Physical Education (PN-EN ISO 9001:2001 certified).

2.3.1. Incremental Testing Protocol (ITP)

The test was performed on a Lode Excalibur Sport cycle-ergometer (Lode BV, Groningen, The Netherlands), which was calibrated before the tests. The physical activity started with a load of 50 W, and every 3 min the load was increased by 50 W, until the participant refused to continue. If a participant was unable to complete an entire 3 min stage, 0.28 W per second missed was subtracted from the work rate at that stage. The highest power output determined in the ITP was taken to be the measure of maximal aerobic power (AP_{max}).

Respiratory function was measured during the test. The cyclist wore a mask connected to a Quark gas analyzer (Cosmed, Milan, Italy). The gas analyzer was calibrated before use with a reference gas mixture of carbon dioxide—5%, oxygen—16%, and nitrogen—79%. Respiratory parameters were measured in each recorded breath (breath-by-breath) and then averaged over 30-s intervals. The maximal oxygen uptake (VO₂max) was determined from the recorded data.

2.3.2. Sprint Interval Testing Protocol (SITP)

The test was also performed on a Lode Excalibur Sport cycle-ergometer, which was calibrated before the tests. The test was preceded by a 20-min warm-up, during which the participant exercised at an intensity of 40% AP_{max} (as determined by the ITP) for 5 min, and then at 60% AP_{max} for 15 min. A low-intensity active rest of 10 min was used after the warm-up. This was followed by 4 maximal repetitions—30 s each, during which the participant was supposed to achieve as much power as possible in the shortest time and maintain it for as long as possible. An active rest period of 90 s was used between the repetitions, during which the participant pedaled at 30 W.

The power was measured during each repetition. Maximal and mean anaerobic power measured during the best repetition (P_{max} and P_{mean1}) and mean anaerobic power determined from all four repetitions (P_{mean4}) were used in the data analysis.

2.3.3. Muscle Thickness Measurements (MT)

Prior to the sprint interval testing protocol, participants' quadriceps femoris muscle thickness and body mass were measured using a BodyMetrix™ System ultrasound device (Hosand Technologies, Verbania, Italy) with an A-mode probe at 2.5 MHz. This device was validated for tissue thickness measurements by Ribeiro et al. [26]. A layer of ultrasound gel was applied to the participant's skin surface before measurement. The right and left quadriceps femoris muscle thickness was measured after ultrasound imaging, along the course of the rectus femoris muscle. The measurement was done in a standing position. The total thickness of the muscle layer along the measurement taken was used in the data analysis, comprising the rectus femoris layer and the vastus intermedius layer. The site where the muscle thickness was the largest was used for analysis; the result was recorded in millimeters. The same person performed the measurement both before and after the experiment in all participants.

Additional measurements were taken to assess the reliability of the quadriceps femoris muscle thickness measurement procedure used. A randomly selected twenty-nine students (age: 21.3 ± 0.6 [years]; body mass: 70.3 ± 9.8 [kg]; body height: 176.6 ± 8.9 [cm]) of the University School of Physical Education participated in the measurements. The right and left quadriceps femoris muscle thickness was measured twice in each of the students. The measurement was performed as described above using the same a BodyMetrix™ System ultrasound device. (Hosand Technologies, Verbania, Italy). In the group of students, the measurement was made by the same person who performed the measurement among the cyclists.

2.4. Statistical Analysis

Statistica 13.1 software was used for statistical calculations. Arithmetic mean and standard deviation were calculated. Analysis of variance with repeated measures and Scheffe's post hoc test were used to determine whether there were statistically significant differences in the parameters evaluated between groups E and C, as well as between tests performed before and after the experiment. The $p < 0.05$ level was taken as statistically significant.

In order to assess the reliability of the muscle thickness measurement, the Cronbach's alpha coefficient (α) was calculated. Then, the value of standard error measurement (SEM) was calculated based on the following formula:

$$SEM = SD \cdot \sqrt{1 - \alpha} \quad (1)$$

3. Results

Analysis of variance demonstrated statistically significant main effects for interactions between groups and repeated measures in terms of the right quadriceps femoris muscle thickness ($F = 8.68$; $p = 0.007$; $\eta^2 = 0.27$), left quadriceps femoris muscle thickness ($F = 14.80$; $p = 0.000$; $\eta^2 = 0.38$), mean anaerobic power determined from all four repetitions (P_{mean4}) of the sprint interval testing protocol ($F = 8.67$; $p = 0.007$; $\eta^2 = 0.27$) (Table 2), maximal oxygen uptake ($F = 8.30$; $p = 0.008$; $\eta^2 = 0.27$), and maximal aerobic power ($F = 6.69$; $p = 0.017$; $\eta^2 = 0.23$) (Table 1). Based on post hoc tests, the thickness of the right and left quadriceps femoris muscles decreased statistically significantly in the E group. In addition, P_{mean4} increased significantly in the E group. In contrast, no significant changes in muscle thickness or anaerobic power values were observed in the C group (Table 2). Maximal oxygen uptake and maximal aerobic power increased significantly only in the E group (Table 1).

Table 2. Pre- and post-experiment muscle thickness and anaerobic power measures.

	Pre-Experiment		Post-Experiment			
	Mean \pm SD	95% CI Lower Upper		Mean \pm SD	95% CI Lower Upper	
Experimental group						
MT-r (mm)	54.14 \pm 5.4	51.02	57.26	50.28 \pm 6.03 *	46.8	53.76
MT-l (mm)	50.5 \pm 6.34	46.83	54.16	46.14 \pm 6.06 *	42.64	49.64
BM (kg)	69.67 \pm 8.07	65.01	74.33	70.21 \pm 8.37	65.37	75.05
P_{max} (W)	1216.2 \pm 253.7	1069.7	1362.7	1220.3 \pm 239.2	1082.17	1358.42
P_{mean1} (W)	726.3 \pm 86.39	676.41	776.18	736.0 \pm 101.7	677.29	794.76
P_{mean4} (W)	626.41 \pm 75.54	582.79	670.03	648.69 \pm 78.7 *	603.24	694.13
Control group						
MT-r (mm)	49.0 \pm 5.25	45.66	52.34	50.58 \pm 5.96	46.79	54.37
MT-l (mm)	46.08 \pm 6.12	42.19	49.97	48.33 \pm 6.52	44.18	52.48
BM (kg)	70.25 \pm 8.91	64.58	75.91	69.75 \pm 8.65	64.25	75.25
P_{max} (W)	1301.8 \pm 235.8	1151.9	1451.7	1271.9 \pm 230.0	1125.83	1418.13
P_{mean1} (W)	721.82 \pm 77.17	672.79	770.85	719.02 \pm 94.26	659.13	778.92
P_{mean4} (W)	610.19 \pm 61.57	571.06	649.31	619.25 \pm 50.84	586.94	651.55

MT-r—right quadriceps femoris muscle thickness; MT-l—left quadriceps femoris muscle thickness; BM—body mass; P_{max} —maximal anaerobic power reached during SITP; P_{mean1} —mean anaerobic power reached during the repetition with the highest P_{max} ; P_{mean4} —mean anaerobic power calculated from performing all four repetitions during SITP; *— $p < 0.05$ —significant difference between pre- and post-experiment value.

An additional measurement of the reliability of the procedure among students showed that α for the left and right quadriceps femoris muscle thickness was 0.995 and 0.994, respectively. In turn, the SEM for the left and right quadriceps femoris muscle thickness was 0.507 mm and 0.542 mm, respectively.

4. Discussion

In the presented study, it was shown that in a group of trained cyclists, under the influence of applying polarized training, including endurance training and two types of interval training, SIT and HIIT, the quadriceps femoris muscle thickness decreased. Concurrently,

there was an increase in mean anaerobic power determined from four repetitions performed during the sprint interval testing protocol, while the value of maximal anaerobic power did not change. These results may complement previous studies that described the beneficial effects of polarized training on aerobic capacity levels in endurance athletes [17,20,27]. As in the presented study, among cyclists of the experimental group, an increase in the maximal oxygen uptake and maximal aerobic power was additionally observed.

The decrease in the quadriceps femoris muscle thickness in the presented study is a different effect compared to the results of studies published in other scientific articles. Numerous authors conclude that undertaking regular strength [28–31], endurance [32,33], and interval [25] physical activity increases muscle thickness. An increase in muscle thickness has also been observed as a result of training programs involving strength training and endurance training [30,31,33], as well as programs comprising strength training and interval training [25,34]. The study participants in the foregoing articles were nontraining individuals. In contrast, the study described in this manuscript involved cyclists who systematically trained prior to the experiment. In view of this, the initial level of physical activity can be considered to be a factor explaining the differences between the findings of the present study and those of the authors cited above.

Among endurance athletes, the implementation of strength training may be a stimulus to provoke an increase in muscle thickness [35]. The implementation of SIT-type training among trained hockey players had a similar effect [8]. Nevertheless, several authors have argued that the use of training programs created using strength training and endurance training does not lead to an increase in muscle thickness among athletes [36–38]. Strength training was not performed in our experiment, yet it did include SIT along with HIIT and endurance training, similar to the study by Naimo et al. [8]. In our experiment, performing endurance training may have been a factor that inhibited the development of muscle thickness that we expected to result from intensive SIT training among mountain bike cyclists. Moreover, in our experiment, we observed a decrease in the thickness of the right and left quadriceps femoris muscles in the E group, which was a surprising effect. It is possible that differences in the effects of the experiment described in this manuscript and the experiment by Naimo et al. [8] may also result from a different SIT training protocol. Our study involved maximal repetitions taking 30 s each. Naimo et al. [8] also used maximal repetitions lasting 10–30 s. The most important difference concerned the rest periods separating the repetitions. In our study, we used an active rest of 90 s between maximal sprints, whereas the rest period in the study by Naimo et al. [8] was 4 min. Campos et al. [39] showed that using a short rest period between repetitions, which does not enable optimal rest, and performing a high number of repetitions during strength training do not affect changes in muscle thickness. The opposite effect, i.e., an increase in muscle thickness, was obtained in strength training with long rest intervals and low repetition numbers [39]. Other studies (on animals) have shown that the use of intervals during resistance training [40] or interval training [41] that do not facilitate optimal rest between repetitions results in muscle thickness reduction (muscle atrophy). This is because the application of a short rest period resulted in an increased expression of proteins with a catabolic function and a decrease in expression of proteins with an anabolic function [40].

In the presented study, it was impossible to explain the mechanisms of the observed muscle atrophy because no muscle biopsy was performed. Anoveros-Barrera et al. [42] indicated that muscle biopsy allows the assessment of muscle for morphological, cellular, and biochemical features. Biopsy can be assessed for the expression of genes and their involvement in catabolic and anabolic pathways of muscle, which were mentioned above [40,42]. According to some authors, the changes in muscle thickness may be the result of the change in the angle between the longitudinal axis of the entire muscle and its fibers, defined as the pennation angle [43,44]. The muscle hypertrophy and greater muscle tone involve an increase in fiber pennation angles, while a greater value of the fiber pennation angles results in a decrease in muscle strength [44]. In the presented study, muscle strength was not assessed, but the maximal anaerobic power was measured, which

did not change. Therefore, most likely the pennation angle did not change either. However, the degree of fiber pennation angles can be detected by ultrasonic investigation from the image of a B-mode ultrasonogram, which we did not perform. The lack of muscle biopsy and measurement of fiber pennation angles in the present study is a limitation and indicates a direction for further detailed research.

The foregoing changes in the muscle thickness may be important in sports competitions, as numerous authors report that athletic performance in mountain bike cycling is correlated with power at metabolic thresholds [9], as well as maximal power of incremental tests [10] expressed in $W \cdot kg^{-1}$. Furthermore, Bejder et al. [45] and Inoue et al. [46] demonstrated that mean power (expressed in $W \cdot kg^{-1}$) in a sprint interval training consisting of four sprints of 30 s each is strongly correlated with the athletic performance of mountain bike cyclists. The authors' previous original studies have shown that polarized training leads to an increase in maximal power in the incremental testing protocol [20,27]. The results of the present study proved an increase in mean power in a sprint interval testing protocol. The foregoing effects were obtained in the absence of significant changes in body mass. Having considered that, these effects can positively impact sport performance in mountain bike cycling, as they lead to improved power measured in $W \cdot kg^{-1}$.

5. Conclusions

As a result of the polarized training program, the quadriceps femoris muscle thickness decreased, accompanied by an increase in the mean anaerobic power of the sprint interval testing protocol. Such changes are beneficial to achieving good sport performance in mountain bike cycling.

Author Contributions: Conceptualization, P.H. and R.H.; methodology, P.H. and R.H.; investigation, P.H. and R.H.; data curation, P.H.; writing—original draft preparation, P.H. and R.H.; writing—review and editing, P.H. and R.H.; supervision, P.H.; funding acquisition, R.H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by the University School of Physical Education in Wrocław under grant number PN/BK/2020/07.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by Ethics Committee of the University School of Physical Education in Wrocław (protocol code: 39/2019; date of approval: 26 November 2019).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Stöggl, T.; Sperlich, B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front. Physiol.* **2014**, *5*, 33. [[CrossRef](#)]
2. Da Silva, K.A.; Lopes, J.A.; de Souza, E.G.; Stanganelli, L.C.R. Effect of a training macrocycle on physiological indicators, body composition, and explosiveness among recreational runners. *Hum. Mov.* **2020**, *21*, 49–56. [[CrossRef](#)]
3. Le Meur, Y.; Hausswirth, C.; Dorel, S.; Bignet, F.; Brisswalter, J.; Bernard, T. Influence of gender on pacing adopted by elite triathletes during a competition. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2009**, *106*, 535–545. [[CrossRef](#)]
4. Lucia, A.; Hoyos, J.; Chicharro, J.L. Physiology of professional road cycling. *Sports Med.* **2001**, *31*, 325–337. [[CrossRef](#)]
5. Bassett, D.R.; Howley, E.T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med. Sci. Sport Exer.* **2000**, *32*, 70–84. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Billat, L.V. Interval training for performance: A scientific and empirical practice. *Sports Med.* **2001**, *31*, 13–31. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Driss, T.; Vandewalle, H. The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: A critical review. *Biomed. Res. Int.* **2013**, 589361. [[CrossRef](#)]
8. Naimo, M.A.; de Souza, E.O.; Wilson, J.M.; Carpenter, A.L.; Gilchrist, P.; Lowery, R.P.; Averbuch, B.; White, T.M.; Joy, J. High-intensity interval training has positive effects on performance in ice hockey players. *Int. J. Sports Med.* **2015**, *36*, 61–66. [[CrossRef](#)]
9. Impellizzeri, F.M.; Marcora, S.M.; Rampinini, E.; Mogroni, P.; Sassi, A. Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *Br. J. Sports Med.* **2005**, *39*, 747–751. [[CrossRef](#)]
10. Impellizzeri, F.M.; Rampinini, E.; Sassi, A.; Mogroni, P.; Marcora, S. Physiological correlates to off-road cycling performance. *J. Sports Sci.* **2005**, *23*, 41–47. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

11. Kindermann, W.; Simon, G.; Keul, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1979**, *42*, 25–34. [[CrossRef](#)]
12. Seiler, S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2010**, *5*, 276–291. [[CrossRef](#)]
13. Seiler, K.S.; Kjerland, G.O. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an “optimal” distribution? *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2006**, *16*, 49–56. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Davis, H.A.; Bassett, J.; Hughes, P.; Gass, G.C. Anaerobic threshold and lactate turnpoint. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **1983**, *50*, 383–392. [[CrossRef](#)]
15. Gibala, M.J.; Gillen, J.B.; Percival, M.E. Physiological and health-related adaptations to low-volume interval training: Influences of nutrition and sex. *Sport Med.* **2014**, *44*, 127–137. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Rosenblat, M.A.; Perrotta, A.S.; Thomas, S.G. Effect of high-intensity interval training versus sprint interval training on time-trial performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* **2020**, *50*, 1145–1161. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
17. Hebisz, R.; Hebisz, P.; Danek, N.; Michalik, K.; Zatoń, M. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. *J. Strength Cond. Res.* **2020**. [[CrossRef](#)]
18. Neal, C.M.; Hunter, A.M.; Brennan, L.; O’Sullivan, A.; Lee Hamilton, D.; DeVito, G.; Galloway, S.D.R. Six weeks of a polarized training-intensity distribution leads to greater physiological and performance adaptations than a threshold model in trained cyclists. *J. Appl. Physiol.* **2013**, *114*, 461–471. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
19. Carnes, A.J.; Mahoney, S.E. Polarized vs. high intensity multimodal training in recreational runners. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2018**, *28*, 1–28. [[CrossRef](#)]
20. Hebisz, P.; Hebisz, R.; Zatoń, M.; Ochmann, B.; Mielnik, N. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2016**, *116*, 1495–1502. [[CrossRef](#)]
21. Naves, J.P.A.; Viana, R.B.; Rebelo, A.C.S.; de Lira, C.A.B.; Pimentel, G.D.; Lobo, P.C.; de Oliveira, J.C.; Ramirez-Campillo, R.; Gentil, P. Effects of high-intensity interval training vs. sprint interval training on anthropometric measures and cardiorespiratory fitness in healthy young women. *Front. Physiol.* **2018**, *9*, 1738. [[CrossRef](#)]
22. Danek, N.; Smolarek, M.; Michalik, K.; Zatoń, M. Comparison of acute responses to two different cycling sprint interval exercise protocols with different recovery durations. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 1026. [[CrossRef](#)]
23. Koral, J.; Oranchuk, D.J.; Herrera, R.; Millet, G.Y. Six sessions of sprint interval training improves running performance in trained athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2018**, *32*, 617–623. [[CrossRef](#)]
24. Macinnis, M.J.; Gibala, M.J. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *J. Physiol.* **2017**, *595*, 2915–2930. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Estes, R.R.; Malinowski, A.; Piacentini, M.; Thrush, D.; Salley, E.; Losey, C.; Hayes, E. The effect of high intensity interval run training on cross-sectional area of the vastus lateralis in untrained college students. *Int. J. Exerc. Sci.* **2017**, *10*, 137–145.
26. Ribeiro, G.; de Aguiar, R.A.; Penteado, R.; Lisbôa, F.D.; Raimundo, J.A.G.; Loch, T.; Meira, Â.; Turnes, T.; Caputo, F. A-mode ultrasound reliability in fat and muscle thickness measurement. *J. Strength Cond. Res.* **2020**. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Hebisz, R.; Hebisz, P.; Borkowski, J.; Zatoń, M. Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise-induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds. *Isokinet. Exerc. Sci.* **2019**, *27*, 21–29. [[CrossRef](#)]
28. Hudelmaier, M.; Wirth, W.; Himmer, M.; Ring-Dimitriou, S.; Sanger, A.; Eckstein, F. Effect of exercise intervention on thigh muscle volume and anatomical cross-sectional areas—quantitative assessment using MRI. *Magn. Reson. Med.* **2010**, *64*, 1713–1720. [[CrossRef](#)]
29. Roth, S.M.; Ivey, F.M.; Martel, G.F.; Lemmer, J.T.; Hurlbut, D.E.; Siegel, E.L.; Metter, E.J.; Fleg, J.L.; Fozard, J.L.; Kostek, M.C.; et al. Muscle size responses to strength training in young and older men and women. *J. Am. Geriatr. Soc.* **2001**, *49*, 1428–1433. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
30. Häkkinen, K.; Alen, M.; Kraemer, W.J.; Gorostiaga, E.; Izquierdo, M.; Rusko, H.; Mikkola, J.; Häkkinen, A.; Valkeinen, H.; Kaarakainen, E.; et al. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Clin. Trial. Eur. J. Appl. Physiol.* **2003**, *89*, 42–52. [[CrossRef](#)]
31. Putman, C.T.; Xu, X.; Gillies, E.; MacLean, I.M.; Bell, G.J. Effects of strength, endurance and combined training on myosin heavy chain content and fibre-type distribution in humans. *Clin. Trial. Eur. J. Appl. Physiol.* **2004**, *92*, 376–384. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
32. Harber, M.P.; Konopka, A.R.; Udem, M.K.; Hinkley, J.M.; Minchev, K.; Kaminsky, L.A.; Trappe, T.A.; Trappe, S. Aerobic exercise training induces skeletal muscle hypertrophy and age-dependent adaptations in myofiber function in young and older men. *J. Appl. Physiol.* **2012**, *113*, 1495–1504. [[CrossRef](#)]
33. Konopka, A.R.; Harber, M.P. Skeletal muscle hypertrophy after aerobic exercise training. *Exerc. Sport. Sci. Rev.* **2014**, *42*, 53–61. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Brown, E.C.; Hew-Butler, T.; Marks, C.R.C.; Butcher, S.J.; Choi, M.D. The impact of different high-intensity interval training protocols on body composition and physical fitness in healthy young adult females. *BioRes. Open Access* **2018**, *7*. [[CrossRef](#)]
35. Bazylar, C.D.; Abbott, H.A.; Bellon, C.R.; Taber, C.B.; Stone, M.H. Strength training for endurance athletes: Theory to practice. *Strength Cond. J.* **2015**, *37*, 1–12. [[CrossRef](#)]
36. Coffey, V.G.; Zhong, Z.; Shield, A.; Canny, B.J.; Chibalin, A.V.; Zierath, J.R.; Hawley, J.A. Early signaling responses to divergent exercise stimuli in skeletal muscle from well-trained humans. *FASEB J.* **2006**, *20*, 190–192. [[CrossRef](#)]

37. Losnegard, T.; Mikkelsen, K.; Ronnestad, B.R.; Hallen, J.; Rud, B.; Raastad, T. The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross country skiers. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2011**, *21*, 389–401. [[CrossRef](#)]
38. Murach, K.A.; Bagley, J.R. Skeletal muscle hypertrophy with concurrent exercise training: Contrary evidence for an interference effect. *Sports Med.* **2016**, *46*, 1029–1039. [[CrossRef](#)]
39. Campos, G.E.R.; Luecke, T.J.; Wendeln, H.K.; Toma, K.; Hagerman, F.C.; Murray, T.F.; Ragg, K.E.; Ratamess, N.A.; Kraemer, W.J.; Staron, R.S. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: Specificity of repetition maximum training zones. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2002**, *88*, 50–60. [[CrossRef](#)]
40. Souza, R.W.A.; Aguiar, A.F.; Vechetti-Júnior, I.J.; Piedade, W.P.; Campos, G.E.R.; Silva, M.D.P. Resistance training with excessive training load and insufficient recovery alters skeletal muscle mass-related protein expression. *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 2338–2345. [[CrossRef](#)]
41. Souza, R.W.A.; Aguiar, A.F.; Carani, F.R.; Campos, G.E.R.; Padovani, C.R.; Silva, M.D.P. High-intensity resistance training with insufficient recovery time between bouts induce atrophy and alterations in myosin heavy chain content in rat skeletal muscle. *Anat. Rec.* **2011**, *294*, 1393–1400. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
42. Anoveros-Barrera, A.; Bhullar, A.S.; Stretch, C.; Esfandiari, N.; Dunichand-Hoedl, A.R.; Martins, K.J.B.; Bigam, D.; Khadaroo, R.G.; McMullen, T.; Bathe, O.F.; et al. Clinical and biological characterization of skeletal muscle tissue biopsies of surgical cancer patients. *J. Cachexia Sarcopenia Muscle* **2019**, *10*, 1356–1377. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
43. Strasser, E.M.; Draskovits, T.; Praschak, M.; Quittan, M.; Graf, A. Association between ultrasound measurements of muscle thickness, pennation angle, echogenicity and skeletal muscle strength in the elderly. *Age* **2013**, *35*, 2377–2388. [[CrossRef](#)]
44. Kawakami, Y.; Abe, T.; Fukunaga, T. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *J. Appl. Physiol.* **1993**, *74*, 2740–2744. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. Bejder, J.; Bonne, T.C.; Nyberg, M.; Sjøberg, K.A.; Nordborg, N.B. Physiological determinants of elite mountain bike cross-country Olympic performance. *J. Sports Sci.* **2019**, *37*, 1154–1161. [[CrossRef](#)]
46. Inoue, A.; Sá Filho, A.S.; Mello, F.C.; Santos, T.M. Relationship between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-country performance. *J. Strength Cond. Res.* **2012**, *26*, 1589–1593. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]



Article

An Attempt to Predict Changes in Heart Rate Variability in the Training Intensification Process among Cyclists

Paulina Hebisz *, Rafał Hebisz and Agnieszka Jastrzębska

Department of Physiology and Biochemistry, University School of Physical Education in Wrocław, 35 I.J. Paderewski Avenue, 51-612 Wrocław, Poland; rafalhebisz@poczta.fm (R.H.); agnieszka.jastrzebska@awf.wroc.pl (A.J.)

* Correspondence: paulinahebisz@interia.pl

Abstract: Individual changes in resting heart rate variability (HRV) parameters were assessed in seven Polish cyclists during a training process consisting of: a six-week period (P1) of predominantly low- and moderate-intensity training (L-MIT) and a six-week period (P2) where the proportion of high-intensity interval training (HIT) increased. Daily recorded HRV parameters included high-frequency spectral power (HF), square root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals (RMSSD), and standard deviation of normal-to-normal RR intervals (SDNN). In each training microcycle, the average values of HF_{av} , $RMSSD_{av}$, and $SDNN_{av}$ were calculated individually for each participant. In three cyclists, HF was higher in P2 compared to P1, whereas in one cyclist, HF was higher in P1 than in P2. Each of these four cyclists presented an individual correlation between the average daily duration HIT effort in training microcycles (HIT_{av}) and HF_{av} . Cyclists with low baseline values of HRV parameters showed increased activity of the parasympathetic nervous system, while in the cyclist with high baseline values of HRV parameters, an opposite change was observed. In conclusion, changes in resting HRV parameters between period P1 and P2 can be individualised. In the investigated group, it was possible to predict how HRV would change as a result of training intensification on the basis of HRV baseline values.

Keywords: heart rate variability; high-intensity interval training; cardiorespiratory fitness



Citation: Hebisz, P.; Hebisz, R.; Jastrzębska, A. An Attempt to Predict Changes in Heart Rate Variability in the Training Intensification Process among Cyclists. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 7636. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147636>

Academic Editor: Paul B. Tchounwou

Received: 16 June 2021
Accepted: 14 July 2021
Published: 18 July 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Training intensification comprises changes in the intensity, duration, and frequency of training sessions in a training process lasting from several weeks to even several months [1]. According to Solli et al. [2], training intensification is a classic periodization model for endurance athletes. On the other hand, Smith [3] indicates that the training periodization is not only planning the distribution of training loads, but also planning the frequency of races, tests assessing the level of athletes' efficiency, and planning regeneration periods. Among endurance athletes, low- and moderate-intensity training (L-MIT) accounts for 80% of total training load, and 20% is high-intensity interval training (HIT) [1]. Training intensification consists in reducing the duration and frequency of L-MIT training sessions and increasing the duration and frequency of HIT training [1].

Literature distinguishes two variations of interval training, one involving exercise performed at maximal intensity (sprint interval training) with the other at high intensity above the lactate/ventilatory threshold or with an intensity at 95–125% maximal aerobic power [4–6]. The interval training protocol includes multiple repetitions of exercise, often lasting from a few seconds to several minutes, separated by recovery periods of varying duration [4–7]. However, the effects of training intensification on cardiorespiratory and performance changes are not clear.

According to some studies, training intensification is a process that positively influences the development of cardiorespiratory efficiency [4,8], as measured by the level of maximal oxygen uptake (VO_2max) [9]. On the other hand, studies on cross-country

skiers by Evertsen et al. [10] did not show any significant differences in physiological and performance changes between moderate-intensity and high-intensity training groups. Gaskill et al. [11], as a result of a two-year research project, describe athletes achieving improvements in physiological test results and race performances by implementing traditional training loads, with a predominance of L-MIT training, and a second group of athletes with no performance improvement resulting from a traditional approach. However, the application of training intensification in this group achieved the expected results. The above reports indicate that the issue of training intensification should be approached individually, as it is beneficial only for some athletes.

The effects of training intensification are assessed on the basis of physiological and performance changes [1,11]. Up to now, researchers have mainly been focused on adaptive changes to the training process in general, and thus individuals may be missed. The phenomena of individual reactions and adaptive changes dependent on specific training are known facts. Therefore, it seems reasonable to look for factors that could characterize individuals. This will allow one to more accurately predict the development of cardiorespiratory fitness in response to a several-week training intensification programme consisting of L-MIT and HIT efforts.

A popular method to evaluate cardiorespiratory fitness is an analysis of autonomic nervous system activity based on the records of resting [12–14] or restitution [15] sinus heart rate variability (HRV). A measurement of HRV is often used to assess training load [16] and post-exercise fatigue in athletes [17–19]. Moreover, changes in HRV parameters are analysed in relation to the level of aerobic capacity, as measured by the value of maximal oxygen uptake [9]. Ueno et al. [14] and Oliveira et al. [20] observed that obtaining high aerobic capacity was accompanied by an increase in HRV parameters identifying vagus nerve activation. Moreover, Botek et al. [21] found that maintaining high resting high-frequency spectral power (HF), total spectral power (T), and the square root of the mean squared difference between successive values of normal-to-normal RR intervals (RMSSD) in the training process allows for the effective development of aerobic capacity. Høydal [22] and Garber et al. [23] have shown that participants with a high $VO_2\max$ level struggle to achieve further improvement in $VO_2\max$ through training, as compared to individuals with a low $VO_2\max$ level. This raises the question of whether, among athletes with high values of HRV parameters, it will be more difficult to improve them in the training process because, as it has been shown, $VO_2\max$ correlates with HRV parameters [14,20]. Many athletes divide the training process into a period of predominant moderate-intensity efforts and a period of increased high-intensity efforts [2,24]. However, available literature lacks information on whether one can predict resting HRV changes in the training intensification process.

Therefore, the aim of this study was to evaluate individual changes in resting HRV parameters in cyclists during a training process wherein, after a period of predominant L-MIT training, the proportion of HIT training increased. It was assumed that, in cyclists characterised by low (as compared with other observed individuals) baseline resting HF and RMSSD, training intensification would result in relatively large changes in these parameters, while in cyclists with high (as compared with other participants) baseline resting HF and RMSSD, training intensification would result in relatively small changes in these parameters.

2. Materials and Methods

2.1. Participants

Seven Polish mountain-bike cyclists (four men: S1, S3, S5, S6; and three women: S2, S4, S7) participated in this study. Prior to the experiment, each cyclist had at least three years of training experience and had participated in cycling races at the national level. Based on the maximal oxygen uptake, six cyclists can be rated at aerobic fitness level, while the S3 cyclist, at an elite level, in accordance with the criteria proposed by Figueira et al. [25] and Joyner and Coyle [26]. Table 1 presents the physiological and anthropometric characteristics of the studied cyclists and their experience in practicing cycling.

Table 1. Individual characteristics of the study participants based on the incremental exercise test, HRV analyses performed before the experiment and competitive status.

Variables	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Age [year]	21	18	24	17	20	22	20
Body mass [kg]	75.4	55.8	73.2	49.3	62.2	70.9	54.7
Body height [m]	1.83	1.71	1.81	1.62	1.71	1.86	1.63
VO ₂ max [ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹]	66.6	58.1	77.0	58.0	62.4	68.7	60.4
Pmax ₁ [W·kg ⁻¹]	5.97	4.70	6.52	4.56	5.66	5.97	5.34
Pmax ₁ [W]	450	262	477	225	352	423	292
Pmax ₂ [W]	460	275	465	240	344	418	310
VT ₂₁ [W]	305	205	320	140	225	305	205
VT ₂₂ [W]	330	190	335	145	220	305	215
HF _b [ms ²]	546	689	1381	3922	3597	10,746	30,865
LF _b [ms ²]	137	890	3082	4060	2086	2526	5881
RMSSD _b [ms]	39	53.1	86.1	119.3	111	168.3	333.4
SDNN _b [ms]	27.9	43.2	72.3	93.1	81.1	133.7	207.7
RRNN _b [ms]	1006	1267	1537	1140	1318	1197	1398
Experience [y]	7	4	9	3	6	7	5

HRV—heart rate variability; S1—first participant of the study (a man cyclist); S2—second participant of the study (a woman cyclist); S3—third participant of the study (a man cyclist); S4—fourth participant of the study (a woman cyclist); S5—fifth participant of the study (a man cyclist); S6—sixth participant of the study (a man cyclist); S7—seventh participant of the study (a woman cyclist); VO₂max—maximal oxygen uptake; Pmax₁—maximal aerobic power measured before period P1; Pmax₂—maximal aerobic power measured before period P2; VT₂₁—power at the second ventilatory threshold measured before period P1; VT₂₂—power at the second ventilatory threshold measured before period P2; HF_b—high-frequency spectral power; LF_b—low-frequency spectral power; RMSSD_b—square root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals; SDNN_b—standard deviation of normal-to-normal RR intervals; RRNN_b—mean normal-to-normal RR intervals; _b—each HRV parameter was expressed as the average of measurements performed in the week preceding the commencement of the experiment; Experience—experience in practicing cycling and competitive status presented in years.

The study design was approved by the local Ethics Committee of the University School of Physical Education (Consent number: 39/2019), and all procedures were performed in accordance with the Declaration of Helsinki. Written informed consent was obtained from the participants and their legal guardians after the study details, procedures, risks, and benefits had been explained.

2.2. Experimental Design

The experiment was preceded by a 2-week period of weekly training loads reduced to 3 sessions of 45 min each with an intensity of 70–85% of the second ventilatory threshold (VT₂) power. The investigation consisted in observing the effects of the training process carried out for 12 weeks and was developed on the basis of the classic periodisation model [2,27]. The study was divided into 2 periods, each lasting 6 weeks. In the first period (P1), L-MIT trainings predominated. In the second period (P2), the number and duration of L-MIT trainings were reduced (as compared to the last week of P1), while the number and duration of HIT trainings were increased. In a few cases, the periods were shortened by several days as the participants presented with health problems. In the event of an infection, no extension of any period was allowed, owing to commitments to participate in competitions. In each case, data analysis was stopped 10 days before the first race of the competition period. A flowchart showing the course of the experiment is shown in Figure 1.

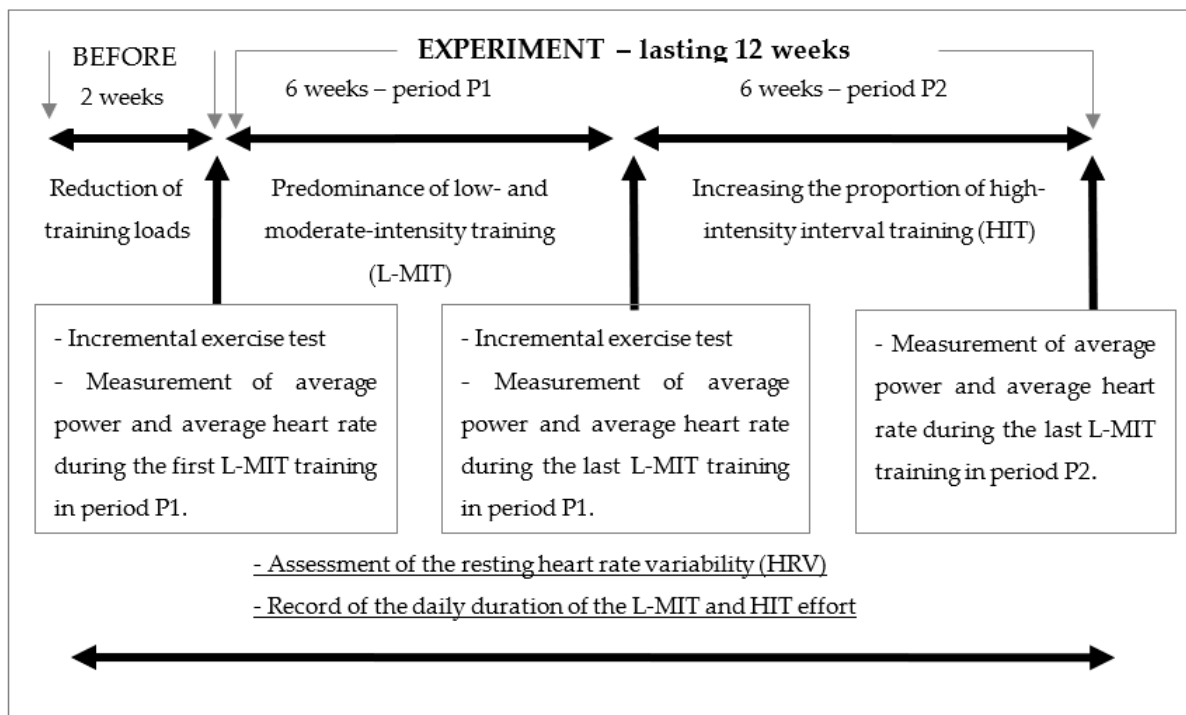


Figure 1. Flowchart of the study design.

In each training period, 4-day training microcycles were implemented. Each microcycle ended with a day of rest (4th day of the microcycle). In P1, the microcycles consisted of the following cycling trainings:

- L-MIT trainings at a level of 70–85% power measured at VT2 and at 65–75% of maximal heart rate (HRmax); their duration equalled 2–4 h (Training 1—T1);
- trainings with exercises requiring high pedalling frequency, at a heart rate of 65–75% HRmax—repeated efforts with a pedalling frequency increased by 15–25 RPM compared to the individually preferred rhythm (determined on the basis of constant-intensity training observations) (Training 2—T2);
- training sessions with repeated exercises of high intensity (above 150% of maximal aerobic power (Pmax), determined in the incremental exercise test) lasting 15–20 s (Training 3—T3);
- trainings consisting of resistance exercises (e.g., semi-squats) alternated with cycling exercises of high pedalling frequency (increased by 15–25 RPM compared to the individually preferred rhythm), at a heart rate of 65–75% HRmax (Training 4—T4).

Each microcycle included 2 L-MIT trainings and 1 training selected from among the others mentioned above. In P2, the following cycling trainings were implemented:

- L-MIT trainings at an intensity of 70–85% power measured at VT2 and at a heart rate of 65–75% HRmax; their duration equalled 2–3.5 h (Training 5—T5);
- HIT interval trainings involving repeated efforts at 130–160% Pmax lasting 25–50 s (Training 6—T6);
- HIT trainings comprised of repeated efforts at 105–120% Pmax lasting 1–2 min (Training 7—T7);
- HIT trainings consisting of repeated efforts at 90–100% Pmax lasting 3–6 min (Training 8—T8);
- trainings composed of resistance exercises (e.g., semi-squats) (Training 9—T9).

Each microcycle included 2 HIT trainings selected from among those mentioned above and 1 L-MIT training. In addition, in each period, L-MIT running trainings (at 60–70% maximum heart rate, determined in the incremental exercise test) and plyometric trainings

(based on jumping ability exercises) were implemented. In each period, it was possible to extend the training microcycle by 1 day, during which an additional L-MIT training was performed, provided that: (1) the participants evaluated their general feeling as good during the whole microcycle (the evaluation was made on the basis of a conversation with the cyclists and the assessment of the ability to perform the given training loads—when the cyclist reported that he/she could easily perform subsequent training sessions, his well-being was assessed as good); (2) the LF/HF ratio determined during the microcycle did not assume values exceeding the individual average value by more than 100% (such a criterion was adopted based on the observation of the LF/HF index values in the work with cyclists, the results of which are described in this manuscript—such a change usually resulted in a decrease in the ability to perform training sessions); (3) no decrease in power was observed during training compared with previous training microcycles. In each period, it was possible to shorten the training microcycle by 1 day, provided that: (1) the participants evaluated their general feeling as bad during the whole microcycle; (2) the LF/HF ratio determined during the microcycle assumed values exceeding the individual average value by more than 100%; (3) a decrease in power was observed during training compared with previous training microcycles.

During both training periods, it was assumed that the cyclists (performing L-MIT training) should try to keep the heart rate close to that recorded in the first L-MIT training performed during P1 and P2.

Information showing the workload of each cyclist is provided in Table 2.

Table 2. Individual load in cycling training.

Cycling Training		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
T1	t (min)	120–240	120–210	120–225	120–150	150–230	120–195	150–240
	P (W)	215–260	145–175	225–270	100–120	160–190	215–260	145–175
	Rep	1	1	1	1	1	1	1
T2	t (min)	10–20	10–15	10–15	5–10	10–15	10–15	10–20
	RPM	103–113	101–111	97–107	106–116	100–110	98–108	106–116
	P (W)	215–260	145–175	225–270	100–120	160–190	215–260	145–175
	Rep	2–5	2–4	2–5	1–4	2–5	2–5	2–5
T3	t (s)	15	15	15	15	15	15	15
	P (W)	≥675	≥393	≥715	≥337	≥528	≥634	≥438
	Rep	1–4	1–4	1–4	1–4	1–4	1–4	1–4
T4	t (min)	3	2	3	1.5	3	2	3
	RPM	103–113	101–111	97–107	106–116	100–110	98–108	106–116
	P (W)	290–320	190–220	305–335	125–155	210–240	290–320	190–220
	Rep	3–7	3–6	3–7	2–5	3–7	3–7	3–7
T5	t (min)	120–195	120–160	120–195	120–135	135–195	120–180	140–210
	P (W)	230–280	130–160	235–285	100–125	155–185	215–260	150–180
	Rep	1	1	1	1	1	1	1
T6	t (s)	40–50	30–40	40–50	25–30	40–50	40–50	40–50
	P (W)	600–650	380–420	605–655	355–385	450–500	540–590	400–440
	Rep	8–16	6–12	8–20	4–10	8–16	8–12	8–12
T7	t (s)	60–120	60–90	60–120	60–80	60–90	60–120	60–120
	P (W)	480–520	290–330	485–525	250–290	370–410	440–480	325–365
	Rep	5–10	3–7	5–8	3–6	4–8	3–7	5–10
T8	t (min)	4–6	3–4	4–6	3–3.5	4–6	3–5	5–6
	P (W)	410–450	250–275	415–455	215–240	310–345	375–415	280–310
	Rep	4–8	3–6	4–8	2–4	4–8	3–6	4–8

S1, S2, etc.—subsequent participants; T1, T2, etc.—subsequent types of cycling training; t—duration of training efforts; P—power achieved during training efforts; RPM—pedalling frequency for selected training efforts; Rep—the number of repetitions in one training session.

2.3. Exercise Test

Immediately before each training period, an incremental exercise test was performed on a Lode Excalibur Sport cycle ergometer (Lode BV, Groningen, the Netherlands), calibrated before commencement of the study. The test started with a 50 W load; every 3 min,

the load was increased by 35 and 50 W (for women and men, respectively) until refusal due to exhaustion. If the participant was unable to exercise for the entire 3 min at the last test load, 0.19 and 0.28 W (for women and men, respectively) was subtracted from the obtained final maximal power for each missed second [4,28,29]. In this way, P_{max} was calculated.

During the test, respiratory parameters were recorded. The subjects wore a mask connected to a Quark breathing gas analyser (Cosmed, Milan, Italy). The gas analyser was calibrated before the test, via connection with a gas cylinder containing a reference gas mixture consisting of carbon dioxide (5%), oxygen (16%), and nitrogen (79%). Respiratory parameters were measured breath by breath and then averaged in 30 s intervals. VO_{2max} was indicated on the basis of the recorded data, if the subject met at least two of the following three criteria: (1) 90% of age-predicted maximal heart rate (220—age); (2) respiratory exchange ratio >1.15; and (3) lactate concentration >10 mmol·l⁻¹ [30]. Arterialized capillary blood was drawn 3 min after the test's conclusion to assay lactate concentration by a Lactate Scout (SensLab, Leipzig, Germany). VT₂ was indicated with the method of Beaver et al. [31], at the point preceding the second non-linear increase in VE·VO₂⁻¹ or VE·VCO₂⁻¹ equivalent, and the power output at VT₂ was then determined.

The previous week, at the beginning of the study and throughout the experiment, the time interval between heartbeats (RR) was recorded with a V800 chest strap and heart rate monitor (Polar Electro Oy, Kempele, Finland). Each recording was performed on a daily basis for 10 min immediately after waking up, in a supine position. A 5-min segment starting with the 30th second of the recording was analysed. The days on which the athletes had an infection and the first training microcycle from restarting training after the infection were excluded from the analysis. For each recording, the following parameters were calculated: high-frequency spectral power (HF), low-frequency spectral power (LF), total spectral power (T), the square root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals (RMSSD), standard deviation of normal-to-normal RR intervals (SDNN), and the mean normal-to-normal RR intervals (RRNN). The calculations were performed with Kubios HRV Standard software (Kubios Oy, Kuopio, Finland) using the fast Fourier transformation. A low artifact correction threshold was used when performing the analysis.

In each training microcycle, the daily duration of L-MIT effort (performed with a power below VT₂) and the daily duration of HIT effort (performed with a power above 90% P_{max}) was recorded. These calculations included only cycling efforts. The remaining efforts were not considered in the data analysis.

For each participant, average power (P_{av}) and average heart rate (HR_{av}) were recorded during 60 min of cycling, immediately after a warm-up, in the L-MIT training implemented in the first microcycle of P1, in the last microcycle of P1 and in the last microcycle of P2. PowerTap P1 power meters (PowerTap, Madison, WI, USA) were used, the reliability and validity of which were determined by Wright et al. [32]. The data analysis was carried out via the flow.polar.com Internet platform, which is used to generate files with a record of heart rate [33,34]. This platform automatically calculated the average values of the parameters for the selected part of the training. The obtained data served to calculate the P_{av}/HR_{av} ratio.

2.4. Statistical Calculations and Analyses

Statistica 13.1 software (StatSoft Inc. Tulsa, OK, USA) was used for statistical calculations. The arithmetic mean and standard deviation values of all analysed HRV parameters, L-MIT effort duration, and HIT effort duration were established for P1 and P2 individually for each cyclist. Student's *t*-test served to individually analyse the probability of difference between P1 and P2 for the mean values of HRV parameters, L-MIT effort duration, and HIT effort duration. A level of probability below 0.05 was considered statistically significant. Based on the arithmetic mean and standard deviations values, Cohen's *D* values were calculated.

Average values of all analysed HRV parameters for the previous week at the beginning of the study (HF_b , LF_b , $RMSSD_b$, $SDNN_b$, $RRNN_b$) and average values of all analysed HRV parameters for each implemented training microcycle during experiment (HF_{av} , LF_{av} , $RMSSD_{av}$, $SDNN_{av}$, $RRNN_{av}$) were calculated individually for each cyclist. Moreover, the average daily L-MIT effort duration ($L-MIT_{av}$) and the average daily HIT effort duration (HIT_{av}) in each training microcycle were determined individually for each cyclist.

The Pearson correlation coefficient between the average values of each analysed HRV parameters in the microcycles (HF_{av} , LF_{av} , $RMSSD_{av}$, $SDNN_{av}$, $RRNN_{av}$) and average training loads in the microcycles ($L-MIT_{av}$, HIT_{av}) was indicated individually for each participant.

For the whole study group, Pearson correlation coefficient was calculated between the average values of each HRV parameter in the week preceding the experiment commencement (HF_b , LF_b , $RMSSD_b$, $SDNN_b$, $RRNN_b$) and the strength of the individual Pearson correlations between the average values of HRV parameters in the microcycles (HF_{av} , LF_{av} , $RMSSD_{av}$, $SDNN_{av}$, $RRNN_{av}$) and the average training loads in the microcycles ($L-MIT_{av}$, HIT_{av}). For each of the Pearson analyses, a probability level below 0.05 was considered statistically significant.

To assess changes in P_{av} and HR_{av} and P_{av}/HR_{av} ratio, a one-way analysis of variance with repeated measures and a post-hoc Scheffe test were performed. The probability level below 0.05 was considered statistically significant.

3. Results

HF differed between P1 and P2 only in the S1, S2, S3, and S7 cyclists. In the S1, S2, and S3 participants, HF was higher in P2, whereas in S7, HF was higher in P1. Moreover, in the S1 and S2 participants, RMSSD was higher in P2 than in P1. The S7 participant presented RMSSD and SDNN values higher in P1 than in P2. In individual cases, differences in LF, SDNN, and RRNN between P1 and P2 were also observed. In the S4 and S5 cyclists, no difference was noted in any HRV parameter between P1 and P2 (Table 3).

Table 3. Changes in the parameters of sinus heart rate variability and daily training loads in the first (P1) and second (P2) training period. Results presented as individual cases for S1–S7 participants and as the arithmetic mean value for the entire group of cyclists.

Participants	HF [ms ²]	LF [ms ²]	RMSSD [ms]	SDNN [ms]	RRNN [ms]	HIT [min]	L-MIT [min]
S1							
P1 (n = 31)	367.7 ±217.8	64.1 ±57.1	31.9 ±9.8	22.5 ±6.7	978.8 ±53.0	0.3 ±0.9	94.2 ±77.7
P2 (n = 30)	644.1 ±401.0 **	119.3 ±71.4 **	42.3 ±13.9 **	29.8 ±8.9 **	991.1 ±44.7	8.0 ±13.3 **	82.0 ±58.7
t	−3.36	−3.34	−3.37	−3.62	−0.98	−3.24	0.69
D	0.89	0.86	0.88	0.94	0.25	1.08	0.18
S2							
P1 (n = 35)	927.7 ±439.1	743.5 ±687.2	64.9 ±15.8	44.7 ±11.6	1315.6 ±81.1	0.1 ±0.3	81.7 ±71.2
P2 (n = 43)	1184.6 ±566.5 *	795.4 ±544.9	76.7 ±17.6 **	51.4 ±15.6 *	1457.6 ±108.8 **	6.0 ±9.1 **	79.2 ±68.0
t	−2.20	−0.37	−3.09	−2.11	−6.62	−3.81	−0.52
D	0.51	0.08	0.71	0.49	1.50	1.26	0.04
S3							
P1 (n = 43)	1023.8 ±524.3	1928.3 ±1048.5	76.6 ±16.3	60.4 ±13.1	1588.5 ±75.0	0.1 ±0.3	95.2 ±82.0
P2 (n = 40)	1522.1 ±816.5 **	2177.8 ±1723.2	81.0 ±13.4	64.9 ±14.1	1511.4 ±89.1 **	6.1 ±10.1 **	84.8 ±67.2
t	−3.33	−0.80	−1.33	−1.52	4.27	−3.97	0.63
D	0.74	0.18	0.30	0.33	0.94	1.15	0.14

Table 3. Cont.

Participants	HF [ms ²]	LF [ms ²]	RMSSD [ms]	SDNN [ms]	RRNN [ms]	HIT [min]	L-MIT [min]
S4							
P1 (n = 36)	4101.4 ±1733.2	2272.9 ±1146.8	106.7 ±25.8	81.8 ±16.2	1043.6 ±83.1	0.6 ±1.7	53.9 ±56.3
P2 (n = 39)	4476.8 ±2349.7	2398.5 ±1111.0	109.3 ±25.1	85.7 ±15.4	1027.2 ±72.8	3.3 ±4.8 **	46.5 ±50.0
<i>t</i>	−0.78	−0.48	−0.45	−1.05	0.91	−3.21	0.61
D	0.18	0.11	0.10	0.25	0.21	0.83	0.14
S5							
P1 (n = 42)	4330.1 ±1140.4	1719.9 ±789.5	122.4 ±14.6	85.1 ±9.6	1347.8 ±108.7	0.7 ±2.1	95.4 ±82.9
P2 (n = 35)	4699.2 ±1593.9	1997.4 ±1204.3	127.3 ±17.6	88.1 ±13.3	1339.7 ±85.5	8.51 ±12.9 **	71.1 ±60.3
<i>t</i>	−1.17	−1.20	−1.33	−1.11	0.35	−3.85	1.44
D	0.27	0.28	0.30	0.26	0.08	1.04	0.34
S6							
P1 (n = 34)	7568.7 ±4036.0	4012.3 ±3715.5	148.1 ±40.3	118.4 ±32.7	1277.0 ±106.1	0.1 ±0.3	84.7 ±78.9
P2 (n = 42)	6529.8 ±4667.4	2747.4 ±2800.9	130.3 ±46.9	101.3 ±35.5 *	1295.8 ±74.2	3.3 ±6.7 **	78.6 ±67.4
<i>t</i>	1.01	1.67	1.73	2.13	−0.90	−2.88	0.36
D	0.24	0.39	0.41	0.50	0.21	0.91	0.08
S7							
P1 (n = 43)	23,603.9 ±5928.9	6291.4 ±2258.2	317.2 ±41.6	193.1 ±19.4	1483.3 ±91.6	0.6 ±1.7	103.1 ±92.0
P2 (n = 35)	15,732.1 ±4225.4 **	4639.7 ±2137.8 **	264.2 ±40.1 **	161.6 ±21.4 **	1434.6 ±95.2 *	8.7 ±16.3 **	96.7 ±77.8
<i>t</i>	6.60	3.29	5.69	6.82	2.29	−3.26	0.33
D	1.55	0.75	1.30	1.54	0.52	0.90	0.08
Mean							
P1	6403.9 ±8471.5	2542.7 ±2637.1	129.5 ±93.6	89.7 ±55.8	1310.9 ±219.7	0.4 ±1.3	87.5 ±79.1
P2	4773.9 ±5352.5	2092.2 ±2062.3	116.9 ±68.8	82.2 ±42.3	1312.2 ±207.2	5.9 ±10.7	74.9 ±65.3

HF—high-frequency spectral power; LF—low-frequency spectral power; RMSSD—square root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals; SDNN—standard deviation of normal-to-normal RR intervals; RRNN—mean normal-to-normal RR intervals; HIT—daily duration of high-intensity training; L-MIT—daily duration of low- and moderate-intensity training; S1, S2, etc.—subsequent participants; P1—first training period; P2—second training period; *n*—number of heart rate variability records performed; *t*—Student’s *t*-test value; data is presented as mean ± standard deviation; D—the value of D-Cohen’s statistic; Mean—the value of the arithmetic mean ± standard deviation for the entire group of cyclists; * *p* < 0.05, significant difference between the P1 and P2 value; ** *p* < 0.01, significant difference between the P1 and P2 value.

The P_{av}/HR_{av} ratio increased in the last L-MIT training as compared to the first L-MIT training during P1 by more than $0.10 \text{ W}\cdot\text{BPM}^{-1}$ in the S1, S3, S5, and S6 cyclists. The P_{av}/HR_{av} ratio increased in the last L-MIT training of P2 as compared to the last L-MIT training of P1 by more than $0.10 \text{ W}\cdot\text{BPM}^{-1}$ in the S1, S2, S3, and S7 cyclists. The analysis of variance showed statistically significant main effects for the repeated measures P_{av} (7.73 ; $p = 0.007$; $\eta^2 = 0.56$) and P_{av}/HR_{av} ($F = 10.03$; $p = 0.002$; $\eta^2 = 0.63$) (Table 4).

Table 4. Power and heart rate during the investigated low- and moderate-intensity trainings.

Participants	Variables	First L-MIT in P1	Last L-MIT in P1	Last L-MIT in P2
S1	P_{av} [W]	212	232	275
	HR_{av} [BPM]	142	141	143
	P_{av}/HR_{av} [$\text{W}\cdot\text{BPM}^{-1}$]	1.49	1.65	1.92
S2	P_{av} [W]	152	155	175
	HR_{av} [BPM]	149	146	150

Table 4. Cont.

Participants	Variables	First L-MIT in P1	Last L-MIT in P1	Last L-MIT in P2
S3	P_{av}/HR_{av} [W·BPM ⁻¹]	1.02	1.06	1.17
	P_{av} [W]	252	265	284
	HR_{av} [BPM]	151	142	142
S4	P_{av}/HR_{av} [W·BPM ⁻¹]	1.67	1.87	2.00
	P_{av} [W]	153	141	160
	HR_{av} [BPM]	145	141	152
S5	P_{av}/HR_{av} [W·BPM ⁻¹]	1.05	1.00	1.05
	P_{av} [W]	208	227	234
	HR_{av} [BPM]	157	155	155
S6	P_{av}/HR_{av} [W·BPM ⁻¹]	1.32	1.46	1.51
	P_{av} [W]	237	271	251
	HR_{av} [BPM]	157	160	152
S7	P_{av}/HR_{av} [W·BPM ⁻¹]	1.51	1.69	1.65
	P_{av} [W]	160	164	176
	HR_{av} [BPM]	142	146	141
Mean	P_{av}/HR_{av} [W·BPM ⁻¹]	1.13	1.12	1.25
	P_{av} [W]	196.3 ± 41.4	207.9 ± 53.8	222.1 ± 51.3 *
	HR_{av} [BPM]	149.0 ± 6.4	147.3 ± 7.4	147.9 ± 5.7
	P_{av}/HR_{av} [W·BPM ⁻¹]	1.31 ± 0.25	1.41 ± 0.35	1.51 ± 0.37 *

L-MIT—low- and moderate-intensity training; P1—first training period; P2—second training period; S1, S2, etc.—subsequent participants; P_{av} —average power during 60 min of cycling in the indicated training; HR_{av} —average heart rate during 60 min of cycling in the indicated training; Mean—the value of the arithmetic mean ± standard deviation for the entire group of cyclists; *— $p < 0.05$ vs. first L-MIT in P1.

A statistically significant correlation between HIT_{av} and HF_{av} was observed. The correlation was positive in the S1, S2, and S3 cyclists and negative in the S7 cyclist. Correlations of the required level of probability were detected between HIT_{av} , $RMSSD_{av}$, and $SDNN_{av}$. These correlations were positive in the S1 and S2 cyclists and negative in the S7 cyclist. In the case of S5, a positive correlation of the required level of statistical probability was identified between HIT_{av} and LF_{av} only. The S4 and S6 cyclists did not present correlations of the required level of statistical probability for HIT_{av} . No athlete demonstrated statistically significant correlations for $L-MIT_{av}$ (Table 5 and Figure 2).

Table 5. Strength of the Pearson correlation between average training loads and average parameters of sinus heart rate variability recorded in the subsequent training microcycles throughout the experiment (totals for the first and second period).

Participants Training load	HF_{av} [ms ²]	LF_{av} [ms ²]	$RMSSD_{av}$ [ms]	$SDNN_{av}$ [ms]	$RRNN_{av}$ [ms]
	S1 (n = 16)				
HIT_{av} [min]	0.73 *	0.63 *	0.69 *	0.68 *	0.26
$L-MIT_{av}$ [min]	0.04	0.23	0.00	0.04	-0.45
	S2 (n = 20)				
HIT_{av} [min]	0.49 *	0.05	0.49 *	0.38	0.59 *
$L-MIT_{av}$ [min]	-0.11	0.11	-0.21	0.03	-0.39
	S3 (n = 21)				
HIT_{av} [min]	0.50 *	0.33	0.31	0.33	-0.42
$L-MIT_{av}$ [min]	-0.11	0.18	0.06	0.24	-0.23
	S4 (n = 23)				
HIT_{av} [min]	-0.14	-0.07	-0.07	-0.10	-0.18
$L-MIT_{av}$ [min]	0.18	-0.15	0.10	0.14	0.01
	S5 (n = 20)				
HIT_{av} [min]	0.39	0.49 *	0.33	0.40	-0.30
$L-MIT_{av}$ [min]	0.09	-0.18	0.13	0.08	0.21
	S6 (n = 19)				
HIT_{av} [min]	-0.13	-0.44	-0.27	-0.36	0.14
$L-MIT_{av}$ [min]	0.19	-0.11	0.28	0.23	-0.38

Table 5. Cont.

Participants Training load	HF _{av} [ms ²]	LF _{av} [ms ²]	RMSSD _{av} [ms]	SDNN _{av} [ms]	RRNN _{av} [ms]
	S7 (n = 21)				
HIT _{av} [min]	-0.48 *	-0.39	-0.47 *	-0.53 *	-0.27
L-MIT _{av} [min]	0.04	-0.14	0.14	0.07	0.38

HF—high-frequency spectral power; LF—low-frequency spectral power; RMSSD—square root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals; SDNN—standard deviation of normal-to-normal RR intervals; RRNN—mean normal-to-normal RR intervals; S1, S2, etc.—subsequent participants; n—number of training microcycles performed; HIT_{av}—daily duration of high-intensity training, averaged values for training microcycles; L-MIT_{av}—daily duration of low- and moderate-intensity training, averaged values for training microcycles; * p < 0.05.

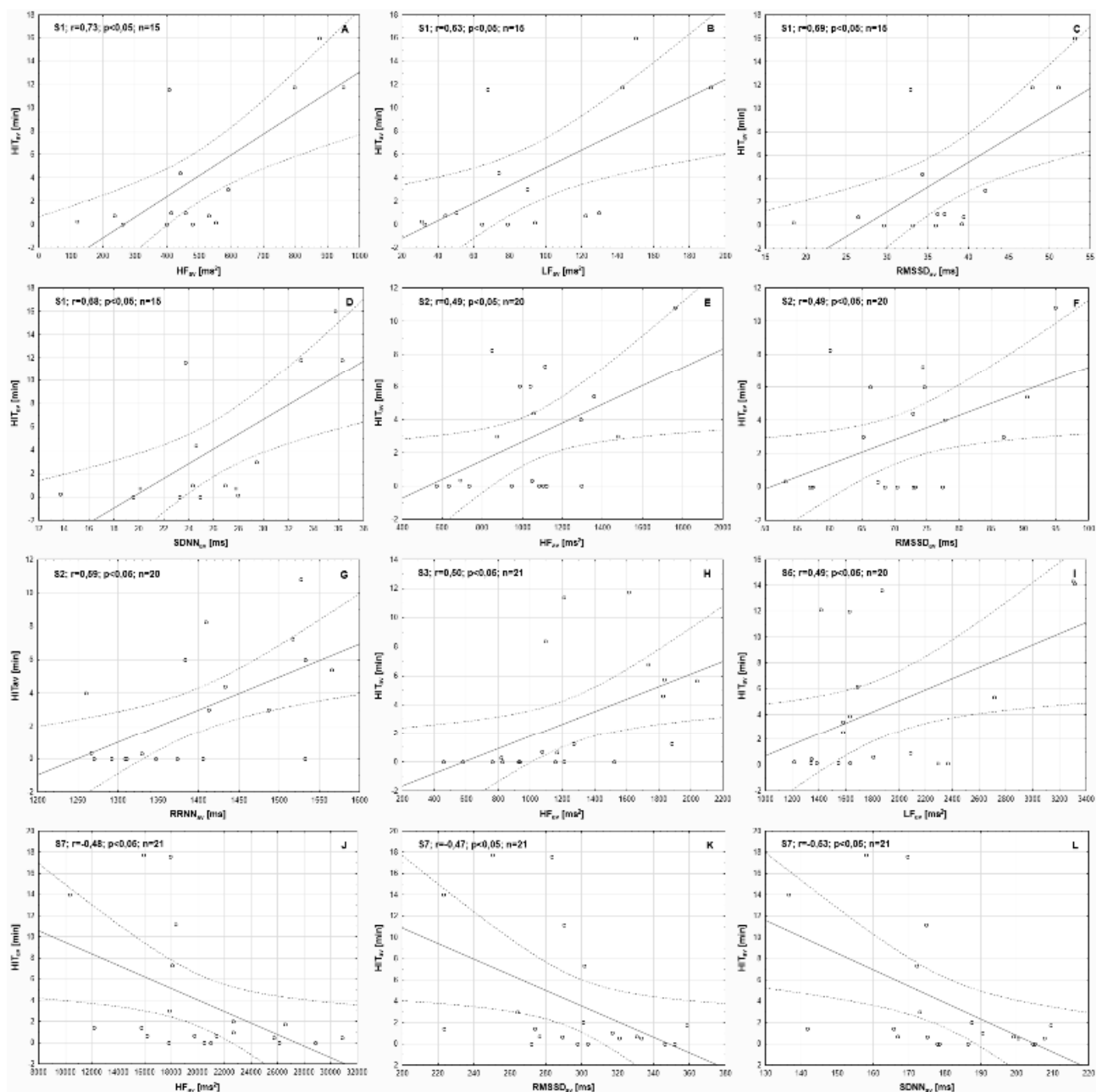


Figure 2. Graphical representation of the statistically significant Pearson’s correlations (indicated in Table 5) between daily duration of high-intensity training—averaged values for training microcycles (HIT_{av}) and average parameters of sinus heart

rate variability recorded in the subsequent training microcycles throughout the experiment (totals for the first and second period). S1, S2, etc.—subsequent participants; r —correlation coefficient; p —the adopted level of statistical significance; n —number of training microcycles performed. **Part A**—shows the correlation between HIT_{av} and average value of high-frequency spectral power, recorded in the subsequent training microcycles throughout the experiment (totals for the first and second period) (HF_{av})—for participant S1; **Part B**—shows the correlation between HIT_{av} and average value of low-frequency spectral power, recorded in the subsequent training microcycles throughout the experiment (LF_{av})—for participant S1; **Part C**—shows the correlation between HIT_{av} and average value of square root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals, recorded in the subsequent training microcycles throughout the experiment ($RMSSD_{av}$)—for participant S1; **Part D**—shows the correlation between HIT_{av} and average value of standard deviation of normal-to-normal RR intervals, recorded in the subsequent training microcycles throughout the experiment ($SDNN_{av}$)—for participant S1; **Part E**—shows the correlation between HIT_{av} and HF_{av} —for participant S2; **Part F**—shows the correlation between HIT_{av} and $RMSSD_{av}$ —for participant S2; **Part G**—shows the correlation between HIT_{av} and average value of mean normal-to-normal RR intervals, recorded in the subsequent training microcycles throughout the experiment ($RRNN_{av}$)—for participant S2; **Part H**—shows the correlation between HIT_{av} and HF_{av} —for participant S3; **Part I**—shows the correlation between HIT_{av} and LF_{av} —for participant S5; **Part J**—shows the correlation between HIT_{av} and HF_{av} —for participant S7; **Part K**—shows the correlation between HIT_{av} and $RMSSD_{av}$ —for participant S7; **Part L**—shows the correlation between HIT_{av} and $SDNN_{av}$ —for participant S7.

It was found that the levels of HF_b , LF_b , $RMSSD_b$, and $SDNN_b$ measured in the week preceding the experiment were statistically significantly correlated with the strength of the relationship between HIT_{av} and HF_{av} , HIT_{av} and $RMSSD_{av}$ and HIT_{av} and $SDNN_{av}$ (Table 6 and Figure 3).

Table 6. Strength of the Pearson correlation between parameters of sinus heart rate variability recorded in the week preceding the experiment and the strength of the relationship between the training loads and parameters of sinus heart rate variability calculated for the whole experiment period.

Variables	HF_{av} - HIT_{av}	LF_{av} - HIT_{av}	$RMSSD_{av}$ - HIT_{av}	$SDNN_{av}$ - HIT_{av}	$RRNN_{av}$ - HIT_{av}
HF_b [ms^2]	-0.83 *	-0.69	-0.82 *	-0.82 *	-0.31
LF_b [ms^2]	-0.87 *	-0.64	-0.87 *	-0.83 *	-0.67
$RMSSD_b$ [ms]	-0.89 *	-0.72	-0.89 *	-0.87 *	-0.42
$SDNN_b$ [ms]	-0.92 *	-0.78 *	-0.95 *	-0.93 *	-0.44
$RRNN_b$ [ms]	-0.15	-0.14	-0.25	-0.21	-0.57

HF_{av} - HIT_{av} —Pearson correlation between the average value of high-frequency spectral power and average high-intensity load in the training microcycles; LF_{av} - HIT_{av} —Pearson correlation between the average value of low-frequency spectral power and average high-intensity load in the training microcycles; $RMSSD_{av}$ - HIT_{av} —Pearson correlation between the average value of the square root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals and average high-intensity load in the training microcycles; $SDNN_{av}$ - HIT_{av} —Pearson correlation between the average value of the standard deviation of normal-to-normal RR intervals and average high-intensity load in the training microcycles; $RRNN_{av}$ - HIT_{av} —Pearson correlation between the average value of the normal-to-normal RR intervals and average high-intensity load in the training microcycles; HF_b —high-frequency spectral power; LF_b —low-frequency spectral power; $RMSSD_b$ —square root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals; $SDNN_b$ —standard deviation of normal-to-normal RR intervals; $RRNN_b$ —mean normal-to-normal RR intervals; $_b$ —each HRV parameter was expressed as the average of measurements performed in the week preceding the experiment; * $p < 0.05$.

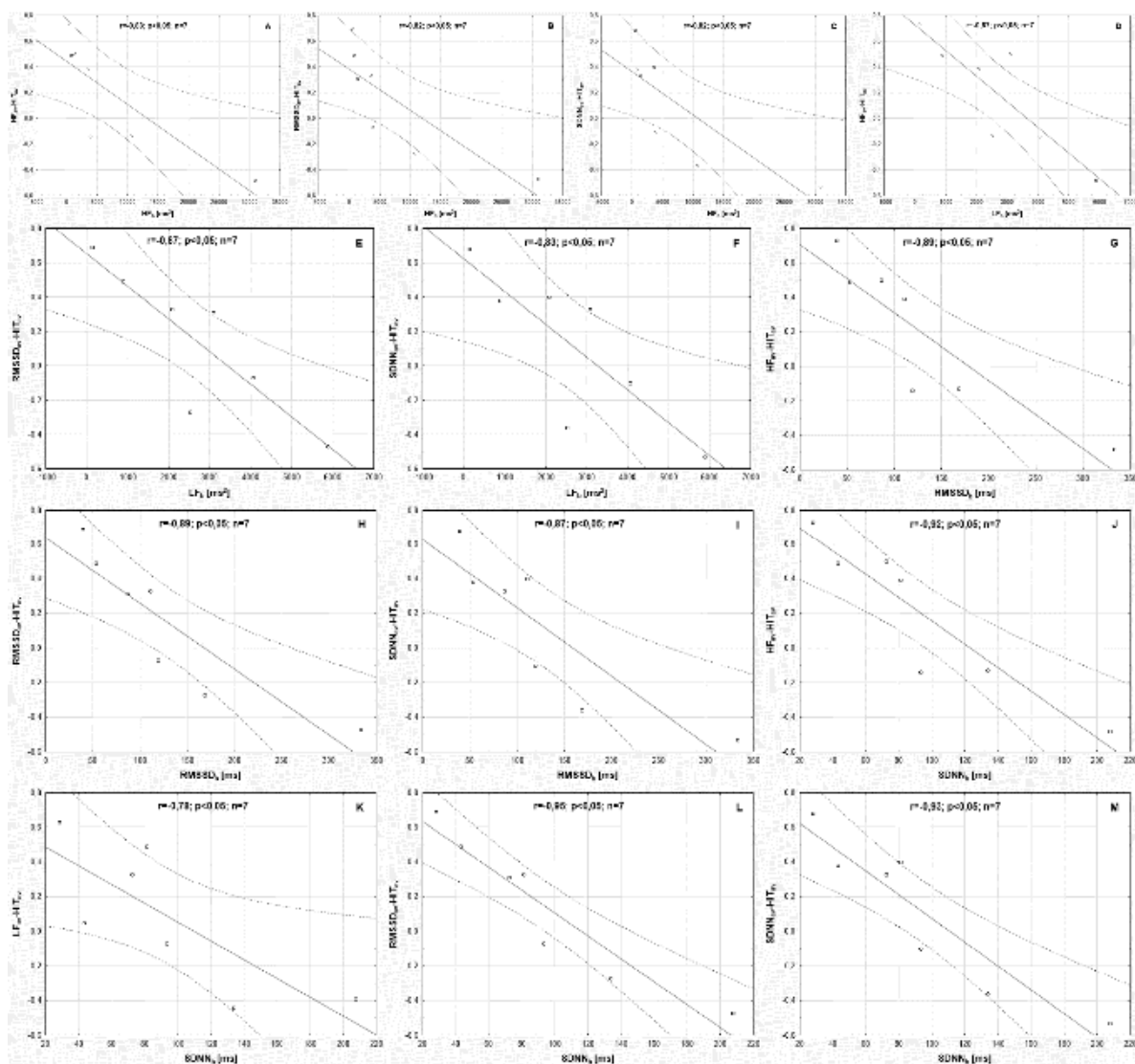


Figure 3. Graphical representation of the statistically significant Pearson's correlations (indicated in Table 6) between the strength of the relationship between the daily duration of high-intensity training—averaged values for training microcycles (HIT_{av}) and parameters of sinus heart rate variability calculated for the whole experiment period and parameters of sinus heart rate variability recorded in the week preceding the experiment. r —correlation coefficient; p —the adopted level of statistical significance; n —number of participants. **Part A**—shows the correlation between the strength of the relationship between the average value of high-frequency spectral power, recorded in the subsequent training microcycles throughout the experiment (totals for the first and second period) (HF_{av}) and HIT_{av} , as well as high-frequency spectral power expressed as the average of measurements performed in the week preceding the experiment (HF_b); **Part B**—shows the correlation between the strength of the relationship between the average value of the square root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals, recorded in the subsequent training microcycles throughout the experiment ($RMSD_{av}$) and HIT_{av} , as well as HF_b ; **Part C**—shows the correlation between the strength of the relationship between the average value of the standard deviation of normal-to-normal RR intervals ($SDNN_{av}$) and HIT_{av} , as well as HF_b ; **Part D**—shows the correlation between the strength of the relationship between HF_{av} and HIT_{av} , as well as low-frequency spectral power expressed as the average of measurements performed in the week preceding the experiment (LF_b); **Part E**—shows the correlation between the strength of the relationship between $RMSD_{av}$ and HIT_{av} , as well as LF_b ; **Part F**—shows the correlation between the strength of the relationship between $SDNN_{av}$ and HIT_{av} , as well as LF_b ; **Part G**—shows the correlation between the strength of the relationship between HF_{av} and HIT_{av} , as well as the square root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals expressed as the average of measurements performed in the

week preceding the experiment ($RMSSD_b$); **Part H**—shows the correlation between the strength of the relationship between $RMSSD_{av}$ and HIT_{av} , as well as $RMSSD_b$; **Part I**—shows the correlation between the strength of the relationship between $SDNN_{av}$ and HIT_{av} , as well as $RMSSD_b$; **Part J**—shows the correlation between the strength of the relationship between HF_{av} and HIT_{av} , as well as standard deviation of normal-to-normal RR intervals expressed as the average of measurements performed in the week preceding the experiment ($SDNN_b$); **Part K**—shows the correlation between the strength of the relationship between the average value of low-frequency spectral power, recorded in the subsequent training microcycles throughout the experiment (LF_{av}) and HIT_{av} , as well as $SDNN_b$; **Part L**—shows the correlation between the strength of the relationship between $RMSSD_{av}$ and HIT_{av} , as well as $SDNN_b$; **Part M**—shows the correlation between the strength of the relationship between $SDNN_{av}$ and HIT_{av} , as well as $SDNN_b$.

4. Discussion

In this study, it was shown that, in three cyclists, HF was higher in period P2 than in P1, whilst in the case of one cyclist, HF was higher in period P1 than in P2. In the remaining three cyclists, there were no significant changes in HF. Interestingly, in all four cyclists who had changes in HF between P1 and P2, the P_{av}/HR_{av} ratio from the last L-MIT training of period P2 was higher than the last L-MIT training of P1. An analysis of the available literature shows that resting heart rate and HRV values are related to aerobic capacity and cardiorespiratory fitness among non-training individuals [13,35]. According to Bellenger et al. [36], an increase in exercise capacity during the training process is associated with an improvement in HRV parameters, such as RMSSD or HF. Sandercock et al. [37] proved in their meta-analysis that a long-term training process based on aerobic effort leads to an increase in resting HF values; Macor et al. [38] reported that competitive cyclists present higher resting HF values than non-training individuals. However, publications describing the impact that intensifying training has on HRV parameters provide inconsistent results. Pichot et al. [39] demonstrated that, over a period of three weeks, when intensive training accounted for 30% of the total load, the value of HF decreased, although the subject of the study was training that provoked fatigue accumulation. Schneider et al. [40] implied that among well-trained athletes, the natural logarithm of RMSSD did not change after several HIT trainings. Similarly, Daniłowicz-Szymanowicz et al. [41] did not observe changes in HF, RMSSD, or SDNN as a result of a two-month training intensification among trained runners. Raczak et al. [42] compared two training periods of four months each in trained runners. The first period was characterised by a predominance of moderate-intensity training. In the second period, the proportion of high-intensity trainings increased. The RMSSD, SDNN, and LF parameters turned out to be significantly higher in the second period than in the preceding period. The results of the present study indicate that changes in HRV parameters due to intensifying the training process can be individualised among well-trained cyclists.

Lamberts et al. [43] demonstrated that the power output level at submaximal heart rate was a good measure of exercise capacity in cycling. In our study, the above-mentioned HRV parameters improved in P2 among the cyclists S1, S2, and S3. In the same period, the P_{av}/HR_{av} ratio improved in these cyclists. However, an improvement in the P_{av}/HR_{av} ratio was also observed in cyclist S7, who presented decreased HF, SDNN, and RMSSD in P2. It therefore seems that controlling the training so as to achieve the highest possible parameters reflecting vagus nerve activity is not the sole condition for improving power output at submaximal heart rate.

It would be reasonable to indicate the variables that could serve to predict the effects of training intensification on HRV parameters in a situation where P2 was associated with an increase in vagus nerve activity in three cyclists and no relationship, or an opposite one, was observed in the remaining cases. The potential to make such predictions seems valuable for coaches and athletes in the context of studies that found a relationship between HRV parameters that identify vagus nerve activity and the ability of athletes to perform intense physical effort [20,35]. An attempt to predict the impact of training on HRV was made by Chalencon et al. [44], but their model was based on the observation of a training process implemented earlier. Our intention, in turn, was to try to determine whether it was

possible to assess the efficacy of training intensification in terms of its impact on HRV on the basis of initial HRV measurements (taken before the training process). Intensifying training is an element of periodisation and constitutes a common practice among endurance athletes during the several weeks preceding important competitions [2,24,45]. In our research, we applied a training intensification similar to the classic model. This concept assumes that a period of predominantly L-MIT trainings is followed by a period with a decreasing proportion of L-MIT and a simultaneous increasing proportion of HIT [2]. Our findings (Table 5) imply that baseline HRV (HF, LF, RMSSD, and SDNN) can be a factor that determines the strength and direction of the relationship between HIT_{av} and HRV variables (HF_{av} , $RMSSD_{av}$, and $SDNN_{av}$). This information supplements our previous research in which we proved that the effects of periods of training intensification through the use of HIT and sprint interval training could be predicted by an analysis of the training volume in a previous training process [28,29], as well as peak pulmonary minute ventilation in incremental tests and the restitution RMSSD value after a moderate-intensity warm-up [28].

5. Conclusions

The presented study results indicate that changes in resting HRV parameters between a period of L-MIT training predominance and a period of increased HIT training proportion can be individualised. Daily records of resting HRV and training loads can allow one to determine whether an increase in high-intensity loads affects changes in HRV parameters in individual cases. In the investigated group, it was possible to predict how HRV would change as a result of training intensification on the basis of the baseline values of HRV parameters, such as HF, LF, RMSSD, and SDNN. Their increase was observed in cyclists with low baseline values of these parameters, and their decrease was found in the cyclist with high baseline values. It also seems that training intensification can also lead to power output improvement at a submaximal heart rate in individuals other than those with an increase in parameters reflecting parasympathetic nervous system activation.

Author Contributions: Conceptualization, P.H. and R.H.; methodology, P.H.; investigation, all authors; data curation, all authors; writing—original draft preparation, P.H. and A.J.; writing—review and editing, R.H. and P.H.; supervision, A.J.; funding acquisition, all authors. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by the University School of Physical Education in Wroclaw under grant number PN/BK/2020/07.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by Ethics Committee of the University School of Physical Education in Wroclaw (protocol code: 39/2019; date of approval: 26 November 2019).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

References

1. Seiler, S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2010**, *5*, 276–291. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Solli, G.S.; Tønnessen, E.; Sandbakk, Ø. Block vs. traditional periodization of HIT: Two different paths to success for the world's best cross-country skier. *Front. Physiol.* **2019**, *10*, 375. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Smith, D.J. A framework for understanding the training process leading to elite performance. *Sports Med.* **2003**, *33*, 1103–1126. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Hebisz, P.; Hebisz, R.; Zatoń, M.; Ochmann, B.; Mielnik, N. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2016**, *116*, 1495–1502. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Buchheit, M.; Laursen, P.B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part 1: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Med.* **2013**, *43*, 313–338. [[CrossRef](#)]

6. Tschakert, G.; Hofmann, P. High-intensity intermittent exercise: Methodological and physiological aspects. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2013**, *8*, 600–610. [[CrossRef](#)]
7. Warr-di Piero, D.; Valverde-Esteve, T.; Redondo-Castán, J.C.; Pablos-Abella, C.; Sánchez-Alarcos Díaz-Pintado, J.V. Effects of work-interval duration and sport specificity on blood lactate concentration, heart rate and perceptual responses during high intensity interval training. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0200690. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
8. Stöggl, T.; Sperlich, B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front. Physiol.* **2014**, *5*, 33. [[CrossRef](#)]
9. Levine, B.D. VO₂max: What do we know, and what do we still need to know? *J. Physiol.* **2008**, *586*, 25–34. [[CrossRef](#)]
10. Evertsen, F.; Medbo, J.I.; Jebens, E.; Nicolaysen, K. Hard training for 5 mo increases Na(+)-K+ pump concentration in skeletal muscle of cross-country skiers. *Am. J. Physiol.* **1997**, *272*, R1417–R1424. [[CrossRef](#)]
11. Gaskill, S.E.; Serfass, R.C.; Bacharach, D.W.; Kelly, J.M. Responses to training in cross-country skiers. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1999**, *31*, 1211–1217. [[CrossRef](#)]
12. Da Silva, D.F.; Bianchini, J.A.; Antonini, V.D.; Hermoso, D.A.; Lopera, C.A.; Pagan, B.G.; McNeil, J.; Nardo Junior, N. Parasympathetic cardiac activity is associated with cardiorespiratory fitness in overweight and obese adolescents. *Pediatr. Cardiol.* **2014**, *35*, 684–690. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Grant, C.C.; Murray, C.; Janse van Rensburg, D.C.; Fletcher, L. A comparison between heart rate and heart rate variability as indicators of cardiac health and fitness. *Front. Physiol.* **2013**, *4*, 337. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Ueno, L.M.; Hamada, T.; Moritani, T. Cardiac autonomic nervous activities and cardiorespiratory fitness in older men. *J. Gerontol. Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2002**, *57*, M605–M610. [[CrossRef](#)]
15. Daanen, H.A.; Lamberts, R.P.; Kallen, V.L.; Jin, A.; Van Meeteren, N.L. A systematic review on heart-rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2012**, *7*, 251–260. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Kaikkonen, P.; Hynynen, E.; Mann, T.; Rusko, H.; Nummela, A. Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2012**, *112*, 829–838. [[CrossRef](#)]
17. Schmitt, L.; Regnard, J.; Desmarests, M.; Mauny, F.; Mourot, L.; Fouillot, J.P.; Coulmy, N.; Millet, G. Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *PLoS ONE* **2013**, *8*, e71588. [[CrossRef](#)]
18. Earnest, C.P.; Jurca, R.; Church, T.S.; Chicharro, J.L.; Hoyos, J.; Lucia, A. Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during Tour of Spain. *Br. J. Sports Med.* **2004**, *38*, 568–575. [[CrossRef](#)]
19. Pichot, V.; Busso, T.; Roche, F.; Garet, M.; Costes, F.; Duverney, D.; Lacour, J.R.; Barthélémy, J.C. Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: A laboratory study. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2002**, *34*, 1660–1666. [[CrossRef](#)]
20. Oliveira, R.S.; Leicht, A.S.; Bishop, D.; Barbero-Álvarez, J.C.; Nakamura, F.Y. Seasonal changes in physical performance and heart rate variability in high level futsal players. *Int. J. Sports Med.* **2013**, *34*, 424–430. [[CrossRef](#)]
21. Botek, M.; McKune, A.J.; Krejci, J.; Stejskal, P.; Gaba, A. Change in performance in response to training load adjustment based on autonomic activity. *Int. J. Sports Med.* **2014**, *35*, 482–488. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Høydal, K.L. Effects of exercise intensity on VO₂max in studies comparing two or more exercise intensities: A meta-analysis. *Sport Sci. Health* **2017**, *13*, 239–252. [[CrossRef](#)]
23. Garber, C.E.; Blissmer, B.; Deschenes, M.R.; Franklin, B.A.; Lamonte, M.J.; Lee, I.; Nieman, D.C.; Swain, D.P. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2011**, *43*, 1334–1359. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Issurin, V.B. Biological background of block periodized endurance training: A review. *Sports Med.* **2019**, *49*, 31–39. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Figueira, T.R.; Caputo, F.; Machado, C.E.; Denadai, B.S. Aerobic Fitness Level Typical of Elite Athletes is not Associated With Even Faster VO₂ Kinetics During Cycling Exercise. *J. Sports Sci. Med.* **2008**, *7*, 132–138. [[PubMed](#)]
26. Joyner, M.J.; Coyle, E.F. Endurance exercise performance: The physiology of champions. *J. Physiol.* **2008**, *586*, 35–44. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
27. Kiely, J. Periodization Paradigms in the 21st Century: Evidence-Led or Tradition-Driven? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2012**, *7*, 242–250. [[CrossRef](#)]
28. Hebisz, R.; Hebisz, P.; Danek, N.; Michalik, K.; Zatoń, M. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. *J. Strength Cond. Res.* **2020**. ahead of print. [[CrossRef](#)]
29. Hebisz, R.; Hebisz, P.; Borkowski, J.; Zatoń, M. Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise-induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds. *Isokinet. Exerc. Sci.* **2019**, *27*, 21–29. [[CrossRef](#)]
30. Beltz, N.M.; Gibson, A.L.; Janot, J.M.; Kravitz, L.; Mermier, C.M.; Dalleck, L.C. Graded exercise testing protocols for the determination of VO₂max: Historical perspectives, progress, and future considerations. *J. Sports Med.* **2016**, *2016*, 3968393. [[CrossRef](#)]
31. Beaver, W.L.; Wasserman, K.; Whipp, B.J. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.* **1986**, *60*, 2020–2027. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

32. Wright, J.; Walker, T.; Burnet, S.; Jobson, S.A. The Reliability and Validity of the PowerTap P1 Power Pedals Before and After 100 Hours of Use. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2019**, *14*, 855–858. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
33. Boudreaux, B.D.; Hebert, E.P.; Hollander, D.B.; Williams, B.M.; Cormier, C.L.; Naquin, M.R.; Gillan, W.W.; Gusew, E.E.; Kraemer, R.R. Validity of Wearable Activity Monitors during Cycling and Resistance Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2018**, *50*, 624–633. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Windt, J. Polar Beat: Train to your heart's content. *Br. J. Sports Med.* **2016**, *50*, 441. [[CrossRef](#)]
35. Plaza-Florido, A.; Migueles, J.H.; Mora-Gonzalez, J.; Molina-Garcia, P.; Rodriguez-Ayllon, M.; Cadenas-Sanchez, C.; Esteban-Cornejo, I.; Solis-Urra, P.; de Teresa, C.; Gutiérrez, A.; et al. Heart rate is a better predictor of cardiorespiratory fitness than heart rate variability in overweight/obese children: The ActiveBrains project. *Front. Physiol.* **2019**, *10*, 510. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Bellenger, C.R.; Fuller, J.T.; Thomson, R.L.; Davison, K.; Robertson, E.Y.; Buckley, J.D. Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* **2016**, *46*, 1461–1486. [[CrossRef](#)]
37. Sandercock, G.R.; Bromley, P.D.; Brodie, D.A. Effects of exercise on heart rate variability: Inferences from meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2005**, *37*, 433–439. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Macor, F.; Fagard, R.; Amery, A. Power spectral analysis of RR interval and blood pressure short-term variability at rest and during dynamic exercise: Comparison between cyclists and controls. *Int. J. Sports Med.* **1996**, *17*, 175–181. [[CrossRef](#)]
39. Pichot, V.; Roche, F.; Gaspoz, J.M.; Enjolras, F.; Antoniadis, A.; Minini, P.; Costes, F.; Busso, T.; Lacour, J.R.; Barthélémy, J.C. Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2000**, *32*, 1729–1736. [[CrossRef](#)]
40. Schneider, C.; Wiewelhove, T.; Raeder, C.; Flatt, A.A.; Hoos, O.; Hottenrott, L.; Schumbera, O.; Kellmann, M.; Meyer, T.; Pfeiffer, M.; et al. Heart rate variability monitoring during strength and high-intensity interval training overload microcycles. *Front. Physiol.* **2019**, *10*, 582. [[CrossRef](#)]
41. Daniłowicz-Szymanowicz, L.; Figura-Chmielewska, M.; Raczak, A.; Szwoch, M.; Ratkowski, W. The assessment of influence of long-term exercise training on autonomic nervous system activity in young athletes preparing for competitions. *Pol. Merkur. Lek.* **2011**, *30*, 19–25.
42. Raczak, G.; Daniłowicz-Szymanowicz, L.; Kobuszewska-Chwirot, M.; Ratkowski, W.; Figura-Chmielewska, M.; Szwoch, M. Long-term exercise training improves autonomic nervous system profile in professional runners. *Kardiol. Pol.* **2006**, *64*, 135–140.
43. Lamberts, R.P.; Swart, J.; Noakes, T.D.; Lambert, M.I. A novel submaximal cycle test to monitor fatigue and predict cycling performance. *Br. J. Sports Med.* **2011**, *45*, 797–804. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Chalencon, S.; Pichot, V.; Roche, F.; Lacour, J.R.; Garet, M.; Connes, P.; Barthélémy, J.C.; Busso, T. Modeling of performance and ANS activity for predicting future responses to training. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2015**, *115*, 589–596. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. Da Silva, K.A.; Lopes, J.A.; de Souza, E.G.; Stanganelli, L.C.R. Effect of a training macrocycle on physiological indicators, body composition, and explosiveness among recreational runners. *Hum. Mov.* **2020**, *21*, 49–56. [[CrossRef](#)]

Predicting Changes in Maximal Oxygen Uptake in Response to Polarized Training (Sprint Interval Training, High-Intensity Interval Training, and Endurance Training) in Mountain Bike Cyclists

Rafał Hebisz, Paulina Hebisz, Natalia Danek, Kamil Michalik, and Marek Zatoń

Department of Physiology and Biochemistry, University School of Physical Education, Wrocław, Poland

Abstract

Hebisz, R, Hebisz, P, Danek, N, Michalik, K, and Zatoń, M. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. *J Strength Cond Res* XX(X): 000–000, 2020—The aim of this study was to determine the predictors of change in maximal oxygen uptake ($\Delta\dot{V}O_{2\max}$) in response to a polarized training program. Twenty well-trained mountain bike cyclists completed an 8-week intervention of sprint interval training (SIT) (8–16 30-second maximal sprints), high-intensity interval training (4–6 bouts at 85–95% maximal aerobic power), and endurance training (2–3 hours cycling at 70–80% power at the ventilatory threshold). An incremental exercise test was performed to determine preintervention and postintervention maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$) and maximal pulmonary ventilation ($\dot{V}E_{\max}$) normalized to lean body mass (LBM). The frequency and time domain of heart rate variability (HRV) was also determined during recovery after moderate warm-up in the first and last SIT. Training status was quantified as the total distance cycled in the previous year. $\dot{V}O_{2\max}$, $\dot{V}E_{\max}$, and the root mean square of the successive differences of normal-to-normal time interval between heartbeats (RMSSD), which is the time domain of HRV all increased significantly. Multiple significant correlations were observed between $\Delta\dot{V}O_{2\max}$ and training status and baseline measures of $\dot{V}E_{\max}\cdot\text{LBM}^{-1}$, RMSSD, and $\dot{V}O_{2\max}\cdot\text{LBM}^{-1}$ and a regression equation was developed ($r = 0.87$, $r^2 = 0.76$; $p = 0.0001$). The change in $\dot{V}O_{2\max}$ in response to polarized training can be predicted with high accuracy based on several measurable variables.

Key Words: prediction of $\dot{V}O_{2\max}$

Introduction

Peak performance in endurance sports requires a high level of maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$), a common measure of cardiorespiratory fitness (28,29). An effective training strategy among elite endurance athletes to improve $\dot{V}O_{2\max}$ and maximal aerobic power (P_{\max}) is polarized training, which involves the integration of several different exercise protocols of varied intensity and volume (19,40). Besides explicit endurance training (ET), an important component of polarized training is interval training because this training framework is known to induce numerous beneficial cardiovascular and performance adaptations (3). The most popular variants of interval training are sprint interval training (SIT) and high-intensity interval training (HIIT), which are differentiated by minor yet critical variations in the duration and intensity of the exercise and recovery periods. Interval training is known to induce significant fatigue due to the increased reliance on oxygen-independent (anaerobic) metabolic pathways and perturbation to the acid-base balance (41). The systemic and peripheral adaptations to interval training improve work output and aerobic capacity, including the enhanced removal of excess carbon dioxide through pulmonary ventilation (13). The latter factor impacts the acid-base balance, hence it can be surmised that the measurement of pulmonary ventilation during exercise with a large anaerobic

component can serve as predictor of the change in $\dot{V}O_{2\max}$ when training with HIIT and SIT.

It can be presumed that the effects of HIIT and SIT on $\dot{V}O_{2\max}$ in endurance athletes are dependent on training status and background. In a review of various HIIT protocols, Laursen et al. (27) reported a 5–8% increase among well-trained cyclists (pre-intervention $\dot{V}O_{2\max}$ 64.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹). Another study reported an increase of 6–9% in $\dot{V}O_{2\max}$ after an HIIT intervention in moderately trained runners (preintervention $\dot{V}O_{2\max}$ 51.6 ml·kg⁻¹·min⁻¹) (14). This can be compared with increases of 12–19% after HIIT or SIT in untrained populations (15,44). Although this finding may suggest that athletes with lower $\dot{V}O_{2\max}$ and less training experience should show an enhanced response to interval training, a previous study observed greater improvements among athletes with high-volume training experience after a polarized training intervention (SIT, HIIT, and ET) than athletes with less training experience (22). It was found that the athletes with more training showed reduced muscle damage, suggesting the important role of previous training experience (particularly high-volume aerobic training) in the modulation of $\dot{V}O_{2\max}$ if more intensive and demanding training strategies are to be used (22).

Another important consideration is that $\dot{V}O_{2\max}$ is known to be associated with the activity of the autonomic nervous system (26). Improvements in cardiorespiratory fitness and capacity were found to increase parasympathetic activity at rest (8). Individuals with high cardiorespiratory fitness show greater values of

Address correspondence to Natalia Danek, natalia_danek@interia.pl.

Journal of Strength and Conditioning Research 00(00)/1–5

© 2020 National Strength and Conditioning Association

high-frequency (HF) and low-frequency spectral power (LF) of heart rate variability (HRV) during postexercise recovery after moderate-intensity exercise (35). Recent studies demonstrated the use of HRV as a measure of cardiac autonomic activity, in monitoring the response to exercise, and determining optimal training load (34,38). With previous research suggesting that baseline measures of cardiovascular fitness can determine the change in $\dot{V}O_2\text{max}$ as a result of training (16,24), it is possible that HRV kinetics during recovery could serve as a predictor of performance after a strenuous polarized training strategy that combines SIT, HIIT, and ET.

The aim of this study was to therefore investigate whether the change in $\dot{V}O_2\text{max}$ after polarized training could be quantitatively predicted in well-trained cyclists using measurable variables. It was hypothesized that cyclists with high maximal pulmonary ventilation, greater magnitude of HRV indices reflecting parasympathetic activity, and better training status would show an enhanced improvement in $\dot{V}O_2\text{max}$ after polarized training with SIT, HIIT, and ET.

AU3

Methods

Experimental Approach to the Problem

A polarized training intervention of 8 weeks was used to assess the predictive capacity of various physiological markers in determining the change in $\dot{V}O_2\text{max}$. These variables were selected based on a review of the literature as well as coaching and professional experience. Cyclists' training status and background was collected and quantitatively assessed as the total distance cycled in the year before study outset. An incremental exercise test was administered before and after the intervention to measure maximal oxygen uptake and maximal pulmonary ventilation normalized to lean body mass (LBM) because this relative measure is considered to have a higher prognostic value. Time and frequency domain indices of HRV were calculated during the first and last SIT session. A mathematical model was then used to calculate the predictive accuracy of the selected variables in determining the change in $\dot{V}O_2\text{max}$.

AU4

Subjects

[T1]

Twenty well-trained male mountain bike cyclists volunteered to participate in the study (Table 1). All had been training for a minimum of 2 years and had on average participated in 14 sanctioned cross-country Olympic or cross-country marathon races. Training workload was at least 7 hours per week for 10 months per year at an intensity above 50% maximal aerobic power (P_{max}). Before study outset, none of the participants had any experience with periodic interval training that involved repeated 30-second to 5-minute cycling bouts performed at an intensity greater than 90% P_{max} .

The study design was approved by the local ethics committee, and all procedures were performed in accordance with the Declaration of Helsinki. Written informed consent was obtained from the participants and their guardians after the study details, procedures, and benefits and risks were explained.

Procedures

Participant training history was analyzed, and the total distance cycled 1 year before study outset was recorded (distance). The training intervention was based on a four-day microcycle, with SIT, HIIT, and ET performed each day in succession and the fourth day treated as a day of recovery in which the participants cycled for 60 minutes at 40–50% P_{max} . Each training session was preceded by a 20-minute warm-up of moderate-intensity cycling, with the first 5 minutes performed at an intensity of 50% of P_{max} and the remaining 15 minutes performed at 60% P_{max} . The SIT, HIIT, and ET protocols of the 8-week polarized training intervention are outlined below.

Sprint Interval Training. Participants rested for 5 minutes after the warm-up, sitting on the ergometer with arms resting on the handlebars. Sprint interval training involved 8–16 maximal cycling sprints. The sprints were performed in sets, with each set consisting of four 30-second all-out bouts interspersed with 90 seconds of rest. The sets were separated by 25–40 minutes of moderate-intensity cycling (70–75% maximal heart rate) as a form of active recovery. Upon concluding the active recovery component, another set was performed following the same protocol and repeated until the amount of work done in a set decreased by 5% compared with the highest obtained value in the session. Participants completed on average between 2 to 4 sets per training session in the 8-week intervention.

High-Intensity Interval Training. Participants alternated between 4-minute high-intensity cycling (at 85–95% P_{max}) and 12-minute moderate-intensity cycling (60–70% maximal heart rate). This cycle was repeated until the participant was unable to maintain the required intensity. The participants completed on average four to 6 cycles per training session.

Endurance Training. Participants cycled for 2–3 hours at 70–80% power at the ventilatory threshold. Training was terminated if the participant could not maintain the specified intensity.

In the first and last SIT session, the time interval between heartbeats (RR) was recorded with a V800 cardiofrequencimeter (Polar, Oy, Finland) during the last 2 minutes of the 5-minute rest period after the warm-up. Kubios HRV Standard (KubiosOy, Kuopio, Finland) software was used to analyze HRV by time and frequency domains. Time domain measures included the SD of normal-to-normal RR intervals and the square-root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals (RMSSD). For the frequency domain, spectral analysis was performed using fast Fourier transformation to obtain HF spectral power and LF spectral power.

AU5

Incremental Exercise Test. An incremental exercise test was administered before and after the intervention. Participants refrained from any high-intensity exercise (exceeding 50% $\dot{V}O_2\text{max}$) 48 hours before testing. Immediately before the incremental exercise test, body composition was measured by ultrasound at 9 measurement sites (biceps, triceps, chest, scapula, lower back, waist, hip, thigh, and calf) using a BodyMetrix

Table 1
Selected physiological, physical, and anthropometrical variables of the mountain-bike cyclists ($n = 20$).*

Age (y)	Body height (cm)	Body mass (kg)	LBM (kg)	BMI ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	Distance ($\text{km}\cdot\text{yr}^{-1}$)
19.9 ± 5.4	178.4 ± 5.6	69.9 ± 9	60.9 ± 7.6	21.9 ± 1.9	6,925.0 ± 4,212.3

*LBM = lean body mass; BMI = body mass index; Distance = total distance covered by cyclists in previous year preceding the training intervention; data are presented as mean ± SD.

analyzer (Intelmetrix, Brentwood, CA). Lean body mass was then determined using the formula $LBM = BM - (BM \times \%BF)$, where LBM=lean body mass (kg), BM=body mass (kg), and %BF=body fat (%).

An incremental exercise test was performed in laboratory conditions (temperature- and humidity-controlled) on a Cyclus 2 cycle ergometer (RBM elektronik-automation, Leipzig, Germany). Starting workload was 50 W and increased every 3 minutes by 50 W until volitional exhaustion was reached. Instantaneous power output and time were continually recorded. If the participant was unable to complete a 3-minute 50W stretch, then 0.28 W was subtracted for each missing second from the current level of power to determine Pmax. Respiratory function was measured with a Quark analyzer (Cosmed, Milan, Italy) that was calibrated before each trial with a reference gas mixture of carbon dioxide (5%), oxygen (16%), and nitrogen (79%). Tidal air was analyzed on a breath-by-breath basis to determine oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$), carbon dioxide excretion ($\dot{V}CO_2$), and minute pulmonary ventilation (VE). These measures were averaged over 30-second intervals. Absolute and relative $\dot{V}O_{2max}$ (per kg of body mass) was calculated based on the composition of expired air and minute ventilation. Maximal pulmonary ventilation (VEmax) and $\dot{V}O_{2max}$ relative to LBM were also determined ($VEmax \cdot LBM^{-1}$ and $\dot{V}O_{2max} \cdot LBM^{-1}$, respectively). The ventilatory threshold was determined by V-slope analysis of $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$ as explained by Beaver et al. (2). This method assumes an increase of $\dot{V}CO_2$ in relation to $\dot{V}O_2$ during incremental exercise. Heart rate (HR) was continually recorded with a Polar V800 monitor (Polar Electro Oy, Kempele, Finland).

Statistical Analyses

Statistical analyses were performed with the Statistica 13.1 software package (Statsoft). Means, SD, and confidence intervals were calculated for all variables. The absolute change in $\dot{V}O_{2max}$ ($\Delta\dot{V}O_{2max}$ [$L \cdot min^{-1}$]) was calculated for each participant. Student's *t* test was used to compare preintervention and postintervention measures. Effect sizes (ES) were calculated by dividing the mean preintervention and postintervention difference by the SD of the preintervention measure. Multiple regression analysis was performed between the independent (age, distance, $\dot{V}O_{2max} \cdot LBM^{-1}$, $VEmax \cdot LBM^{-1}$, HF, LF, and RMSSD) and dependent ($\Delta\dot{V}O_{2max}$) variables with the equation $Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \dots + \beta_nX_n$, where Y is the dependent variable, $X_1, X_2 \dots X_n$ are the independent variables, B_0 is the mean value at baseline, and $\beta_1, \beta_2 \dots \beta_n$ correspond to the

coefficients of each variable. The regression model with the highest coefficient of determination (R^2) is presented in the results at a significance level of $p < 0.05$. It was assumed that the regression model would contain at least one independent variable that serves as a measure of cardiovascular fitness because it can determine the change in $\dot{V}O_{2max}$ (16,24). It was also assumed that such a model would include at most one variable indicative of postexercise HRV recovery. For this reason, models that may not have statistically significant partial correlations between variables that quantify cardiovascular fitness and $\Delta\dot{V}O_{2max}$ could be included in the analysis.

Results

Postintervention $\dot{V}O_{2max} \cdot LBM^{-1}$ and $VEmax \cdot LBM^{-1}$ increased significantly, as did RMSSD measured in the last SIT session (Table 2). The partial correlation coefficients for all variables (age, distance, $\dot{V}O_{2max} \cdot LBM^{-1}$, $VEmax \cdot LBM^{-1}$, HF, LF, and RMSSD) predicting $\Delta\dot{V}O_{2max}$ are presented in Table 3. The strongest multiple correlations coefficients ($r = 0.868, p = 0.0000, F = 16.311$) were found between $\Delta\dot{V}O_{2max}$ and distance, $VEmax \cdot LBM^{-1}$, and RMSSD. Partial correlations for this model were $r = 0.68 (p = 0.002), r = 0.47 (p = 0.048), r = 0.42 (p = 0.08)$, respectively. The regression model ($R_2 = 0.754$, standard error of estimate [SEE] = $138.86 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$) that best predicted $\Delta\dot{V}O_{2max}$ was:

$$\Delta\dot{V}O_{2max} = -0.790215 + (0.000032 * \text{Distance}) + (0.300521 * VEmax \cdot LBM^{-1}) + (0.003256 * \text{RMSSD}).$$

Strong multiple correlations ($r = 0.837, p = 0.0000, F = 19.824$) were also found between $\Delta\dot{V}O_{2max}$ and distance and $VEmax \cdot LBM^{-1}$. Partial correlations for this model were $r = 0.65 (p = 0.002)$ and $r = 0.54 (p = 0.017)$, respectively. This second model was presented because in the first model, the partial correlation of RMSSD was not statistically significant. The regression model ($R^2 = 0.7, SEE = 148.67 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$) for this correlation that predicted $\Delta\dot{V}O_{2max}$ was:

$$\Delta\dot{V}O_{2max} = -0.953219 + (0.000034 * \text{Distance}) + (0.379657 * VEmax \cdot LBM^{-1}).$$

Discussion

This study verified that the change in $\dot{V}O_{2max}$ in response to polarized training involving SIT, HIIT, and ET could be predicted by a regression equation based on training status as the distance

Table 2
Preintervention and postintervention physiological and heart-rate variability measures.*

	Preintervention			Postintervention			Effect size
	Mean ± SD	95% CI		Mean ± SD	95% CI		
		Lower	Upper		Lower	Upper	
$\dot{V}O_{2max}$ ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	4.11 ± 0.41	3.92	4.30	4.44 ± 0.49†	4.21	4.67	0.73
$\dot{V}O_{2max} \cdot LBM^{-1}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	67.9 ± 6.3	64.9	70.8	73.4 ± 7.6†	69.8	77.0	0.78
$VEmax \cdot LBM^{-1}$ ($L \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	2.62 ± 0.25	2.50	2.74	2.77 ± 0.27†	2.64	2.90	0.58
HF (ms^2)	127.2 ± 268	1.7	252.6	300.9 ± 556.4	40.5	561.3	0.40
LF (ms^2)	592.6 ± 952.4	145.9	1,037.4	829.6 ± 1,282.3	229.4	1,429.7	0.21
RMSSD (ms)	19.9 ± 19.8	10.6	29.2	28.8 ± 28.4†	15.5	42.1	0.36
$\Delta\dot{V}O_{2max}$ ($L \cdot \text{min}^{-1}$)				0.33 ± 0.26	0.21	0.45	

* $\dot{V}O_{2max}$ = maximal oxygen uptake in the incremental test; $\dot{V}O_{2max} \cdot LBM^{-1}$ = lean body mass-normalized maximal oxygen uptake in the incremental test; $VEmax \cdot LBM^{-1}$ = lean body mass-normalized maximal pulmonary ventilation in the incremental test; HF = high-frequency power spectrum; LF = low-frequency power spectrum; RMSSD = square-root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals; $\Delta\dot{V}O_{2max}$ = postintervention change in maximal oxygen uptake.

† $p < 0.05$ = significant difference between preintervention and postintervention values.

Table 3
Partial correlations between the change in $\dot{V}O_{2\max}$ and all independent variables included in the data analysis.*

	$\Delta\dot{V}O_{2\max}$ (L·min ⁻¹)		
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>t</i>
Age (y)	0.145	0.620	0.509
Distance (km·y ⁻¹)	0.623	0.017†	2.761
$\dot{V}O_{2\max}\cdot LBM^{-1}$ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	-0.234	0.420	-0.835
$VE_{\max}\cdot LBM^{-1}$ (L·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	0.535	0.048†	2.191
RMSSD (ms)	0.309	0.282	1.126
HF (ms ²)	-0.010	0.972	-0.036
LF (ms ²)	-0.122	0.679	-0.424

*Distance = total distance covered by cyclists in previous year preceding the training intervention; $\dot{V}O_{2\max}\cdot LBM^{-1}$ = lean body mass-normalized maximal oxygen uptake in the incremental test; $VE_{\max}\cdot LBM^{-1}$ = lean body mass-normalized maximal pulmonary ventilation in the incremental test; RMSSD = square-root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals; HF = high-frequency power spectrum; LF = low-frequency power spectrum; $\Delta\dot{V}O_{2\max}$ = postintervention change in maximal oxygen uptake; *r* = correlation coefficient; *p* = probability value; *t* = *t*-statistic.

†Significant predictor of $\Delta\dot{V}O_{2\max}$ at *p* < 0.05.

covered in the past year (distance), baseline measure of maximal pulmonary ventilation normalized to LBM ($VE_{\max}\cdot LBM^{-1}$), and HRV (the square-root of the mean squared difference between successive normal-to-normal RR intervals—RMSSD).

Several methods have been developed to indirectly predict $\dot{V}O_{2\max}$ using a wide range of variables including various indices of HRV, population-specific anthropometric characteristics, and measures quantifying the cardiovascular response to submaximal exercise (*r* = 0.66–0.88; SEE = 3.0–5.64 ml·kg⁻¹·min⁻¹) (1,17,23,31,37). The regression equation presented herein is therefore comparable with these equations but is the first model, to the best of our knowledge, designed to predict the change in $\dot{V}O_{2\max}$ in response to a demanding training strategy involving several training protocols in well-trained cyclists.

Our results show that training status, quantified as the distance cycled in the previous year, was the strongest predictor of $\Delta\dot{V}O_{2\max}$ (partial correlation was *r* = 0.68 and *r* = 0.65 in the first model and second model, respectively). This is also in agreement with previous research, in which the effects (measured by $\dot{V}O_{2\max}$ and *P*_{max}) of a similar training intervention involving SIT, HIIT, and ET were maximized if this intervention was preceded by a greater volume of training (22). It was surmised that greater training volume before such a strenuous training protocol minimized muscle damage (as evidenced by a smaller increase in creatine kinase and myoglobin concentrations compared with athletes with lower training volume) and therefore allowed those high-volume athletes to maintain a greater exercise intensity (7,42). It can be inferred that the ability to exercise at a higher intensity for greater duration improved aerobic capacity and is in agreement with present recommendations that exercise be performed above 90% $\dot{V}O_{2\max}$ if the training goal is to increase oxygen uptake (5).

The other significant predictor of $\Delta\dot{V}O_{2\max}$ in the regression equation was baseline $VE_{\max}\cdot LBM^{-1}$ (partial correlation was *r* = 0.47 and *r* = 0.54 in the first model and second model, respectively). The normalization of VE_{\max} to LBM seems to be justified because the literature has accredited oxygen uptake during exercise to have greater diagnostic value when expressed in relation to LBM (11,12). This approach to analyzing oxygen uptake emphasizes the role of muscle tissue as the main recipient of oxygen (11) and excludes adipose tissue, which consumes almost no oxygen and is subject to minimal perfusion (12). These findings strengthen the validity of $VE_{\max}\cdot LBM^{-1}$ as a variable that best

exemplifies the metabolic importance of pulmonary ventilation in regard to metabolically active tissue. It can be surmised that a high baseline $VE_{\max}\cdot LBM^{-1}$ would be indicative of high ventilation during intensive exercise (particularly with a large anaerobic demand) and is indirectly responsible for reducing fatigue and enabling more work to be done due to better excretion of CO₂ (33). This enhanced reduction in the arterial partial pressure of CO₂ (30,36) and prevents the onset of metabolic acidosis (4,25,33) by maintaining pH balance (32). This ventilatory mechanism may be one of the many that explains our previous findings, in which athletes with several years of SIT experience could maintain power output during repeated sprint exercise with minimal change in blood pH compared with athletes with little to no SIT experience (20). It can be summarized that the role of pulmonary ventilation during intensive exercise is twofold: it enhances the rate of lactic acid removal, and also mitigates buildup by delivering adequate oxygen and preventing the incidence of oxygen deficit (21). Both processes are also interrelated because the excretion of CO₂ increases the oxygen affinity of hemoglobin (43).

Heart rate variability has previously been used in the sports domain as a marker of fatigue and for monitoring training status (6). Heart rate variability-associated indices reflective of parasympathetic activity have also been used as an indirect measure of $\dot{V}O_{2\max}$ in both untrained individuals and athletes (31). Previous research has also demonstrated that day-to-day changes in HF can be used to predict exercise performance (9). In this study, we used an indicator of parasympathetic recovery (RMSSD) to predict training-induced change in $\dot{V}O_{2\max}$ in the first regression model. The inclusion of this independent variable resulted in a model with the highest coefficient of determination. It has been suggested that individuals with greater aerobic fitness show accelerated parasympathetic reactivation after exercise (39). This suggests a relationship between postexercise parasympathetic reactivation and the time required for recovery (dependent on fitness/training status) between training sessions or between exercise repetitions. As a result, HRV-associated indices of parasympathetic activity can be used to predict the future response to training and subsequent change in $\dot{V}O_{2\max}$ and fitness status (10,18). It needs to be stressed that the partial correlation between $\Delta\dot{V}O_{2\max}$ and RMSSD (*r* = 0.42) was not statistically significant and that this model did not include $\dot{V}O_{2\max}\cdot LBM^{-1}$. As a result, the association between cardiovascular fitness and the training-induced change in $\dot{V}O_{2\max}$ (16,24) seems to be weak in well-trained cyclists.

Practical Applications

A polarized training intervention of SIT, HIIT, and ET significantly improves $\dot{V}O_{2\max}$. The change in $\dot{V}O_{2\max}$ can be accurately predicted by a regression equation based on training status quantified as the distance cycled in the previous year, maximal pulmonary ventilation normalized to LBM, and the root mean square of the successive differences of normal-to-normal RR intervals measured during postexercise recovery. The inclusion of RMSSD should be used with caution in predicting $\Delta\dot{V}O_{2\max}$ because this variable was not significantly correlated with the outcome. An alternative model, excluding HRV measures, shows a similar coefficient of determination. Athletes and coaches can benefit from predicting the change in $\dot{V}O_{2\max}$ by tailoring exercise protocols to best meet training goals.

Acknowledgments

The authors have no conflicts of interest to disclose. This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education with grant no. NRSA300253 titled Development of Academic Sport. The authors thank Michael Antkowiak for his assistance in preparing the manuscript.

References

- Akalan C, Robergs RA, Kravitz L. Prediction of $\dot{V}O_{2\max}$ from an individualized submaximal cycle ergometer protocol. *J Exerc Physiol* 11: 1–17, 2008.
- Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 60: 2020–2027, 1986.
- Billat LV. Interval training for performance: A scientific and empirical practice. *Sports Med* 31: 13–31, 2001.
- Bruno CM, Valenti M. Acid-base disorders in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A pathophysiological review. *J Biomed Biotechnol* 2012: 915150, 2012.
- Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Med* 43: 313–338, 2013.
- Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Front Physiol* 5: 73, 2014.
- Burt DG, Twist C. The effects of exercise-induced muscle damage on cycling time-trial performance. *J Strength Cond Res* 25: 2185–2192, 2011.
- Cataldo A, Bianco A, Paoli A, et al. Resting sympatho-vagal balance is related to 10 km running performance in master endurance athletes. *Eur J Transl Myol* 28: 7051, 2018.
- Chalencón S, Busso T, Lacour JR, et al. A model for the training effects in swimming demonstrates a strong relationship between parasympathetic activity, performance and index of fatigue. *PLoS One* 7: e52636, 2012.
- Chalencón S, Pichot V, Roche F, et al. Modeling of performance and ANS activity for predicting future responses to training. *Eur J Appl Physiol* 115: 589–596, 2015.
- Cooper AJ, Brage S, Ekelund U, et al. Association between objectively assessed sedentary time and physical activity with metabolic risk factors among people with recently diagnosed type 2 diabetes. *Diabetologia* 57: 73–82, 2014.
- Crespo J, Lavie CJ, Milani RV, et al. Metabolic parameters derived from cardiopulmonary stress testing for prediction of prognosis in patients with heart failure: The ochsner experience. *Ochsner J* 9: 46–53, 2009.
- Duffin J. Role of acid-base balance in the chemoreflex control of breathing. *J Appl Physiol* 99: 2255–2265, 2005.
- Esfarjani F, Laursen PB. Manipulating high-intensity interval training: Effects on $\dot{V}O_{2\max}$, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sport* 10: 27–35, 2007.
- Foster C, Farland CV, Guidotti F, et al. The effects of high intensity interval training vs steady state training on aerobic and anaerobic capacity. *J Sports Sci Med* 14: 747, 2015.
- Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, et al. American College of Sports Medicine Position Stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1334–1359, 2011.
- George JD, Stone WJ, Burkett LN. Non-exercise $\dot{V}O_{2\max}$ estimation for physically active college students. *Med Sci Sports Exerc* 29: 415–423, 1997.
- Hautala AJ, Mäkikallio TH, Kiviniemi A, et al. Cardiovascular autonomic function predicts the response to aerobic training in sedentary subjects. *Med Sci Sports Exerc* 35: 277, 2003.
- Hebisz P, Hebisz R, Zatoń M, Ochmann B, Mielnik N. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 116: 1495–1502, 2016.
- Hebisz R, Hebisz P, Zatoń M. Work efficiency in repeated sets of sprint interval exercise in cyclists. *J Sports Med Phys Fitness* 57: 195–201, 2017.
- Hebisz R, Hebisz P, Zatoń M, Michalik K. Peak oxygen uptake in a sprint interval testing protocol vs. maximal oxygen uptake in an incremental testing protocol and their relationship with cross-country mountain biking performance. *Appl Physiol Nutr Metab* 42: 371–376, 2017.
- Hebisz R, Hebisz P, Borkowski J, Zatoń M. Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise-induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds. *Isokinet Exerc Sci* 27: 1–9, 2018.
- Heil DP, Freedson PS, Ahlquist LE, Price J, Rippe JM. Nonexercise regression models to estimate peak oxygen consumption. *Med Sci Sports Exerc* 27: 599–606, 1995.
- Høydal KL. Effects of exercise intensity on $\dot{V}O_{2\max}$ in studies comparing two or more exercise intensities: A meta-analysis. *Sport Sci Health* 13: 239–252, 2011.
- Kellum JA. Determinants of blood pH in health and disease. *Crit Care* 4: 6–14, 2000.
- Kenney WL. Endurance training increases vagal control of heart rate. In: Dotson DO and Humphrey JH, eds. *Exercise Physiology: Current Selected Research*. New York, NY: AMS Press, 1988. pp. 59–65.
- Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res* 19: 527–533, 2005.
- Le Meur Y, Hausswirth C, Dorel S, et al. Influence of gender on pacing adopted by elite triathletes during a competition. *Eur J Appl Physiol* 106: 535–545, 2009.
- Lucia A, Hoyos J, Chicharro JL. Physiology of professional road cycling. *Sports Med* 31: 325–337, 2001.
- Lühker O, Berger MM, Pohlmann A, et al. Changes in acid–base and ion balance during exercise in normoxia and normobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol* 117: 2251–2261, 2017.
- Marocolo M, Nadal J, Benchimol-Barbosa PR. The effect of an aerobic training program on the electrical remodeling of the heart: High-frequency components of the signal-averaged electrocardiogram are predictors of the maximal aerobic power. *Braz J Med Biol Res* 40: 199–208, 2007.
- McLellan TM. The influence of a respiratory acidosis on the exercise blood lactate response. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 63: 6–11, 1991.
- Meyer T, Faude O, Scharhag J, Urhausen A, Kindermann W. Is lactic acidosis a cause of exercise induced hyperventilation at the respiratory compensation point? *Br J Sports Med* 38: 622–625, 2004.
- Michael S, Graham KS, Oam DG. Cardiac autonomic responses during exercise and post-exercise recovery using heart rate variability and systolic time intervals – a review. *Front Physiol* 8: 301–319, 2017.
- Peçanha T, de Paula-Ribeiro M, Nasario-Junior O, de Lima JR. Post-exercise heart rate variability recovery: A time-frequency analysis. *Acta Cardiol* 68: 607–613, 2013.
- Poon CS, Tin C, Song G. Submissive hypercapnia: Why COPD patients are more prone to CO_2 retention than heart failure patients. *Respir Physiol Neurobiol* 216: 86–93, 2015.
- Sanada K, Midorikawa T, Yasuda T, Kearns CF, Abe T. Development of nonexercise prediction models of maximal oxygen uptake in healthy Japanese young men. *Eur J Appl Physiol* 99: 143–148, 2007.
- Schmitt L, Regnard J, Parmentier AL, et al. Typology of Fatigue by heart rate variability analysis in elite nordic-skiers. *Int J Sports Med* 36: 999–1007, 2015.
- Stanley J, Peake JM, Buchheit M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: Implications for training prescription. *Sports Med* 43: 1259–1277, 2013.
- Stöggl TL, Sperlich B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front Physiol* 5: 33, 2014.
- Tabata I, Irisawa K, Kouzaki M, et al. Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc* 29: 390–395, 1997.
- Twist C, Eston RG. The effect of exercise-induced muscle damage on perceived exertion and cycling endurance performance. *Eur J Appl Physiol* 105: 559–567, 2009.
- Tyuma I. The Bohr effect and the Haldane effect in human hemoglobin. *Jpn J Physiol* 34: 205–216, 1984.
- Ziemann E, Grzywacz T, Łuszczczyk M, et al. Aerobic and anaerobic changes with high-intensity interval training in active college-aged men. *J Strength Cond Res* 25: 1104–1112, 2011.



Article

Comparison of Aerobic Capacity Changes as a Result of a Polarized or Block Training Program among Trained Mountain Bike Cyclists

Paulina Hebisz *, Rafał Hebisz and Maja Drelak

Department of Physiology and Biochemistry, University School of Physical Education in Wrocław, 51-612 Wrocław, Poland; rafalhebisz@poczta.fm (R.H.); maja.drelak.md@gmail.com (M.D.)

* Correspondence: paulinahebisz@interia.pl

Abstract: This study compared the effectiveness of a block training program and a polarized training program in developing aerobic capacity in twenty trained mountain bike cyclists. The cyclists were divided into two groups: the block training program group (BT) and the polarized training program group (PT). The experiment lasted 8 weeks. During the experiment, the BT group alternated between 17-day blocks consisting of dominant low-intensity training (LIT) and 11-day blocks consisting of sprint interval training (SIT), and high-intensity interval training (HIIT), while the PT group performed SIT, HIIT, and LIT simultaneously. Before and after the experiment, the cyclists performed incremental tests during which maximal oxygen uptake ($VO_2\max$), maximal aerobic power (P_{\max}), power achieved at the first ventilatory threshold (P_{VT1}), and at the second ventilatory threshold (P_{VT2}) were measured. $VO_2\max$ increased in BT group (from 3.75 ± 0.67 to 4.00 ± 0.75 L·min⁻¹) and PT group (from 3.66 ± 0.73 to 4.20 ± 0.89 L·min⁻¹). In addition, P_{\max} , P_{VT1} , and P_{VT2} increased in both groups to a similar extent. In conclusion, the polarized training program was more effective in developing the $VO_2\max$ compared to the block program. In terms of developing other parameters characterizing the cyclists' aerobic capacity, the block and polarized program induced similar results.

Keywords: block periodization; polarized training; maximal oxygen uptake



Citation: Hebisz, P.; Hebisz, R.; Drelak, M. Comparison of Aerobic Capacity Changes as a Result of a Polarized or Block Training Program among Trained Mountain Bike Cyclists. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 8865. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168865>

Academic Editor: Pantelis T. Nikolaidis

Received: 15 July 2021

Accepted: 21 August 2021

Published: 23 August 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Competing in mountain bike cycling requires high aerobic capacity [1]. There are several types of training used to develop the aerobic capacity: (1) constant and moderate to low intensity training (LIT) [2–5]; (2) threshold training (TT), in which efforts are at power levels close to lactate or ventilatory threshold [2,3,6]; (3) high-intensity interval training (HIIT), in which a high-intensity effort is repeated with power close to maximal aerobic power [7,8] or higher than maximal aerobic power [9]; and (4) sprint interval training (SIT), which is performed at maximal intensity (all-out efforts) [10] or close to maximal [11].

Numerous publications have described the effects of using isolated types of training [12–14]. Nevertheless, many different types of training influence an athlete's development in the process of sports training. Matveyev's periodization model, which describes the distribution of different types of training over an annual training cycle [15], is a popular concept for sports training planning. According to this concept, the initial phase of an endurance athlete's preparation for the competitive season is dominated by LIT-type training. As the race season approaches, the number and/or volume of LIT-type training decreases, while the volume and number of HIIT-type training increases [16,17]. The effects of simultaneous use of different training types (LIT and HIIT) among endurance athletes were studied by Stöggl and Sperlich [18], calling their concept polarized training. The results of their study demonstrated that a polarized training program allowed for greater development of maximal oxygen uptake ($VO_2\max$), maximal aerobic power (P_{\max}), and power at lactate concentrations of 4 mmol·L⁻¹ after a period of 9 weeks, compared to

performing one type of training selected from HIIT, TT, or LIT. In the group performing polarized training, VO_2max increased by 11.7% [18]. In several articles [19–21], we described the effects of modifying a polarized training program among cyclists. Our modification consisted of simultaneous training, such as SIT (a dozen or so maximal sprints lasting 30 s each, with rest periods lasting 90 s), HIIT (several efforts lasting 3–4 min with power close to maximal aerobic power), and LIT (training at an intensity of about 80% power measured at the second ventilatory threshold— VT_2 , taking 2–3 h). Using this training concept yielded even better results than the concept used in the study by Stöggl and Sperlich [18], as VO_2max increased by 14% after 8 weeks of training [19] and remained at this level for another 4 months of the continuous polarized training program [22].

Issurin [23] criticized the concepts of combining multiple training types in a single training cycle, claiming that this approach prevents the achievement of several peaks of performance over the course of a competition season and promotes the development of excessive stress in the body. In the same publication, Issurin [23] presented the theoretical foundations of the block training concept, which were further developed by him in the next years [24,25]. The concept of block training assumes that in a training cycle of 2–4 weeks, the types of training are focused on shaping a minimum number of properties related to the athlete's qualities for sports competitions; subsequent qualities are shaped in consecutive 2–4-week blocks. However, these publications did not demonstrate the results of research work among endurance athletes [23–25]. A detailed block training program was presented by Solli et al. [16] and Rønnestad et al. [26–28]. These studies involved alternating blocks of about two weeks of LIT training and blocks of several days or about two weeks of high-intensity training (HIIT and/or SIT). Solli et al. [16] found that the block program was as effective in preparing female cross-country skiing athletes for achieving high sports performance at an elite level as Matveyev's classical concept. Rønnestad et al. [27] demonstrated an 8.8% increase in VO_2max after 3 months of performing a block training program. In addition, in one case, VO_2max was observed to increase from $73.8 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ to $87 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ after 58 weeks of such training [28].

Having considered the foregoing, the purpose of the presented study was to compare the effectiveness of a block training program and a polarized training program in the development of aerobic capacity in cyclists. We hypothesized that a block training program would contribute more to the development of maximal oxygen uptake, power output at ventilatory thresholds, and maximal aerobic power compared to a polarized training program.

2. Materials and Methods

2.1. Participants

Twenty national-level mountain bike cyclists participated in the study. The participants were randomly divided into two groups: a group of cyclists performing a block training program (BT group) and a group of cyclists performing a polarized training program (PT group). Each group consisted of 10 cyclists (including 3 women and 7 men, each). The characteristics of the groups are shown in Table 1.

Table 1. Characteristics of experiment participants.

Group	Body Fat (%)	Body Mass (kg)	Body Height (m)	Age (Years)	VO_2max ($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Pmax (W)
BT	12.1 ± 5.3	62.3 ± 8.5	1.73 ± 0.08	18.4 ± 1.6	60.0 ± 4.8	325.5 ± 56.3
PT	10.9 ± 4.9	63.7 ± 8.6	1.74 ± 0.07	18.5 ± 1.9	57.2 ± 5.8	333.2 ± 78.5

VO_2max —maximal oxygen uptake; Pmax —maximal aerobic power; BT—block training group of cyclists; PT—polarized training group of cyclists; data are presented as mean ± standard deviation.

Each participant declared that during the three years prior to entering the experiment, they trained at least 10 h per week (excluding rest periods) and participated in a minimum of 15 cycling races per year.

The study design was approved by the Ethics Committee of the University School of Physical Education and carried out in accordance with the Declaration of Helsinki. Written informed consent was obtained from the participants or their guardians after the study details, procedures, and benefits, and risks were explained.

2.2. Course of the Experiment

Prior to the experiment, each participant limited their weekly training volume to 4 sessions (taking approximately 60 min each) for 6 weeks. During this period, experiment participants did not exercise at an intensity exceeding 70% of their maximal heart rate (HR_{max}). The experiment was conducted over the course of 8 weeks. During the experiment, athletes performed the following types of training:

- Sprint interval training (SIT), consisting of 8–12 repetitions at maximal intensity (all-out effort) lasting 30 s. The training was divided into sets (2–3 sets), with 4 maximal repetitions performed in each set. An active rest of 90 s was used between repetitions, during which the participants exercised at a power not exceeding 50 W. Between the sets, an active rest of 15 min was used, during which the exercise was performed at the power reached at the first ventilatory threshold (P_{VT1}) (measured during the incremental test—described below). During the first part of the experiment (1st–4th week), all cyclists performed 8 repetitions during SIT. In the following weeks of the experiment (5th–8th week), the cyclists performed 12 repetitions during SIT.
- High-intensity interval training (HIIT), consisting of 3–5 efforts lasting 4 min and performed at an intensity of 90% of maximal aerobic power (P_{max}) (as measured during the incremental test). An active rest of 6 min was used between these efforts, during which an effort was performed at P_{VT1} intensity. During the first part of the experiment (1st–4th week), all cyclists performed 3 efforts during HIIT. In the following weeks of the experiment (5th–8th week), the cyclists performed 5 efforts during HIIT.
- Low-intensity training (LIT) of 2–3 h, performed at P_{VT1} intensity. During the first part of the experiment (1st–4th week), all cyclists performed 2 h of LIT. In the following weeks of the experiment (5th–8th week), the cyclists performed 3 h of LIT.
- Passive rest (PR) days were used between the training sessions.

The training program for the BT group was divided into two types of blocks: low-intensity blocks (B_{LI}), lasting 17 days, in which LIT-type training predominated, and high-intensity blocks (B_{HI}), lasting 11 days, in which only SIT and HIIT training were performed. During the experiment, the foregoing blocks were used alternately, as shown in Figure 1.

The training program for the PT group consisted of 4 training cycles that lasted 14 days each (Figure 2).

During the experiment, cyclists in each group completed 40 training sessions each, with 16 days devoted to passive rest. The BT group completed 11 SIT training sessions, 11 HIIT training sessions, and 18 LIT training sessions, while the PT group completed 12 SIT training sessions, 12 HIIT training sessions, and 16 LIT training sessions.

2.3. Laboratory Tests

The participants completed an incremental test before the experiment and 2 days after the experiment. On the following day, after the incremental test, each participant performed a verification test. The tests were performed in controlled laboratory conditions (temperature and humidity controlled) at an Exercise Laboratory of the University School of Physical Education (PN-EN ISO 9001:2001 certified).

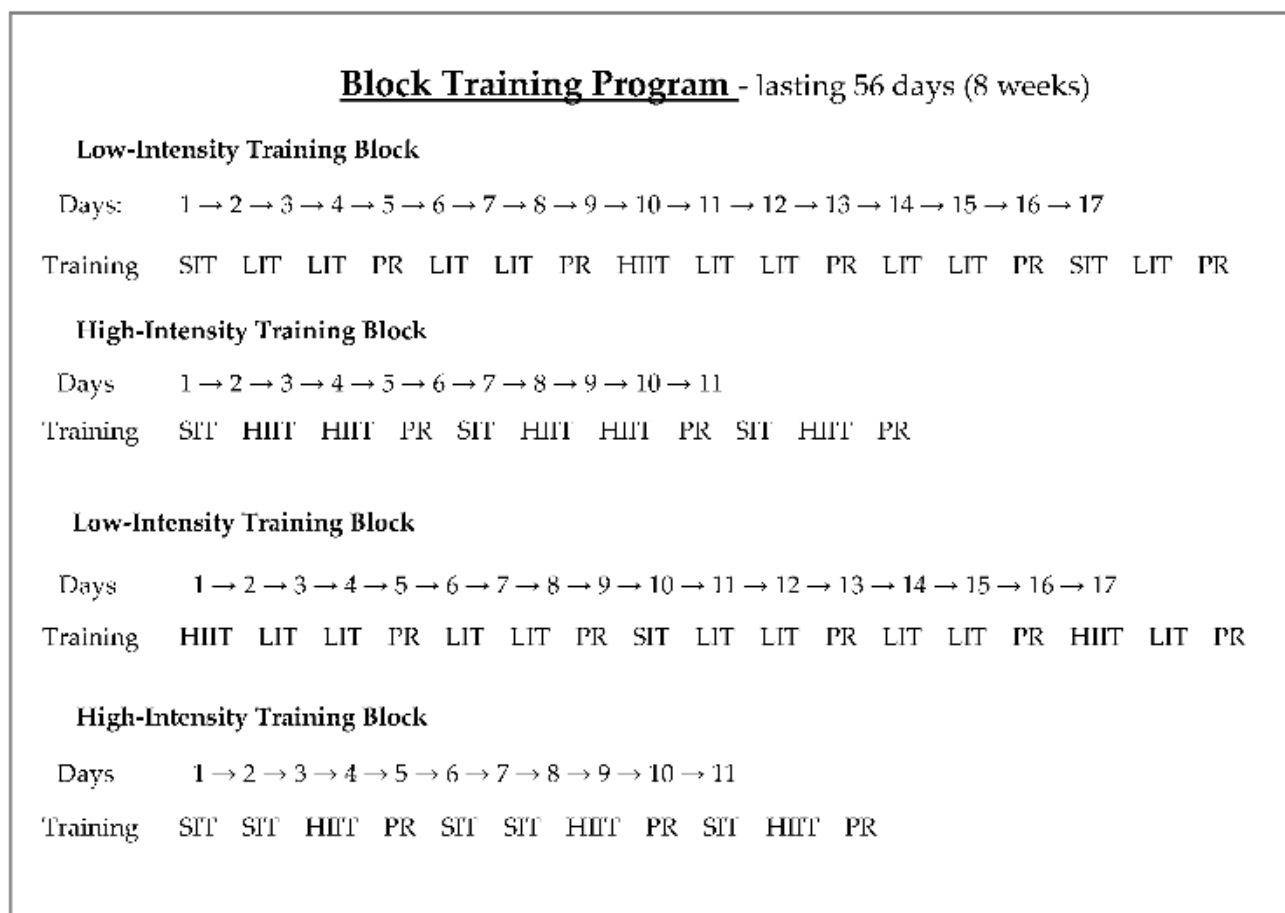


Figure 1. Scheme of the block training program (SIT–sprint interval training; LIT–low-intensity training; PR–passive rest; HIIT–high-intensity interval training).

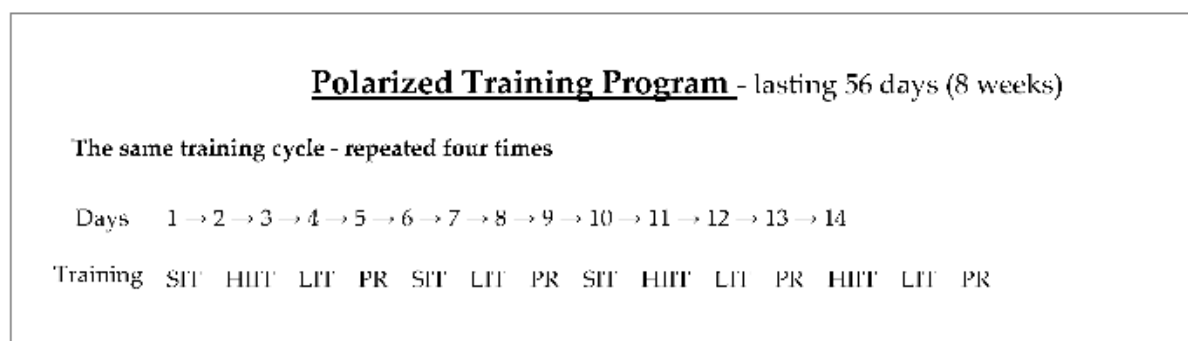


Figure 2. Scheme of the polarized training program (SIT–sprint interval training; HIIT–high-intensity interval training; LIT–low-intensity training; PR–passive rest).

2.3.1. Incremental Test

The test was performed on a Lode Excalibur Sport cycle-ergometer (Lode BV, Groningen, The Netherlands). During the test, exercise started at a load of 40 W in women and 50 W in men, and every 3 min, the load was increased by 40 or 50 W (for women and men, respectively) until the participant refused to continue. The cycle-ergometer was controlled by a computer, which recorded instantaneous power and exercise time. If the participant failed to perform the exercise for 3 min during the last test load, then 0.22 or 0.28 W (for

women and men, respectively) was subtracted from the current power value for each missing second. Thus, the value of maximal aerobic power (P_{max}) was obtained.

Respiratory parameters were recorded during the test. The studied cyclists wore a mask connected to a Quark gas analyzer (Cosmed, Milan, Italy), which was calibrated before the test using a reference gas mixture containing 5% carbon dioxide, 16% oxygen, and 79% nitrogen. Respiratory parameters were measured in each recorded breath (breath-by-breath) and then averaged over 30-s intervals. Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), carbon dioxide excretion ($\dot{V}CO_2$), minute pulmonary ventilation (VE), end-tidal partial pressure for oxygen ($P_{ET}O_2$), and end-tidal partial pressure for carbon dioxide ($P_{ET}CO_2$) were measured. The highest $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, and VE recorded during the incremental test or during the verification test (described below) was considered to be maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$), maximal carbon dioxide excretion ($\dot{V}CO_{2max}$), and maximal minute pulmonary ventilation (VE_{max}), respectively. The first ventilatory threshold (VT1), at a point before the increase in $VE \cdot \dot{V}O_2^{-1}$ and $P_{ET}O_2$ without a concomitant increase in $VE \cdot \dot{V}CO_2^{-1}$ were determined from the respiratory data recording. The second ventilatory threshold (VT2) was determined at the point before the increase in $P_{ET}CO_2$, $VE \cdot \dot{V}CO_2^{-1}$, $VE \cdot \dot{V}O_2^{-1}$, according to the methodology described by Pallares et al. [29]. During testing, heart rate (HR) was recorded using a V800 cardiofrequencimeter (Polar, Oy, Finland). Heart rate (HR_{VT1} and HR_{VT2}), oxygen uptake ($\dot{V}O_{2-VT1}$ and $\dot{V}O_{2-VT2}$), and power (P_{VT1} and P_{VT2}) values were indicated when the threshold of VT1 and VT2 occurred. The same procedure as in determining P_{max} was used when indicating P_{VT1} and P_{VT2} .

2.3.2. Verification Test

A verification test was performed the next day (after the incremental test), also using a Lode Excalibur Sport cycle-ergometer (Lode BV, Groningen, The Netherlands). The test was preceded by a 15-min warm-up, during which the first 5 min was performed at the power achieved at VT1, followed by 10 min of exercise at the power measured midway between the VT1 and VT2 thresholds. After the warm-up, each participant continued to pedal with a 20 W load for 5 min. Verification exercise was then performed at an intensity of 110% P_{max} , lasting until refusal.

During the test, respiratory parameters were measured using the same Quark gas analyzer (Cosmed, Milan, Italy). Measurement of $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, and VE was used to verify the maximal values of these indices.

During the test, heart rate was also recorded using a V800 cardiofrequencimeter (Polar, Oy, Kempele, Finland). HR measurement was used to verify maximal heart rate.

2.4. Statistical Analysis

Before the experiment, the minimum size of the research sample was estimated using the G*Power 3.1.9.4 software. It was assumed that the expected effect size level would be above 0.30, and the expected power of the analysis would be at least 80%. On this basis, the minimum total sample size is 18 people was established.

Statistica 13.1 was used to process the data statistically. The Shapiro–Wilk test was performed in order to assess the normality of the distribution of the examined parameters. Arithmetic mean, standard deviation, and confidence interval were calculated. Analysis of variance with repeated measurements and the Scheffe post-hoc test were used to determine whether there were statistically significant differences in the evaluated parameters between groups and tests.

It was assumed that in each of the performed analyses, a probability level of $p < 0.05$ is required for the result to be statistically significant.

3. Results

Analysis of variance demonstrated a statistically significant main effect of repeated measurements for $\dot{V}O_{2max}$ measured in $L \cdot \min^{-1}$ ($p = 0.000$; $F = 81.03$; $\eta^2 = 0.82$), $\dot{V}O_{2max}$ measured in $mL \cdot \min^{-1} \cdot kg^{-1}$ ($p = 0.000$; $F = 78.31$; $\eta^2 = 0.81$), $\dot{V}CO_{2max}$ ($p = 0.000$;

F = 21.88; $\eta^2 = 0.55$), VEmax ($p = 0.003$; F = 11.73; $\eta^2 = 0.39$) and Pmax ($p = 0.000$; F = 41.29; $\eta^2 = 0.70$). A statistically significant interaction effect of group and repeated measurements was demonstrated for VO₂max measured in L·min⁻¹ ($p = 0.003$; F = 11.93; $\eta^2 = 0.40$) and measured in mL·min⁻¹·kg⁻¹ ($p = 0.003$; F = 11.79; $\eta^2 = 0.40$), as well as VCO₂max ($p = 0.021$; F = 6.37; $\eta^2 = 0.26$). Based on post-hoc tests, it was shown that VO₂max and Pmax increased statistically significantly in both BT and PT groups. In addition, VCO₂max and VEmax increased significantly in the PT group (Table 2).

Table 2. Maximal values of respiratory parameters, heart rate, and aerobic power before and after the experiment in the block training group and the polarized training group.

	Pre-Experiment			Post-Experiment		
	Mean ± SD	95% CI Lower Upper		Mean ± SD	95% CI Lower Upper	
Block training group of cyclists						
VO ₂ max [L·min ⁻¹]	3.75 ± 0.67	3.29	4.22	4.00 ± 0.75 **	3.49	4.50
VO ₂ max [mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹]	60.0 ± 4.8	56.6	63.4	63.6 ± 4.3 *	60.5	66.6
VCO ₂ max [L·min ⁻¹]	4.25 ± 0.84	3.64	4.85	4.41 ± 0.89	3.77	5.04
VEmax [L·min ⁻¹]	141.8 ± 19.3	128.0	155.7	148.7 ± 28.7	128.2	169.2
HRmax [bpm]	195.3 ± 12.2	186.5	204.1	194.5 ± 8.9	188.1	200.9
Pmax [W]	325.5 ± 56.3	285.2	365.8	347.9 ± 61.7 **	303.8	392.0
Polarized training group of cyclists						
VO ₂ max [L·min ⁻¹]	3.66 ± 0.73	3.14	4.18	4.20 ± 0.89 **	3.56	4.84
VO ₂ max [mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹]	57.2 ± 5.8	53.1	61.3	65.3 ± 7.8 **	59.7	70.8
VCO ₂ max [L·min ⁻¹]	4.25 ± 0.81	3.67	4.83	4.79 ± 1.01 **	4.07	5.51
VEmax [L·min ⁻¹]	144.6 ± 26.4	125.7	163.5	161.2 ± 31.9 *	138.3	184.0
HRmax [bpm]	190.5 ± 5.6	186.5	194.5	190.4 ± 5.5	186.4	194.4
Pmax [W]	333.2 ± 78.5	277.0	389.4	353.6 ± 75.4 **	299.7	407.5

VO₂max—maximal oxygen uptake; VCO₂max—maximal carbon dioxide excretion; VEmax—maximal minute pulmonary ventilation; HRmax—maximal heart rate; Pmax—maximal aerobic power; * $p < 0.05$ —significant difference between pre- and post-experiment value; ** $p < 0.01$ —significant difference between pre- and post-experiment value; SD—standard deviation; CI—confidence intervals.

Analysis of variance demonstrated a statistically significant main effect of repeated measurements for P_{VT1} ($p = 0.000$; F = 24.48; $\eta^2 = 0.58$), VO_{2-VT1} measured in L·min⁻¹ ($p = 0.000$; F = 24.25; $\eta^2 = 0.57$), P_{VT2} ($p = 0.000$; F = 52.07; $\eta^2 = 0.74$), VO_{2-VT2} measured in L·min⁻¹ ($p = 0.000$; F = 66.49; $\eta^2 = 0.79$). A statistically significant interaction effect of group and repeated measurements was demonstrated for VO_{2-VT2} measured in %VO₂max ($p = 0.036$; F = 5.13; $\eta^2 = 0.22$). Post-hoc tests showed that P_{VT1}, P_{VT2} and VO_{2-VT2} increased statistically significantly in both BT and PT groups. In addition, VO_{2-VT1} significantly increased in the PT group (Table 3).

Table 3. Power, oxygen uptake, and heart rate achieved at ventilatory thresholds before and after the experiment in the block training group and the polarized training group.

	Pre-Experiment			Post-Experiment		
	Mean ± SD	95% CI Lower Upper		Mean ± SD	95% CI Lower Upper	
Block training group of cyclists						
P _{VT1} [W]	152.9 ± 32.9	129.4	176.4	178.8 ± 39.7 *	150.4	207.2
VO _{2-VT1} [L·min ⁻¹]	2.45 ± 0.38	2.18	2.72	2.64 ± 0.49	2.29	2.98
VO _{2-VT1} [%VO ₂ max]	65.7 ± 4.7	62.3	69.0	67.4 ± 7.0	62.3	72.4
HR _{VT1} [bpm]	158.2 ± 12.5	149.3	167.1	158.7 ± 11.9	150.2	167.2
P _{VT2} [W]	228.0 ± 38.7	200.3	255.7	257.2 ± 37.6 **	230.3	284.1
VO _{2-VT2} [L·min ⁻¹]	3.07 ± 0.47	2.74	3.41	3.38 ± 0.45 **	3.06	3.71
VO _{2-VT2} [%VO ₂ max]	81.2 ± 3.6	78.6	83.8	85.4 ± 5.9	81.1	89.6
HR _{VT2} [bpm]	179.6 ± 11.2	171.6	187.6	179.4 ± 12.8	170.2	188.6

Table 3. Cont.

	Pre-Experiment			Post-Experiment		
	Mean \pm SD	95% CI Lower Upper		Mean \pm SD	95% CI Lower Upper	
Polarized training group of cyclists						
P _{VT1} [W]	162.0 \pm 47.9	127.7	196.3	188.5 \pm 53.1 *	150.6	226.4
VO _{2-VT1} [L·min ⁻¹]	2.53 \pm 0.46	2.20	2.86	2.83 \pm 0.56 **	2.43	3.22
VO _{2-VT1} [%VO _{2max}]	69.7 \pm 7.5	64.3	75.0	67.9 \pm 4.8	64.5	71.4
HR _{VT1} [bpm]	149.8 \pm 15.7	138.6	161.0	150.9 \pm 13.2	141.4	160.4
P _{VT2} [W]	234.1 \pm 59.9	191.2	277.0	261.7 \pm 58.8 **	219.7	303.7
VO _{2-VT2} [L·min ⁻¹]	3.08 \pm 0.58	2.66	3.50	3.49 \pm 0.65 **	3.02	3.95
VO _{2-VT2} [%VO _{2max}]	84.4 \pm 7.3	79.1	89.6	83.9 \pm 5.5	79.9	87.8
HR _{VT2} [bpm]	172.3 \pm 10.4	164.9	179.7	172.1 \pm 7.6	166.6	177.6

P_{VT1}—power achieved at the first ventilatory threshold; VO_{2-VT1}—oxygen uptake achieved at the first ventilatory threshold; HR_{VT1}—heart rate achieved at the first ventilatory threshold; P_{VT2}—power achieved at the second ventilatory threshold; VO_{2-VT2}—oxygen uptake achieved at the second ventilatory threshold; HR_{VT2}—heart rate achieved at the second ventilatory threshold; * $p < 0.05$ —significant difference between pre- and post-experiment value; ** $p < 0.01$ —significant difference between pre- and post-experiment value; SD—standard deviation; CI—confidence intervals.

The main effects analysis showed no statistically significant differences in any of the analyzed parameters between the groups.

4. Discussion

The presented study demonstrated that both block training and polarized training are effective strategies for developing aerobic capacity among trained cyclists. Both training programs allowed for increases in VO_{2max}, P_{max}, and power achieved at ventilatory thresholds. However, analysis of variance for VO_{2max} showed a statistically significant interaction effect of group and repeated measures, as the increase in this parameter was greater following the polarized training program compared to the block training program. In an earlier study [19], we showed that VO_{2max} increased by as much as 14% as a result of 8 weeks polarized training program performed by a group of competitive mountain bike cyclists. We have also shown that a polarized training program leads to an increase in VEmax, the estimated heart stroke volume [19], and endothelial growth factor levels [30]. Based on the papers cited above, it can be concluded that a polarized training program is a stimulus that comprehensively develops the determinants of VO_{2max}. The studies presented in this paper confirmed that a polarized training program leads to significant changes in VO_{2max}, which increased by 540 mL or 14.8% among cyclists with a baseline VO_{2max} of 57.2 mL·min⁻¹·kg⁻¹. Among other authors, Stöggl and Sperlich [18] obtained results similar to those presented in this paper. They showed that after 9 weeks of performing a polarized training program, consisting of LIT and HIIT training (4 × 4 min at an intensity of 90–95% HR_{max}), VO_{2max} increased by 11.7% in a group of athletes with a baseline VO_{2max} of 62.6 mL·min⁻¹·kg⁻¹. In a study by Stöggl and Sperlich [18], HIIT training was performed two times per week. However, these studies did not include the use of SIT-type training, which may have resulted in a slightly smaller increase in VO_{2max} compared to our study, in which such training was performed. This suggestion comes from data published by Parmar et al. [31]. They demonstrated that among athletes (characterized by a VO_{2max} of approximately 60 mL·min⁻¹·kg⁻¹), the size of the increase in VO_{2max} in response to a training program is correlated with the weekly total training duration at intensities exceeding power at VT2 [31]. In the present study, more interval efforts were scheduled to be performed. Therefore, the participants trained longer at intensities exceeding the power achieved at VT2, compared to the study by Stöggl and Sperlich [18]. In contrast to the results presented in this paper, Treff et al. [32] showed no change in VO_{2max} among rowers resulting from using a polarized training program consisting of LIT and HIIT training. Nevertheless, the results reported by the foregoing authors may differ from the presented study because of two reasons. The first is the lack

of SIT training in the protocol by Treff et al. [32]. The second is the difference in baseline performance level. Treff et al. [32] studied highly trained rowers with a baseline VO_2max of $68 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, while our study involved trained cyclists with a baseline VO_2max of $57\text{--}60 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Other authors' studies on polarized training strategies, including LIT and HIIT, have shown improvements in other parameters characterizing aerobic capacity in trained athletes. Stöggl and Sperlich [18] showed that Pmax increased by 5.1%, whereas power at the lactate threshold increased by 8.1%. Similarly, in a study by Neal et al. [33], Pmax and power at lactate threshold increased by 8% and 9%, respectively, among cyclists after a 6 week training period. Furthermore, Muñoz et al. [34] found that using the 10 weeks polarized training program resulted in improved time (by 5%) in a 10-km running competition. In addition, the study presented here showed a significant improvement in Pmax (by 20.4 W or 6.1%) and power at VT1 (by 26.5 W or 16.4%) and VT2 threshold (by 27.6 W or 11.8%), proving the effectiveness of using a training program consisting of LIT, HIIT, and SIT.

In the present study, the increase in VO_2max resulting from the block training program was smaller compared to the increase achieved as a result of the polarized training program and amounted to 6.7%. The results achieved by other authors who studied the effectiveness of block training programs in the development of VO_2max are mixed [26,27,35,36]. Breil et al. [35] reported changes in this parameter at 6% in alpine skiers after 11 days of training, involving completing three training blocks consisting of HIIT training ($4 \times 4 \text{ min}$ at an intensity of 90–95% HRmax). Rønnestad et al. [26] achieved a 4.6% increase in VO_2max in a group of cyclists (with a baseline VO_2max of $62 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) after completing a one-week block containing five HIIT-type training and a 3-week block consisting of dominant LIT-type training (over that time, HIIT training was performed once per week). Rønnestad et al. [27] also described the effects of repeating the foregoing training program three times over a 3-month period. They achieved a better effect by doing so, as their VO_2max increased by 8.8%. On the other hand, VO_2max did not increase among young cross-country skiers (characterized by a baseline VO_2max of $60 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) as a result of a block training program [36]. This program was performed for 6 weeks. During that time, participants alternated between two blocks of HIIT training (with nine training sessions performed in a single block) and two blocks of dominant LIT training. Regardless of differences in the design of block training programs, even the most effective block training program, described by Rønnestad et al. [27], was less effective in developing VO_2max than the polarized program described in the present study. The polarized training program proposed by us is effective in the development of maximal oxygen uptake because SIT, HIIT, and LIT training can simultaneously stimulate several adaptive mechanisms [19]. These mechanisms include the development of cardiac output by increasing the blood volume, increasing the minute pulmonary ventilation, developing capillaries in the muscles, and intensifying erythropoiesis through efforts to provoke oxygen deficiency [19]. We believe that the above factors may have a cumulative effect in the form of significant changes in VO_2max . In the block training program, the mechanism described above may have been weaker because the high-intensity training sessions were performed in separate blocks than the low-intensity (and high-volume) training sessions. Perhaps that is why there was no accumulation of the above-mentioned adaptation factors as a result of BT.

One of the limitations of the presented study was the small number of participants (20 cyclists). However, when conducting research among athletes, it is difficult to find a large group of participants representing the same sports discipline, being of similar age, and representing a similar level of performance and aerobic capacity. In addition, some athletes do not consent to participate in scientific research. Another limitation of the presented study was the lack of a group of untrained people. Therefore, it is not known what changes can be expected as a result of the use of polarized or block training programs among untrained people. Simultaneously, it is an indication for future research, checking

the effectiveness of the proposed training programs among people with a lower level of aerobic capacity. The training program described in the presented manuscript included low-intensity training and two types of interval training: SIT and HIIT, which resulted in a high exercise load among the studied cyclists. It is not known if such a combination of training would not be too exhausting among untrained people. Moreover, apart from the maximal oxygen uptake, changes in other parameters were similar in the BT and PT groups. As such, further research into the effects of block and polarized training programs may be needed. Coordination of the response of several human body systems to the effort has recently been described as a measure of aerobic capacity [37,38]. Some authors believe that cardiovascular and respiratory systems coordination is a sensitive measure of training effects [39]. Therefore, future research should evaluate changes in cardiovascular and respiratory systems coordination as a result of PT and BT programs.

The presented results can certainly be used to plan training programs by coaches and endurance athletes whose competition is characterized by variable intensity, repeatedly reaching the maximal intensity.

5. Conclusions

When applied to a group of trained mountain bike cyclists, the polarized training program proved to be a more effective method to develop VO_2max than the block training program. In terms of the development of maximal aerobic power and power achieved at ventilatory thresholds, the block and polarized training program induced similar results.

Author Contributions: Conceptualization, P.H. and R.H.; methodology, P.H.; investigation, all authors; data curation, all authors; writing—original draft preparation, P.H. and M.D.; writing—review and editing, R.H. and P.H.; supervision, M.D.; funding acquisition, all authors. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by the University School of Physical Education in Wroclaw under grant number PN/BK/2020/07.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by Ethics Committee of the University School of Physical Education in Wroclaw (protocol code: 39/2019; date of approval: 26 November 2019).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Impellizzeri, F.M.; Rampinini, E.; Sassi, A.; Mogroni, P.; Marcora, S. Physiological correlates to off-road cycling performance. *J. Sports Sci.* **2005**, *23*, 41–47. [[CrossRef](#)]
2. Enoksen, E.; Shalfawi, S.A.; Tønnessen, E. The effect of high- vs. low-intensity training on aerobic capacity in well-trained male middle-distance runners. *J. Strength Cond. Res.* **2011**, *25*, 812–818. [[CrossRef](#)]
3. Esteve-Lanao, J.; Foster, C.; Seiler, S.; Lucia, A. Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2007**, *21*, 943–949. [[CrossRef](#)]
4. Boullosa, D. Post-activation performance enhancement strategies in sport: A brief review for practitioners. *Hum. Mov.* **2021**, *22*, 101–109. [[CrossRef](#)]
5. Da Silva, K.A.; Lopes, J.A.; de Souza, E.G.; Stanganelli, L.C.R. Effect of a training macrocycle on physiological indicators, body composition, and explosiveness among recreational runners. *Hum. Mov.* **2020**, *21*, 49–56. [[CrossRef](#)]
6. Neufeld, E.V.; Wadowski, J.; Boland, D.M.; Dolezal, B.A.; Cooper, C.B. Heart rate acquisition and threshold-based training increases oxygen uptake at metabolic threshold in triathletes: A pilot study. *Int. J. Exerc. Sci.* **2019**, *12*, 144–154.
7. Thum, J.S.; Parsons, G.; Whittle, T.; Astorino, T.A. High-intensity interval training elicits higher enjoyment than moderate intensity continuous exercise. *PLoS ONE* **2017**, *12*, e0166299. [[CrossRef](#)]
8. Perry, C.G.; Heigenhauser, G.J.; Bonen, A.; Spriet, L.L. High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal muscle. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2008**, *33*, 1112–1123. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
9. Sheykhlovand, M.; Khalili, E.; Agha-Alinejad, H.; Gharaat, M. Hormonal and physiological adaptations to high-intensity interval training in professional male canoe polo athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2016**, *30*, 859–866. [[CrossRef](#)]

10. Hebisz, R.; Hebisz, P.; Zatoń, M.; Michalik, K. Peak oxygen uptake in a sprint interval testing protocol vs. maximal oxygen uptake in an incremental testing protocol and their relationship with cross-country mountain biking performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2017**, *42*, 371–376. [[CrossRef](#)]
11. Tabata, I.; Nishimura, K.; Kouzaki, M.; Hirai, Y.; Ogita, F.; Miyachi, M.; Yamamoto, K. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Med. Sci. Sports Exerc.* **1996**, *28*, 1327–1330. [[CrossRef](#)]
12. Wen, D.; Utesch, T.; Wu, J.; Robertson, S.; Liu, J.; Hu, G.; Chen, H. Effects of different protocols of high intensity interval training for VO₂max improvements in adults: A meta-analysis of randomised controlled trials. *J. Sci. Med. Sport.* **2019**, *22*, 941–947. [[CrossRef](#)]
13. MacInnis, M.J.; Gibala, M.J. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *J. Physiol.* **2017**, *595*, 2915–2930. [[CrossRef](#)]
14. Sloth, M.; Sloth, D.; Overgaard, K.; Dalgas, U. Effects of sprint interval training on VO₂max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2013**, *23*, e341–e352. [[CrossRef](#)]
15. Matveyev, L.P. *Periodization of Athletic Training*; Fizkultura I Sport: Moscow, Russia, 1965.
16. Solli, G.S.; Tønnessen, E.; Sandbakk, Ø. Block vs. traditional periodization of HIT: Two different paths to success for the world's best cross-country skier. *Front. Physiol.* **2019**, *10*, 375. [[CrossRef](#)]
17. Tønnessen, E.; Svendsen, I.S.; Rønnestad, B.R.; Hisdal, J.; Haugen, T.A.; Seiler, S. The annual training periodization of 8 world champions in orienteering. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2015**, *10*, 29–38. [[CrossRef](#)]
18. Stöggl, T.; Sperlich, B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front. Physiol.* **2014**, *5*, 33. [[CrossRef](#)]
19. Hebisz, P.; Hebisz, R.; Zatoń, M.; Ochmann, B.; Mielnik, N. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2016**, *116*, 1495–1502. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
20. Hebisz, R.; Hebisz, P.; Borkowski, J.; Zatoń, M. Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise-induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds. *Isokinet. Exerc. Sci.* **2019**, *27*, 21–29. [[CrossRef](#)]
21. Hebisz, R.; Hebisz, P.; Danek, N.; Michalik, K.; Zatoń, M. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. *J. Strength Cond. Res.* **2020**. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Hebisz, R.; Hebisz, P.; Zatoń, M. Effects of long-term sprint interval training on work efficiency and acid-base balance in mountain bike cyclists. *Med. Sport* **2019**, *72*, 12–24. [[CrossRef](#)]
23. Issurin, V. Block periodization versus traditional training theory: A review. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* **2008**, *48*, 65–75. [[PubMed](#)]
24. Issurin, V.B. New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med.* **2010**, *40*, 189–206. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Issurin, V.B. Benefits and limitations of block periodized training approaches to athletes' preparation: A review. *Sports Med.* **2016**, *46*, 329–338. [[CrossRef](#)]
26. Rønnestad, B.R.; Hansen, J.; Ellefsen, S. Block periodization of high-intensity aerobic intervals provides superior training effects in trained cyclists. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2014**, *24*, 34–42. [[CrossRef](#)]
27. Rønnestad, B.R.; Ellefsen, S.; Nygaard, H.; Zacharoff, E.E.; Vikmoen, O.; Hansen, J.; Hallén, J. Effects of 12 weeks of block periodization on performance and performance indices in well-trained cyclists. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2014**, *24*, 327–335. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Rønnestad, B.R.; Hansen, J. A scientific approach to improve physiological capacity of an elite cyclist. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2018**, *13*, 390–393. [[CrossRef](#)]
29. Pallarés, J.G.; Morán-Navarro, R.; Ortega, J.F.; Fernández-Eliás, V.E.; Mora-Rodríguez, R. Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well-trained cyclists. *PLoS ONE* **2016**, *11*, e0163389. [[CrossRef](#)]
30. Hebisz, P.; Hebisz, R.; Murawska-Ciałowicz, E.; Zatoń, M. Changes in exercise capacity and serum BDNF following long-term sprint interval training in well-trained cyclists. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2019**, *44*, 499–506. [[CrossRef](#)]
31. Parmar, A.; Jones, T.W.; Hayes, P.R. The dose-response relationship between interval-training and VO₂max in well-trained endurance runners: A systematic review. *J. Sports Sci.* **2021**, *19*, 1–18. [[CrossRef](#)]
32. Treff, G.; Winkert, K.; Sareban, M.; Steinacker, J.M.; Becker, M.; Sperlich, B. Eleven-week preparation involving polarized intensity distribution is not superior to pyramidal distribution in national elite rowers. *Front. Physiol.* **2017**, *8*, 515. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
33. Neal, C.M.; Hunter, A.M.; Brennan, L.; O'Sullivan, A.; Hamilton, D.L.; De Vito, G.; Galloway, S.D. Six weeks of a polarized training-intensity distribution leads to greater physiological and performance adaptations than a threshold model in trained cyclists. *J. Appl. Physiol.* **2013**, *114*, 461–471. [[CrossRef](#)]
34. Muñoz, I.; Seiler, S.; Bautista, J.; España, J.; Larumbe, E.; Esteve-Lanao, J. Does polarized training improve performance in recreational runners? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2014**, *9*, 265–272. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Breil, F.A.; Weber, S.N.; Koller, S.; Hoppeler, H.; Vogt, M. Block training periodization in alpine skiing: Effects of 11-day HIT on VO₂max and performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2010**, *109*, 1077–1086. [[CrossRef](#)]
36. McGawley, K.; Juudas, E.; Kazior, Z.; Ström, K.; Blomstrand, E.; Hansson, O.; Holmberg, H.C. No additional benefits of block-over evenly-distributed high-intensity interval training within a polarized microcycle. *Front. Physiol.* **2017**, *8*, 413. [[CrossRef](#)]

-
37. Balagué, N.; Hristovski, R.; Almarcha, M.; Garcia-Retortillo, S.; Ivanov, P.C. Network physiology of exercise: Vision and perspectives. *Front. Physiol.* **2020**, *11*, 611550. [[CrossRef](#)]
 38. Gulyaeva, V.V.; Uryumtsev, D.Y.; Zinchenko, M.I.; Melnikov, V.N.; Balioz, N.V.; Krivoschekov, S.G. Cardiorespiratory coordination in hypercapnic test before and after high-altitude expedition. *Front. Physiol.* **2021**, *12*, 673570. [[CrossRef](#)]
 39. Garcia-Retortillo, S.; Gacto, M.; O'Leary, T.J.; Noon, M.; Hristovski, R.; Balagué, N.; Morris, M.G. Cardiorespiratory coordination reveals training-specific physiological adaptations. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2019**, *119*, 1701–1709. [[CrossRef](#)]


Skany oświadczeń współautorów prac zespołowych,
wchodzących w skład cyklu siedmiu oryginalnych prac
naukowych powiązanych tematycznie

Wrocław, 27.06.2023.

dr Paulina Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: **Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Zatoń Marek, Ochmann Bartosz, Mielnik Natalia. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. European Journal of Applied Physiology, 2016; 116(8): 1495-1502. (IF = 2,130; MEiN = 35 pkt.)**, jest następujący: udział w tworzeniu koncepcji pracy, udział w przeprowadzeniu badań, graficzne przedstawienie wyników badań, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

.....

Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

dr Rafał Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Paulina, **Hebisz Rafał**, Zatoń Marek, Ochmann Bartosz, Mielnik Natalia. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 2016; 116(8): 1495-1502. (IF = 2,130; MEiN = 35 pkt.), jest następujący: postawienie hipotezy badawczej, udział w przetwarzaniu danych, wykonanie analizy statystycznej, interpretowanie wyników i wyciąganie wniosków z badań, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji z czasopisma.


.....

Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

Prof. dr hab. Marek Zatoń
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, **Zatoń Marek**, Ochmann Bartosz, Mielnik Natalia. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 2016; 116(8): 1495-1502. (IF = 2,130; MEiN = 35 pkt.), mój udział polegał na konsultacji i opiece merytorycznej oraz zdobywaniu środków finansowych.



.....
Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

dr Bartosz Ochmann
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Zatoń Marek, **Ochmann Bartosz**, Mielnik Natalia. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 2016; 116(8): 1495-1502. (IF = 2,130; MEiN = 35 pkt.), jest następujący: udział w wykonaniu korekty tekstu artykułu przed przesłaniem do czasopisma, wykonanie dodatkowych analiz po otrzymaniu recenzji artykułu, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji.



.....
Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

Natalia Tryler (Mielnik)
LKS ATOM Dzierżonów

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie tej pracy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Zatoń Marek, Ochmann Bartosz, **Mielnik Natalia**. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. European Journal of Applied Physiology, 2016; 116(8): 1495-1502. (IF = 2,130; MEiN = 35 pkt.), jest następujący: udział w zbieraniu piśmiennictwa, udział w przeprowadzeniu badań, udział w zbieraniu danych.

.....*Natalia Tryler*.....

Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

dr Paulina Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Murawska-Ciałowicz Eugenia, Zatoń Marek. Changes in exercise capacity and serum BDNF following long-term sprint interval training in well-trained cyclists. Applied Physiology Nutrition and Metabolism, 2019; 44(5): 499-506. (IF = 2,522; MEiN = 70 pkt.), jest następujący: udział w prowadzeniu badań, udział w zbieraniu danych, udział w zbieraniu piśmiennictwa, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

Paulina Hebisz.....

Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

dr Rafał Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Paulina, **Hebisz Rafał**, Murawska-Ciałowicz Eugenia, Zatoń Marek. Changes in exercise capacity and serum BDNF following long-term sprint interval training in well-trained cyclists. Applied Physiology Nutrition and Metabolism, 2019; 44(5): 499-506. (IF = 2,522; MEiN = 70 pkt.), jest następujący: udział w zbieraniu i przetwarzaniu danych, wykonanie analizy statystycznej, udział w interpretowaniu wyników i wyciąganiu wniosków z badań, wykonanie korekty artykułu przed wysłaniem do czasopisma, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji.

.....

Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

Prof. dr hab. Eugenia Murawska-Ciałowicz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, **Murawska-Ciałowicz Eugenia**, Zatoń Marek. Changes in exercise capacity and serum BDNF following long-term sprint interval training in well-trained cyclists. Applied Physiology Nutrition and Metabolism, 2019; 44(5): 499-506. (IF = 2,522; MEiN = 70 pkt.), jest następujący: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w zaplanowaniu badań i wyborze metodyki badań, udział w wykonaniu korekty tekstu artykułu przed wysłaniem do czasopisma, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji.



Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

Prof. dr hab. Marek Zatoń
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Murawska-Ciałowicz Eugenia, **Zatoń Marek**. Changes in exercise capacity and serum BDNF following long-term sprint interval training in well-trained cyclists. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 2019; 44(5): 499-506. (TF = 2,522; MEiN = 70 pkt.), mój udział polegał na zaplanowaniu badań i wyborze metodyki badań, konsultacji i opiece merytorycznej, zdobywaniu środków finansowych.



.....
Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

dr Rafał Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: **Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Borkowski Jacek, Zatoń Marek. Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise-induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds. Isokinetics and Exercise Science, 2019; 27(1): 21-29. (IF = 0,474; MEiN = 40 pkt.)**, jest następujący: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, przetwarzanie danych, wykonanie analizy statystycznej, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji z czasopisma.

Rafał Hebisz

.....
Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

dr Paulina Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**, Borkowski Jacek, Zatoń Marek. Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise- induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds. *Isokinetics and Exercise Science*, 2019; 27(1): 21-29. (IF = 0,474; MEiN = 40 pkt.), jest następujący: udział w zaplanowaniu i wyborze metodyki badań, udział w interpretowaniu wyników i wyciąganiu wniosków z badań, graficzne przedstawienie wyników badań, zbieranie piśmiennictwa, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji, prowadzenie korespondencji z czasopismem.


.....

Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

dr Jacek Borkowski
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, **Borkowski Jacek**, Zatoń Marek. Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise-induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds. *Isokinetics and Exercise Science*, 2019; 27(1): 21-29. (IF = 0,474; MEiN = 40 pkt.), jest następujący: udział w tworzeniu koncepcji pracy, udział w przeprowadzeniu badań, udział w zbieraniu danych, udział w wykonaniu korekty tekstu artykułu.



Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

Prof. dr hab. Marek Zatoń
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Borkowski Jacek, **Zatoń Marek**. Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise- induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds. *Isokinetics and Exercise Science*, 2019; 27(1): 21-29. (IF = 0,474; MEiN = 40 pkt.), mój udział polegał na konsultacji i opiece merytorycznej oraz zdobywaniu środków finansowych.



.....
Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

dr Paulina Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał. The effect of polarized training (SIT, HIIT, and ET) on muscle thickness and anaerobic power in trained cyclists. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021; 18(12): 6547. (IF = 4,614; MFiN = 140 pkt.), jest następujący: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w zaplanowaniu badań i wyborze metodyki badań, udział w prowadzeniu badań, udział w zbieraniu i przetwarzaniu danych, interpretowanie wyników i wyciąganie wniosków z badań, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, zbieranie piśmiennictwa, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

..... Paulina Hebisz

Podpis

Wrocław, 27.06.2023.

dr Rafał Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Paulina, **Hebisz Rafał**. The effect of polarized training (SIT, HIIT, and ET) on muscle thickness and anaerobic power in trained cyclists. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021; 18(12): 6547. (IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.), jest następujący: udział w tworzeniu koncepcji pracy, udział w zaplanowaniu badań i wyborze metodyki badań, udział w prowadzeniu badań, wykonanie analizy statystycznej, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, zdobywanie środków finansowych.

.....

Podpis

Wrocław, 03.07.2023.

dr Paulina Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Jastrzębska Agnieszka. An attempt to predict changes in heart rate variability in the training intensification process among cyclists. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021; 18(14): 7636. (IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.), jest następujący: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w zaplanowaniu badań i wyborze metodyki badań, udział w przeprowadzeniu badań, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, zbieranie piśmiennictwa, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

.....Paulina Hebisz.....

Podpis

Wrocław, 03.07.2023.

dr Rafał Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Paulina, **Hebisz Rafał**, Jastrzębska Agnieszka. An attempt to predict changes in heart rate variability in the training intensification process among cyclists. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021; 18(14): 7636. (IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.), jest następujący: udział w tworzeniu koncepcji pracy, udział w przeprowadzeniu badań, udział w zbieraniu i przetwarzaniu danych, wykonanie analizy statystycznej, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, zdobywanie środków finansowych.


.....

Podpis

Wrocław, 03.07.2023.

dr Agnieszka Jastrzębska
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, **Jastrzębska Agnieszka**. An attempt to predict changes in heart rate variability in the training intensification process among cyclists. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021; 18(14): 7636. (IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.), jest następujący: udział w przeprowadzeniu badań, udział w zbieraniu danych, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w zbieraniu piśmiennictwa, udział w zdobywaniu środków finansowych.


Podpis

Wrocław, 03.07.2023.

dr Rafał Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: **Hebisz Rafał**, Hebisz Paulina, Danek Natalia, Michalik Kamil, Zatoń Marek. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2022; 36(6): 1726-1730. (IF = 4,415; MEiN = 100 pkt.), jest następujący: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w zaplanowaniu i wyborze metodyki badań, udział w przeprowadzeniu badań, udział w zbieraniu danych, wykonanie analizy statystycznej, udział w wykonaniu korekty tekstu artykułu przed wysłaniem do czasopisma.



.....
Podpis

Wrocław, 03.07.2023.

dr Paulina Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Rafał, **Hebisz Paulina**, Danek Natalia, Michalik Kamil, Zatoń Marek. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. Journal of Strength and Conditioning Research, 2022; 36(6): 1726-1730. (IF = 4,415; MEiN = 100 pkt.), jest następujący: udział w tworzeniu koncepcji pracy, udział w planowaniu i wyborze metodyki badań, udział w przeprowadzeniu badań, zbieranie danych, udział w interpretowaniu wyników i wyciąganiu wniosków, graficzne przedstawienie wyników badań, udział w wykonaniu korekty tekstu artykułu przed wysłaniem do czasopisma.

.....Paulina Hebisz.....

Podpis

Wrocław, 03.07.2023.

dr Natalia Danek
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, **Danek Natalia**, Michalik Kamil, Zatoń Marek. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2022; 36(6): 1726-1730. (IF = 4,415; MEiN = 100 pkt.), jest następujący: udział w przeprowadzeniu badań, udział w zbieraniu danych, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, zbieranie piśmiennictwa, udział w wykonaniu korekty po recenzji artykułu, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

.....*Natalie Danek*.....

Podpis

Wrocław, 03.07.2023.

dr Kamil Michalik
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Motoryczności Człowieka
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Danek Natalia, **Michalik Kamil**, Zatoń Marek. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2022; 36(6): 1726-1730. (IF = 4,415; MEiN = 100 pkt.), jest następujący: udział w interpretowaniu wyników i wyciąganiu wniosków z badań, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w zbieraniu piśmiennictwa, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji.

.....*Michalik*.....

Podpis

Wrocław, 03.07.2023.

Prof. dr hab. Marek Zatoń
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że w pracy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Danek Natalia, Michalik Kamil, **Zatoń Marek**. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2022; 36(6): 1726-1730. (IF = 4,415; MEiN = 100 pkt.), mój udział polegał na konsultacji i opiece merytorycznej oraz zdobywaniu środków finansowych.



.....
Podpis

Wrocław, 03.07.2023.

dr Paulina Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: **Hebisz Paulina**, Hebisz Rafał, Drelak Maja. Comparison of aerobic capacity changes as a result of a polarized or block training program among trained mountain bike cyclists. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021; 18(16): 8865. (IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.), jest następujący: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w zaplanowaniu badań i wyborze metodyki badań, udział w prowadzeniu badań, udział w przygotowaniu tekstu artykułu, udział w wykonaniu korekty artykułu po otrzymaniu recenzji, prowadzenie korespondencji z czasopismem.

.....

Podpis

Wrocław, 03.07.2023.

dr Rafał Hebisz
Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Zakład Fizjologii i Biochemii
ul. I.J. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Paulina, **Hebisz Rafał**, Drelak Maja. Comparison of aerobic capacity changes as a result of a polarized or block training program among trained mountain bike cyclists. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021; 18(16): 8865. (IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.), jest następujący: udział w tworzeniu koncepcji pracy i postawieniu hipotezy badawczej, udział w prowadzeniu badań, udział w zbieraniu i przetwarzaniu danych, wykonanie analizy statystycznej, interpretowanie wyników i wyciąganie wniosków z badań, udział w wykonaniu korekty tekstu artykułu, zdobywanie środków finansowych.


.....

Podpis

Wrocław, 03.07.2023.

Maja Drelak
UKS Sport Bralin
Gola 19, 63-640 Bralin

OŚWIADCZENIE

Oświadczam, że mój wkład w powstanie pracy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, **Drelak Maja**. Comparison of aerobic capacity changes as a result of a polarized or block training program among trained mountain bike cyclists. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021; 18(16): 8865. (IF = 4,614; MEiN = 140 pkt.), jest następujący: udział w przeprowadzeniu badań, udział w zbieraniu danych, udział w zbieraniu piśmiennictwa, udział w przygotowaniu tekstu artykułu.

Maja Drelak

Podpis

Potwierdzenie aktywności naukowej w innej Uczelni:

- Skany dokumentów potwierdzających odbycie stażów naukowych
- Pełne teksty artykułów naukowych będących efektem odbytego stażu

Cassino, 30 September 2022

University of Cassino and Lazio Meridionale

Department of Human Sciences, Society and Health

03043 Cassino, Frosinone, Italy

Confirmation of the international scientific internship

First and last name: *Paulina Hebisz*

Name of the home institution: *Wroclaw University of Health and Sport Sciences, Department of Physiology and Biochemistry, 35 J.I. Paderewski Avenue, 51-612 Wroclaw, Poland*

Name of the host institution: *University of Cassino and Lazio Meridionale, Department of Human Sciences, Society and Health, Via S. Angelo - Località Folcara, 03043 Cassino, Frosinone, Italy*

Duration of stay: *from 01/09/2022 to 30/09/2022*

Name of the contact person at the host institution: *Prof. Cristina Cortis, PhD, FACSM (Rector's Delegate for Health and Sport; President of the Committee for the promotion of sport; Scientific Director of the Physiology Laboratory of Physical Exercise and Sport "Marco Marchetti")*

Overall aim and objectives of the visit, programme of the visit and obtained results:

International cooperation in the field of research and publication activities:

- getting to know the functioning of a research laboratory, learning about modern equipment used in physiological tests and using it for individual evaluation of effectiveness the applied exercise load,*
- conducting research which resulted in joint scientific articles in the field of methods assessing the amount of exercise load and its effectiveness in the development of physical capacity,*
- exchange of scientific experiences with employees of the "Department of Human Sciences, Society and Health" of the "University of Cassino and Lazio Meridionale" in the field of physiological and biochemical aspects of exercise and sports training.*

30.09.2022



Date, stamp and signature



Article

Acute Effects of Sprint Interval Training and Chronic Effects of Polarized Training (Sprint Interval Training, High Intensity Interval Training, and Endurance Training) on Choice Reaction Time in Mountain Bike Cyclists

Paulina Hebisz ^{1,*}, Cristina Cortis ² and Rafal Hebisz ¹

¹ Department of Physiology and Biochemistry, Wrocław University of Health and Sport Sciences, 51-612 Wrocław, Poland

² Department of Human Sciences, Society and Health, University of Cassino and Lazio Meridionale, 03043 Cassino, Italy

* Correspondence: paulina.hebisz@awf.wroc.pl

Citation: Hebisz, P.; Cortis, C.; Hebisz, R. Acute Effects of Sprint Interval Training and Chronic Effects of Polarized Training (Sprint Interval Training, High Intensity Interval Training, and Endurance Training) on Choice Reaction Time in Mountain Bike Cyclists. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 14954. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214954>

Academic Editor: Paul B. Tchounwou

Received: 10 November 2022

Accepted: 11 November 2022

Published: 13 November 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: This study evaluated the acute effects of sprint interval training and chronic effects of polarized training on choice reaction time in cyclists. Twenty-six mountain bike cyclists participated in the study and were divided into experimental (E) and control (C) groups. The cyclists trained for 9-weeks and performed five training sessions each week. Types of training sessions: (1) sprint interval training (SIT) which consisted of 8–16, 30 s repetitions at maximal intensity, (2) high-intensity interval training (HIIT) included 5 to 7, 5-min efforts at an intensity of 85–95% maximal aerobic power (Pmax), and (3) endurance training (ET) performed at an intensity of 55–60% Pmax, lasting 120–180 min. In each week the cyclists performed: in group E a polarized training program, which included 2 × SIT, 1 × HIIT and 2 × ET, while in group C 2 × HIIT and 3 × ET. Before (acute effects) and after the 9-week training period (chronic effects) participants performed laboratory sprint interval testing protocol (SITP), which consisted of 12 maximal repetitions lasting 30 s. During SITP maximal and mean anaerobic power, as well as lactate ion concentration and blood pH were measured. Choice reaction time (RT) was measured 4-times: before and immediately after the SITP test—before and after the 9-week training period. Evaluated the average choice RT, minimal choice RT (shortest reaction), maximal choice RT (longest reaction), and the number of incorrect reactions. Before the training period as acute effects of SITP, it was observed: a shorter average choice RT ($F = 13.61$; $p = 0.001$; $\eta^2 = 0.362$) and maximal choice RT ($F = 4.71$; $p = 0.040$; $\eta^2 = 0.164$), and a decrease the number of incorrect reactions ($F = 53.72$; $p = 0.000$; $\eta^2 = 0.691$), for E and C groups. After the 9-week training period, chronic effects showed that choice RT did not change in any of the cyclists' groups. Only in the E group after the polarized training period, the number of incorrect reactions decreased ($F = 49.03$; $p = 0.000$; $\eta^2 = 0.671$), average anaerobic power increased ($F = 8.70$; $p = 0.007$; $\eta^2 = 0.274$) and blood pH decreased ($F = 27.20$; $p = 0.000$; $\eta^2 = 0.531$), compared to the value before the training period. In conclusion, a shorter choice RT and a decrease in the number of incorrect reactions as acute effects of SITP, and a decrease in the number of incorrect reactions and higher average power as chronic effects of the polarized training program are beneficial for mountain bike cyclists.

Keywords: choice reaction time; sprint interval training; cycling

1. Introduction

Reaction time (RT) can be defined as the time that elapses from the appearance of the stimulus to the response and is considered a good measure for assessing the cognitive system's ability to process information [1–3]. Physiologically, RT is a complex phenomenon that depends on the speed of the sensorimotor cycle, which consists of the detection

of the initial stimulus, the transmission of information through the afferent nerves, the generation of a response from the central nervous system, and the final response [4,5]. A distinction is made between simple reaction time, complex reaction time, and choice reaction time [6]. Simple reaction time requires the participant to respond to the presence of a single stimulus. Complex reaction times require the participant to respond to one specific stimulus and to withhold a response when other types of stimuli are presented. Choice reaction times require separate responses for each stimulus type [6]. As athletes need to make decisions quickly and accurately during intense exercise, RT, among other indicators, has been evaluated in different sports [7–10].

One sport that requires a high-intensity effort during competition is undoubtedly mountain bike racing. During a race, it is difficult not to fall, damage the bike, or collide with another cyclist, which often derails the chances of getting a good result. This is due to the characteristics of the discipline, in which competition takes place on narrow forest paths with uneven ground, sharp turns, and obstacles in the form of stones and roots. In addition, races take place in shifting weather conditions and in direct contact with other cyclists whose behavior cannot be predicted [9,11–13]. Therefore, competing in mountain bike racing, in addition to a high level of aerobic and anaerobic capacity [14,15], requires specific technical abilities related to bike control, balance skills [16], good concentration, and short RT [14].

During mountain bike races, high-intensity activity is repeatedly performed, with power output exceeding maximal aerobic power [17]. It has been shown that power output and oxygen uptake measured in sprint interval tests (involving repeated sprints, such as the Wingate test) correlate with race performance [15,18–21]. The effort exerted in such tests causes a large acid-base imbalance [19,21] highlighting the development of fatigue [22]. Whereas fatigue can cause longer RT among athletes of different sports [7,23]. Numerous studies have assessed the reaction time after a single training session as an acute effect [7,8,24]. For example, Pavelka et al. [24] observed that simple RT deteriorated among MMA fighters after just a single bout of high-intensity exercise such as the Wingate test. On the other hand, Delignières et al. [7] reported that choice RT improved during an intense 4-min effort among fencers. Kashihara and Nakahara [8] also observed an improvement in choice RT during intense exercise performed at constant power among healthy male students. The above studies cover different exercise protocols and different groups of athletes or non-training participants [7,8,24]. The maximal 30-s effort performed in the study of Pavelka et al. [24] caused RT deterioration, while in the studies of Delignières et al. [7] and Kashihara and Nakahara [8], RT improved, but the maximal intensity was not used there, only a 4-min exercise at an intensity of 80% maximal aerobic power [7] and a 10-min exercise at lactate threshold [8]. Based on the available literature, it is difficult to clearly determine the acute effects of sprint interval training (consisting of repeated maximal efforts) on the choice RT in a group of mountain bike cyclists who regularly perform high-intensity exercise.

In endurance sports, including mountain bike cycling, training is increasingly intensified through the use of a polarized training strategy, which consists of sustained low-intensity training as well as high-intensity interval training [25–27]. The volume of low-intensity training sessions is approximately 80% of the total training volume, while high-intensity training is approximately 20% of the total training volume [28]. In polarized training programs, moderate-intensity training at the level of the second ventilatory threshold (VT2) is not used [25,29,30], or these training sessions account for a small part of the training load (up to 5% of the total training volume) [31]. In the studies by Hebisz et al. [29,30], a polarized training program was defined as training including sprint interval training (SIT), high-intensity interval training (HIIT), and low-intensity endurance training (LIT), with the exclusion of training at an intensity of VT2. These studies [29,30] have shown that the 8–9 weeks of a polarized training program is effective in improving aerobic capacity assessed by maximal oxygen uptake ($\text{VO}_{2\text{max}}$) and maximal aerobic power, among mountain bike cyclists. The available literature lacks information on the

effect of a polarized training program (including sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) on choice reaction time. Interesting is not only the acute effects of single highly intense training sessions but also the long-term effects described as chronic effects because athletes perform training systematically and over a long period of time. It has been shown that moderate-intensity training or high-intensity interval training performed for several weeks improves reaction time, among untrained participants [32,33]. Sherwood and Selder [34] observed that endurance athletes have a shorter reaction time compared to the untrained population. According to Reigal et al. [35], the level of physical activity and physical capacity of the participants correlated with reaction time. It is believed that high levels of physical activity improve cognitive function. Since systematic exercise affects molecular mechanisms, including an increase in the concentrations of brain-derived neurotrophic factor (BDNF) and insulin-like growth factor-1 (IGF-1) in the brain and blood, which are involved in the process of neuro-creations [36]. In previous studies [29], it was shown that a polarized training program in cyclists reduces the serum BDNF concentrations during and after the sprint interval test, as acute effects. Similar observations were reported by Nofuji et al. [37], that participants with high physical activity may be able to utilize BDNF rapidly as an acute effect of high-intensity exercise. If polarized training among athletes causes changes in BDNF concentration, it can be assumed that the use of polarized training affects the process of neurons and synapse formation or differentiation, as described by Bos et al. [38]. The above-mentioned changes in the nervous system may contribute to the improvement of cognitive function [39]. One of the measures of cognitive function is reaction time [40]. Therefore, it can be assumed that polarized training may induce changes in RT. Regardless of the above reports, it has been shown that the polarized training program significantly improves cardiac output [21]. High cardiac output determines blood flow, and cerebral blood flow is negatively correlated with reaction time [41]. Moreover, the literature suggests a significant influence of lactate concentration on cognitive function [42]. The increase in lactate concentration is characteristic of the SIT [21] and HIIT training [42], which are part of a polarized program. Lactate ions can cross the blood-brain barrier and affect the expression and release of BDNF [43]. The above reports support the assumption that a polarized training program may positively affect cognitive function, including reaction time.

Therefore, the aim of this study was to determine the acute effects of sprint interval training and chronic effects of 9-week polarized training (which included sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) on choice RT in mountain bike cyclists.

It was assumed that the acute effect of a single SIT training session including maximal effort would be longer choice RT, while the chronic effect of a 9-week polarized training program would be shorter choice RT, in group E.

2. Materials and Methods

2.1. Participants

Twenty-six mountain bike cyclists participated in the study. Each participant was characterized by at least three years of training experience in cycling. The participants were randomly divided into two groups: experimental (E, $n = 14$, including ten men and four women) and control (C, $n = 12$, including nine men and three women). The characteristics of the groups are shown in Table 1. Additionally, the characteristics of men and women included in each of the studied groups are presented (Table 1).

The study design was approved by the Ethics Committee of the Wroclaw University of Health and Sport Sciences and carried out in accordance with the Declaration of Helsinki. Written informed consent was obtained from the participants and their guardians after the study details, procedures, and benefits and risks were explained.

Table 1. Characteristics of the groups of cyclists studied.

Group	Body Height [cm]	Body Weight [kg]	Age [Years]	Pmax [W]	VO ₂ max [ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]
E	175.6 ± 7.1	66.2 ± 10.7	18.7 ± 4.7	331.3 ± 67.4	57.1 ± 6.1
Men in E	178.8 ± 5.0	70.5 ± 9.4	19.5 ± 5.3	368.3 ± 33.3	59.7 ± 4.8
Women in E	167.7 ± 4.5	55.6 ± 5.2	17.2 ± 1.5	210.0 ± 21.3	50.3 ± 2.0
C	174.7 ± 6.9	66.5 ± 9.6	19.6 ± 4.1	338.1 ± 60.3	57.6 ± 7.6
Men in C	176.3 ± 5.7	69.4 ± 8.6	19.9 ± 4.4	360.0 ± 49.1	58.6 ± 8.4
Women in C	169.7 ± 9.3	57.8 ± 7.6	19.0 ± 4.3	272.3 ± 41.2	54.7 ± 3.8

Pmax—maximal aerobic power measured during the incremental test; VO₂max—maximal oxygen uptake measured during the incremental test; E—experimental group; Men in E—men ($n = 10$) included in the experimental group; Women in E—women ($n = 4$) included in the experimental group; C—control group; Men in C—men ($n = 9$) included in the control group; Women in C—women ($n = 3$) included in the control group; data are presented as mean ± standard deviation.

2.2. Test Procedures

Prior to the experiment, participants completed an incremental test (IT) to characterize the study groups. Laboratory tests were performed immediately before and after the experiment, which included performing a sprint interval testing protocol (SITP) and measuring choice reaction time. During the 24 h that preceded the exercise tests, the participants did not do any training. There was a break of 48 h between IT and SITP. All the tests were carried out under controlled laboratory conditions (temperature and air humidity) in the Exercise Laboratory of the Wrocław University of Health and Sport Sciences (certificate PN-EN ISO 9001:2001). The same two researchers performed the measurement both before and after the experiment in all participants, and the researchers were blind to the research question.

2.2.1. Incremental Test (IT)

The test was conducted on a Lode Excalibur Sport cycle-ergometer (Lode BV, Groningen, the Netherlands), calibrated before the study. The effort started with a load of 40 (women) or 50 W (men), every 3 min the load was increased by 40 (women) or 50 W (men) until the participant refused to continue. If a participant was unable to complete an entire 3 min stage 0.22 (women) or 0.28 W (men) per second missed was subtracted from the work rate at that stage [20,30]. The highest power output determined in the incremental test was taken to be the measure of maximal aerobic power (Pmax), as described by Peyré-Tartaruga and Coertjens [44]. The Pmax value was used to individually determine the intensity during the training performed in the experiment.

Respiratory function was measured during the test. The cyclist wore a mask connected with a Quark gas analyzer (Cosmed, Rome, Italy). The gas analyzer was calibrated before use with a reference gas mixture of carbon dioxide—5%, oxygen—16%, and nitrogen—79%. Respiratory parameters were measured in each recorded breath (breath-by-breath) and then averaged over 30-s intervals. Based on the recorded data, the maximal oxygen uptake (VO₂max) was determined, as the highest 30-s average. As a confirmation of the maximal value, the plateau phase of VO₂max was determined according to the method proposed by Edvardsen et al. [45], which was modified for the incremental test consisting of 3-min steps. Oxygen uptake (VO₂) values were compared between all 30 s intervals of the last step and the one 30 s interval of the penultimate step with the highest VO₂. A plateau phase of VO₂max was considered to occur when VO₂ did not differ by more than 1.5 mL·kg⁻¹·min⁻¹ [46,47] between the indicated 30 s intervals. Participants who did not reach the plateau phase of VO₂max were not included in the data analysis. Therefore, in the presented study, 26 cyclists out of 30 who started the study were included in the data analysis and description of the results.

2.2.2. Sprint Interval Testing Protocol (SITP)

The test was also conducted on a Lode Excalibur Sport cycle-ergometer. The test was preceded by a 20-min warm-up at an intensity of 40% P_{max} for 5 min and then at an intensity of 60% P_{max} for 15 min. The warm-up was followed by a low-intensity active rest of 10 min. Then, the participant performed 12 maximal repetitions lasting 30 s, during which the participant was to obtain the highest possible power in the shortest possible time and maintain it for as long as possible. Repetitions were divided into 3 sets and 4 repetitions were performed in each set. Between repetitions, a low-intensity (with power below 50 W) active rest of 90 s was used. A 25-min active rest was used between sets, during which the first 2 min were performed at an intensity of 20% P_{max}, the next 20 min at an intensity of approx. 50% P_{max}, and the last 3 min at an intensity of 20% P_{max}. The duration and intensity of the active rest between sets were selected based on previous research [19]. The course of the sprint interval testing protocol was similar to the sprint interval training that the cyclists performed during the experiment.

Power was measured during each repetition. In the data analysis, peak power (P_{peak}) and average power (P_{av}) measured during all repetitions performed was used. During the test, heart rate (HR) was recorded using a V800 heart rate monitor (Polar, Oy, Finland).

Immediately before the test and in the third minute after the end of each set arterialized capillary blood was drawn, to determine pH and lactate ion (La⁻) concentrations using the RAPIDLab 348 (Siemens Healthcare, Germany) and Lactate Scout (SensLab, Leipzig, Germany) analyzers, respectively.

2.2.3. Choice Reaction Time Measurement

The choice RT was measured using an MCZR/ATB 1.0 m (ATB INFO-ELEKTRO, Zabrze, Poland), validated by Zapała et al. [48]. Measurements were taken immediately before and immediately after the sprint interval testing protocol (after the third/last sets). The reaction time meter consisted of a central control panel connected to a beacon for visual and auditory stimuli together with a stimulus reception panel. The stimulus beacon emits visual stimuli in three colors: red, orange, green, and auditory stimuli in two sounds: high (treble) and low (bass). The stimulus reception panel consisted of two hand-held buttons (one right and one left) placed on cables terminated with a JACK-type plug. During the measurement, the participant sat on the cycle-ergometer with hands on the handlebars and simultaneously held push-button plugs in their hands. The participant was positioned facing the stimulus beacon at a distance of 3 m. Figure 1 shows the position that the cyclists took during the reaction time measurement. The participants were asked to react as quickly as possible by pressing a button with their right hand after a red light appeared and with their left hand after a green light appeared. Intentionally, the button in the right hand was red, while the one in the left hand was green. The participants did not have to react to the remaining stimuli: orange light and sounds. Each cyclist had a test measurement for familiarization, which lasted 40 s and consisted of 10 stimuli, and was performed only once (on the day the cyclists performed an incremental test). In contrast, the main measurement lasted 120 s and included 20 stimuli arranged in a specific order and occurring at a specific time. The choice RT measurement was applied to all participants, before and immediately after the sprint interval testing protocol and before and after the experiment. The measurement evaluated the average choice RT (time calculated from all reactions), the minimal choice RT (shortest reaction), the maximal choice RT (longest reaction), and the number of incorrect reactions (no reaction when supposed to react, reaction when not supposed to react, reaction with the wrong button, reaction between stimuli).



Figure 1. Cyclist's position during the choice reaction time measurement.

2.3. Experiment schedule

Prior to the experiment, for six weeks, each participant limited the volume of training to three sessions per week, in which the intensity did not exceed 70% of HR_{max}. The experiment lasted nine weeks and was conducted during the preparatory season. The types of training sessions performed during the experiment are shown in Table 2. During the experiment, group E athletes performed:

- sprint interval training (SIT), twice a week. The training was preceded by a 20-min warm-up at an intensity of 40% P_{max} for 5 min and then at an intensity of 60% P_{max} for 15 min. The warm-up was followed by a low-intensity active rest of 10 min. SIT training consisted of 8–16 repetitions at maximal intensity, lasting 30 s. (During the 1st–3rd week of the experiment the cyclists performed eight repetitions, during the 4th–6th week—12 repetitions, in the 7th–9th week—16 repetitions). Efforts were divided into sets and four repetitions were performed in each set. Between repetitions, a low-intensity (with power below 50 W) active rest of 90 s was applied. A 25-min active rest was applied between sets, during which the first 2 min were performed at an intensity of 20% P_{max}, followed by 20 min at an intensity of approx. 50% P_{max}, and for the last 3 min an intensity of 20% P_{max}. The course of the SIT was planned analogously to the SITP.
- high-intensity interval training (HIIT), once a week. The training was preceded by a 20-min warm-up at an intensity of 40% P_{max} for 5 min and then at an intensity of 60% P_{max} for 15 min. The warm-up was followed by a low-intensity active rest of 10 min. HIIT training included 5 to 7, 5-min efforts at an intensity of 85–95% P_{max}, interspersed with a 12-min workout at an intensity of 50% P_{max}. During the 1st–3rd week of the experiment, the cyclists performed five efforts during HIIT training, in the 4th–6th week—six efforts, and in the 7th–9th week—seven efforts.
- endurance training (ET), twice a week. The training was preceded by a 15-min warm-up at an intensity of 40% P_{max} for 5 min and then at an intensity of 55–60% P_{max} for

10 min. The warm-up was followed by a low-intensity active rest of 5 min. ET training was performed at an intensity of 55–60% Pmax, lasting 120–180 min. During the 1st–3rd week of the experiment the training lasted 120 min, in the 4th–6th week—150 min, in the 7th–9th week—180 min.




















During the experiment, group C athletes performed:

- -HIIT training twice a week. The training was preceded by a 20-min warm-up at an intensity of 40% Pmax for 5 min and then at an intensity of 60% Pmax for 15 min. The warm-up was followed by a low-intensity active rest of 10 min. HIIT training included 5 to 7, 5-min efforts at an intensity of 85–95% Pmax, interspersed with a 12-min workout at an intensity of 50% Pmax. During the 1st–3rd week of the experiment, the cyclists performed five efforts during HIIT training, in the 4th–6th week—six efforts in the 7th–9th week—seven efforts.
- -ET training three times a week. The training was preceded by a 15-min warm-up at an intensity of 40% Pmax for 5 min and then at an intensity of 55–60% Pmax for 10 min. The warm-up was followed by a low-intensity active rest of 5 min. ET training was performed at an intensity of 55–60% Pmax, lasting 120–180 min. During the 1st–3rd week of the experiment the training lasted 120 min, in the 4th–6th week—150 min, in the 7th–9th week—180 min.

In each group, two days a week were designated for active or passive rest. The total weekly training volume was 10–13 h for each participant in the experiment and did not differ significantly between groups. In the fifth week of the experiment, a recovery cycle was applied which was characterized by a 50% lower total training volume in both groups (5–6.5 h), with no change in training methods or intensity.

During training, power output was monitored using the PowerTap G3 ANT+ and GS ANT+ system (PowerTap, Madison, WI, USA) and heart rate was monitored using the Garmin Edge 520 and Edge 810 system (Garmin Ltd., Olathe, KS, USA).

Table 2. Types of training sessions performed in groups E and C. It is a load during the 1st–3rd week of the experiment, in the following weeks (4th–6th week and 7th–9th week) the training sessions were extended.

<p>Sprint Interval Training (SIT) → 20 min warm-up → 10 min active rest</p> <p>→ 30 s  max → 90 s rest → 30 s  max → 90 s rest → 30 s  max → 90 s rest → 30 s</p> <p style="text-align: center;"> max → 90 s rest → 25 min active rest</p> <p>→ 30 s  max → 90 s rest → 30 s  max → 90 s rest → 30 s  max → 90 s rest → 30 s</p> <p style="text-align: center;"> max → 90 s rest</p> <p style="text-align: center;">→ 15 min cooldown</p>
<p>High-intensity interval training (HIIT) → 20 min warm-up → 10 min active rest</p> <p>→ 5 min  at 85–95% Pmax → 12 min  at 50% Pmax → 5 min  at 85–95% Pmax → 12 min  at 50% Pmax → 5 min  at 85–95% Pmax → 12 min  at 50% Pmax → 5 min  at 85–95% Pmax → 12 min  at 50% Pmax → 5 min  at 85–95% Pmax → 12 min  at 50% Pmax</p> <p style="text-align: center;">→ 15 min cooldown</p>
<p>Endurance training (ET) → 15 min warm-up → 5 min active rest</p> <p style="text-align: center;">→ 120 min  at 55–60% Pmax</p> <p style="text-align: center;">→ 10 min cooldown</p>

max—the maximal cycling intensity; Pmax—maximal aerobic power measured during the incremental test.

2.4. Statistical Analysis

Statistica 13.1 software (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA) was used for statistical calculations. The arithmetic mean and standard deviation were calculated for all variables. The Kolmogorov-Smirnov test was used to check whether the values of the analyzed parameters were statistically significantly different from the normal distribution. Analysis of variance with repeated measurements and the Scheffe post-hoc test were used to identify statistically significant differences in reaction time parameters measured before (baseline measurements) and after (exercise measurements) the sprint interval testing protocol, and statistically significant differences in the parameters assessed between groups E and C and between tests performed before and after the experiment. The effect sizes were determined using the eta squared (η^2). A level of $p < 0.05$ was considered statistically significant for all analyses.

Prior to the experiment, using the G-Power 3.1.9.4 software (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA), we estimated that the minimum total sample size for ANOVA with repeated measurements is 16 people, assuming that we expect a strong effect size, i.e., a partial $\eta^2 \geq 0.14$ at $p < 0.05$ [49].

3. Results

The presented study originally included 30 cyclists, but four cyclists did not reach the plateau phase of VO_2max , which was the criterion for inclusion in the data analysis. So the results presented in this section include 26 cyclists. All tested parameters were characterized by no significant differences compared to the normal distribution.

3.1. Acute Effects

Prior to the experiment, the acute effects of a single dose of sprint interval testing protocol were assessed using ANOVA with repeated measures test. It demonstrated the statistically significant main effect of repeated measurements for average choice RT ($F = 13.61$; $p = 0.001$; $\eta^2 = 0.362$), maximal choice RT ($F = 4.71$; $p = 0.040$; $\eta^2 = 0.164$), and the number of incorrect reactions ($F = 53.72$; $p = 0.000$; $\eta^2 = 0.691$) (Table 3). Based on post-hoc tests, it was shown that after the sprint interval testing protocol, there were statistically significant shorter average choice RT in groups E and C, shorter maximal choice RT in group C, reduction in the number of incorrect reactions in groups E and C, compared to the baseline value measured before the sprint interval testing protocol (Table 3).

Table 3. Changes in choice reaction time and a number of incorrect reactions measured before and after SITP, as well as before and after the experiment, in groups E and C.

	Experimental Group			Control Group		
	Mean \pm SD	95% CI Lower Upper		Mean \pm SD	95% CI Lower Upper	
Pre-experiment						
RTav_b [s]	0.36 \pm 0.04	0.33	0.38	0.35 \pm 0.04	0.33	0.38
RTav_e [s]	0.34 \pm 0.05 ***	0.31	0.37	0.32 \pm 0.04 ***	0.30	0.34
RTmin_b [s]	0.25 \pm 0.03	0.23	0.27	0.24 \pm 0.04	0.21	0.26
RTmin_e [s]	0.24 \pm 0.04	0.22	0.26	0.23 \pm 0.04	0.20	0.26
RTmax_b [s]	0.53 \pm 0.12	0.47	0.60	0.52 \pm 0.06	0.48	0.56
RTmax_e [s]	0.49 \pm 0.13	0.42	0.57	0.45 \pm 0.06 ***	0.41	0.48
NIR_b	3.71 \pm 1.33	2.95	4.48	3.83 \pm 0.94	3.24	4.43
NIR_e	2.14 \pm 1.03 ***	1.55	2.74	2.75 \pm 0.75 ***	2.27	3.23
Post-experiment						
RTav_b [s]	0.38 \pm 0.06	0.34	0.42	0.33 \pm 0.03	0.31	0.35
RTav_e [s]	0.34 \pm 0.04	0.32	0.37	0.32 \pm 0.03	0.30	0.33
RTmin_b [s]	0.27 \pm 0.05	0.24	0.30	0.24 \pm 0.03	0.22	0.25
RTmin_e [s]	0.25 \pm 0.03	0.23	0.27	0.23 \pm 0.03	0.22	0.25
RTmax_b [s]	0.57 \pm 0.15	0.48	0.65	0.48 \pm 0.08	0.43	0.52

RTmax _e [s]	0.50 ± 0.09	0.45	0.55	0.46 ± 0.07	0.41	0.51
NIR _b	2.21 ± 0.97 *	1.65	2.78	3.25 ± 1.21	2.48	4.02
NIR _e	0.36 ± 0.50 *	0.07	0.64	3.42 ± 1.00 **	2.78	4.05

_b—baseline measurements taken immediately before a sprint interval testing protocol; _e—exercise measurements taken immediately after a sprint interval testing protocol; RTav—average choice reaction time; RTmin—minimal/shortest choice reaction time; RTmax—maximal/longest choice reaction time; NIR—number of incorrect reactions; SD—standard deviation; CI—confidence intervals; *— $p < 0.05$ —significant difference between pre- and post-experiment values; **— $p < 0.05$ —significant difference between experimental and control group; ***— $p < 0.05$ —significant difference between baseline_b measurements and exercise_e measurements.

3.2. Chronic Effects

Using analysis of variance, for baseline measurements taken before a sprint interval testing protocol, a statistically significant main effects group x repeated measures were observed for average choice RT ($F = 5.34; p = 0.030; \eta^2 = 0.182$), for the number of incorrect reactions ($F = 10.49; p = 0.003; \eta^2 = 0.304$), and the main effect of repeated measures on the number of incorrect reactions ($F = 54.21; p = 0.000; \eta^2 = 0.693$). Based on post-hoc tests, it was shown that there was a statistically significant reduction in the number of incorrect reactions in the experimental group after the applied experiment (Table 3).

Using analysis of variance, for exercise measurements taken immediately after a sprint interval testing protocol, a statistically significant main effect of the group for the number of incorrect reactions was observed ($F = 42.41; p = 0.000; \eta^2 = 0.639$), the main effect of repeated measurements on the number of incorrect reactions ($F = 10.21; p = 0.004; \eta^2 = 0.298$), main effects group x repeated measures on the number of incorrect reactions ($F = 49.03; p = 0.000; \eta^2 = 0.671$). Based on post-hoc tests, it was shown that after the experiment, there was a statistically significant reduction in the number of incorrect reactions in the experimental group, compared to the control group and compared to the value before the experiment (Table 3).

Using analysis of variance, there was a statistically significant main effect of repeated measurements ($F = 8.70; p = 0.007; \eta^2 = 0.274$) for Pav₃ and main effects group x repeated measures for Pav₁ ($F = 11.45; p = 0.002; \eta^2 = 0.323$), for Pav₂ ($F = 5.30; p = 0.030; \eta^2 = 0.181$) and for Pav₃ ($F = 5.54; p = 0.028; \eta^2 = 0.194$). Based on post-hoc tests, it was shown that Pav₁ and Pav₃ increased statistically significantly in the experimental group after the applied experiment compared to the value obtained before the experiment (Table 4).

Table 4. Changes in peak and average anaerobic power achieved during SITP as a result of training programs implemented in groups E and C. Changes were described as chronic effects.

	Experimental Group		Control Group	
	Mean ± SD	95% CI Lower Upper	Mean ± SD	95% CI Lower Upper
Pre-experiment				
Ppeak ₁ [W]	1185.6 ± 301.0	1011.8 1359.4	1244.9 ± 298.7	1055.1 1434.7
Ppeak ₂ [W]	1044.3 ± 284.2	880.2 1208.4	1102.6 ± 220.2	962.6 1242.5
Ppeak ₃ [W]	1010.5 ± 261.8	859.4 1161.7	1096.0 ± 218.0	957.4 1234.5
Pav ₁ [W]	573.7 ± 111.6	509.3 638.2	584.6 ± 117.1	510.2 658.9
Pav ₂ [W]	575.0 ± 108.9	512.1 637.9	600.8 ± 119.3	525.0 676.6
Pav ₃ [W]	564.3 ± 108.3	501.7 626.8	588.4 ± 118.2	513.3 663.5
Post-experiment				
Ppeak ₁ [W]	1143.2 ± 262.7	991.5 1294.9	1199.1 ± 298.0	1009.8 1388.5
Ppeak ₂ [W]	1096.0 ± 240.4	957.2 1234.8	1098.8 ± 242.7	944.6 1253.0
Ppeak ₃ [W]	1086.4 ± 249.7	935.5 1237.3	1094.2 ± 266.1	925.2 1263.3
Pav ₁ [W]	595.0 ± 111.2 *	530.8 659.2	600.6 ± 112.0	529.5 671.8
Pav ₂ [W]	594.5 ± 109.2	531.4 657.5	604.4 ± 120.3	528.0 680.8
Pav ₃ [W]	592.2 ± 109.4 *	526.1 658.3	591.4 ± 119.7	515.3 667.4

Ppeak₁—peak power achieved during the first sets (repetitions 1–4) of the sprint interval testing protocol; Ppeak₂—peak power achieved during the second sets (repetitions 5–8) of the sprint interval testing protocol; Ppeak₃—peak power achieved during the third sets (repetitions 9–12) of the sprint interval testing protocol; Pav₁—average power calculated from four repetitions of the first sets of the sprint interval testing protocol; Pav₂—average power calculated from four repetitions of the second sets of the sprint interval testing protocol; Pav₃—average power calculated from four repetitions of the third sets of the sprint interval testing protocol; SD—standard deviation; CI—confidence intervals; *— $p < 0.05$ —significant difference between pre- and post-experiment value.

A statistically significant main effect of repeated measurements emerged for pH₁ ($F = 13.90$; $p = 0.001$; $\eta^2 = 0.367$) and main effects group \times repeated measures for pH₂ ($F = 7.70$; $p = 0.010$; $\eta^2 = 0.244$) and pH₃ ($F = 27.20$; $p = 0.000$; $\eta^2 = 0.531$). Based on post-hoc tests, it was shown that pH₁ increased statistically significantly in the control group after the experiment compared to the value before the experiment. Furthermore, post-hoc analysis showed that after the applied experiment, pH₃ statistically significantly decreased in the experimental group, while it increased in the control group, compared to the value before the experiment (Table 5).

Table 5. Biochemical and physiological changes during SITP as a result of training programs implemented in groups E and C. Changes were described as chronic effects.

	Experimental Group			Control Group		
	Mean \pm SD	95% CI Lower Upper		Mean \pm SD	95% CI Lower Upper	
Pre-experiment						
La ₁ [mmol/L]	17.19 \pm 2.47	15.77	18.61	18.25 \pm 2.57	16.62	19.88
La ₂ [mmol/L]	17.74 \pm 2.22	16.46	19.03	18.14 \pm 2.42	16.60	19.68
La ₃ [mmol/L]	16.23 \pm 2.68	14.68	17.77	18.08 \pm 2.23	16.67	19.50
pH ₁	7.07 \pm 0.05	7.04	7.11	7.04 \pm 0.05	7.01	7.08
pH ₂	7.10 \pm 0.04	7.08	7.13	7.06 \pm 0.05	7.02	7.09
pH ₃	7.13 \pm 0.05	7.10	7.16	7.06 \pm 0.07	7.02	7.11
HR ₁ [b/min]	181.07 \pm 5.93	177.65	184.50	179.42 \pm 4.36	176.65	182.19
HR ₂ [b/min]	179.21 \pm 5.16	176.23	182.20	178.58 \pm 4.81	175.53	181.64
HR ₃ [b/min]	178.29 \pm 5.57	175.07	181.50	177.08 \pm 5.68	173.47	180.69
Post-experiment						
La ₁ [mmol/L]	16.57 \pm 2.17	15.32	17.82	18.15 \pm 2.72	16.42	19.88
La ₂ [mmol/L]	16.57 \pm 1.65	15.62	17.52	17.63 \pm 2.84	15.82	19.43
La ₃ [mmol/L]	16.34 \pm 2.67	14.80	17.88	17.66 \pm 3.47	15.45	19.86
pH ₁	7.09 \pm 0.06	7.06	7.12	7.08 \pm 0.06 *	7.04	7.12
pH ₂	7.09 \pm 0.04	7.07	7.12	7.08 \pm 0.07	7.04	7.13
pH ₃	7.10 \pm 0.04 *	7.07	7.12	7.09 \pm 0.08 *	7.05	7.14
HR ₁ [b/min]	181.64 \pm 5.73	178.33	185.0	179.42 \pm 4.38	176.63	182.20
HR ₂ [b/min]	180.21 \pm 5.41	177.09	183.34	177.92 \pm 3.99	175.38	180.45
HR ₃ [b/min]	177.14 \pm 4.97	174.27	180.02	176.17 \pm 4.39	173.38	178.95

₁—measurement taken after the first sets (repetitions 1–4) of the sprint interval testing protocol; ₂—measurement taken after the second sets (repetitions 5–8) of the sprint interval testing protocol; ₃—measurement taken after the third sets (repetitions 9–12) of the sprint interval testing protocol; La—blood lactate concentration; pH—blood pH value; HR—peak heart rate value; SD—standard deviation; CI—confidence intervals; *— $p < 0.05$ —significant difference between pre- and post-experiment value.

4. Discussion

In the presented study it was determined acute effects of sprint interval training and chronic effects of polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) on choice RT in mountain bike cyclists. Assessment of acute effects began in the first seconds after the last repetition during the SITP. Chronic effects were assessed after nine weeks of simultaneous use: sprint interval training, high-

intensity interval training, and endurance training, which formed the polarized training program. In the presented study, as acute effects, it was observed that after a single dose of sprint interval test, the average choice RT and maximal choice RT were statistically significantly shortened and the number of incorrect reactions reduced, compared to baseline values measured immediately before the exercise test. Similarly, Buchholtz and Burgess [50], Delignières et al. [7], and Kashihara and Nakahara [8] observed improvements in choice RT after intense exercise. Buchholtz and Burgess [50] showed that in a group of cyclists, choice RT was significantly shorter after high-intensity cycling exercise compared to low-intensity exercise. Delignières et al. [7] indicate that choice RT improves with increasing exercise intensity among fencers, but among athletes with no experience in decisional sports choice reaction time deteriorated with increasing exercise intensity. They compared 4-min exercise bouts with an intensity of 20, 40, 60, and 80% maximal aerobic power [7]. Similar conclusions were reached by Durand et al. [51] who evaluated choice RT among athletes of different sports disciplines after cycling at intensities of 35, 60, and 90% VO_2max . Athletes who trained in team sports improved their choice of RT when exercising at high intensities. However, the improvement in reaction times mirrored an increase in errors. In contrast, in a group of gymnasts and athletes, exercise had no effect on either choice reaction time or the number of errors [51]. The literature shows that as exercise intensity increases, athletes in decisional sports are able to improve their performance in reaction time tasks. Mountain bike cycling can also be considered a decisional sport because, during a race, cyclists often have to make quick decisions and react to changing conditions and situations on the competition course. Moreover, this takes place during intense physical activity [52]. In the present study, in addition to the improvement in RT, the number of incorrect reactions decreased, which distinguishes our results from those of Durand et al. [51] and Delignières et al. [7], who showed an increase in errors. The differences in results regarding the effect of exercise on incorrect reactions are difficult to explain. Perhaps this is related to the use of different exercise protocols or this is the result of different sports specializations—thus different types of exercise adaptation.

Pavelka et al. [24] and Gierczuk et al. [10] also studied reaction time among athletes of decisional sports, but they obtained contradictory results, as they showed that reaction time deteriorated after performing intense exercise. Pavelka et al. [24] used a single Wingate test among MMA fighters. In contrast, Gierczuk et al. [10] applied a variable intensity effort—three rounds of wrestling bouts. After each round, a reaction time measurement was performed. It is possible that the results of the presented study and the results obtained by Pavelka et al. [24] and Gierczuk et al. [10] differ also due to the test protocols used. These study protocols vary in the duration of the reaction time measurements and the time between the end of the exercise and the start of the reaction time measurements. It is worth emphasizing that the deleterious effects are often reduced further out from exercise so the appropriate measuring time is important [6,7]. On the other hand, it is possible that the differences between the effects in the studies in question are influenced by the level of aerobic capacity. In the study by Gierczuk et al. [10], the research group was divided into subgroups according to the ranks occupied in sports competitions. In the higher-classified (presumably with higher aerobic capacity) subgroup, the deterioration in reaction time was less than in the lower-classified group. This resulted in a significant difference in average reaction time between the subgroups in question during measurements taken after the second and third rounds of the fight (in the baseline measurement—and in the measurement taken after the first round of the fight the subgroups did not differ significantly statistically). The present study involved a group of well-trained mountain bike cyclists (men and women) with an initial VO_2max level of approximately $57 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. This level, according to Tomaszewski et al. [53] characterizes elite athletes. The high aerobic capacity of the cyclists, in the study presented here, may have favored rapid restitution between sprints and sprint sets in the sprint interval testing protocol used, slowing down fatigue processes. Perhaps because of this, choice RT in the presented study did not worsen after the sprint interval test. On the contrary, the average reaction

time we measured after the sprint interval test improved. Such a reaction may be beneficial in terms of preparing cyclists to react quickly when overcoming obstacles in mountain bike racing competitions. Therefore, in the future, it would be interesting to investigate how reaction times would change if several sprints, such as 30 s maximal efforts, were performed as part of the warm-up for training or competition.

In the presented study, as a chronic effect, it was not observed any changes in choice RT, measured at rest (pre-test) and immediately after the SITP test, in any of the study groups as a result of the 9-week experiment. However, we observed that after the applied experiment, only in the experimental group did the number of incorrect reactions significantly decrease, both in measurements taken before and immediately after the SITP test. Furthermore, after the applied experiment, the number of incorrect reactions in the experimental group was significantly reduced compared to the control group, in measurements taken immediately after the SITP test. Findings from other authors indicate that regular training improves reaction time, not just error rates [32,54–57], however, these studies compared trained to untrained subjects and trained subjects showed faster reaction times than untrained subjects. Van de Water et al. [58] compared badminton-specific reaction time in two groups of badminton players that were differentiated by time spent training and ranking. However, their assumption that athletes who do more training and have a higher ranking should achieve better reaction times was not borne out. They showed that there were no statistically significant differences in badminton-specific reaction time between the two groups of badminton players [58]. Therefore, referring to the information contained in the literature and data presented in this manuscript, it can be supposed that training previously untrained people may improve their reaction time. However, among athletes who train regularly, a higher number or volume of training performed does not affect reaction time, as shown by van de Water et al. [58]. The findings of the presented study indicate that intensification of the training process among trained cyclists, through the use of a polarized training program, also has no effect on reaction time. Despite the lack of significant changes in reaction time, the group performing the polarized training program decreased the number of incorrect reactions during the measurement. The available literature lacks information on the impact of training on incorrect reactions in the test measurements performed. However, it has been shown that the incorrect reaction is followed by the adaptation of neurons, which is observed as an increase in the activity of brain areas related to the performed task [59]. There are also suggestions that among athletes, patterns of behavior are better developed, which allows them to react faster after a mistake, compared to untrained participants [60]. This is particularly evident in the case of athletes specializing in competitions requiring open skills [60,61]. It is possible that the intensive training performed by the experimental group in the presented study allowed to improve the effectiveness of behavior patterns after a mistake. If so, it would be significant for mountain bike cyclists as competing also requires open skills.

Van de Water et al. [58] suggest that the elite group of athletes performs better in sports as a result of higher tactical skills and higher physical capacity, and not, as they assumed, also due to an advantage in cognitive performance. Therefore, the presented study also includes information about physical capacity. As a measure of physical capacity was adopted the average power achieved in the first, second, and third sets of sprint interval training. Because the average power in SIT training was considered by some authors as a parameter correlating with sports performance in mountain bike cycling [15,18]. In the present study, the systematic use of sprint interval training significantly increased the average power output achieved in 30 s repetitions during a sprint interval test, which was accompanied by a decrease in blood pH. During mountain bike cycling races, anaerobic glycolytic metabolism plays an important role, because, during the race, cyclists repeatedly climb uphill [62]. On these climbs, the power often exceeds the value of the maximal aerobic power [17], which results in an increase in the intensity of glycolytic metabolism, consequently an increase in L_a , and a decrease in blood pH [63]. Therefore,

improving the ability to perform an intense exercise with longer (up to the third set of SIT) tolerance of acid-base imbalance may be important for the results of MTB cycling competitions.

5. Conclusions

As acute effects of the sprint interval test, the choice reaction time was shortened, and the number of incorrect reactions was reduced. The chronic effects of the polarized training program including sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training showed no change in choice reaction time but reduce the number of incorrect reactions in post-exercise measurements was observed, which was accompanied by an increase in average power output and a decrease in blood pH during the sprint interval test. Such changes are beneficial for achieving good sporting results in mountain bike racing, which is characterized by variable and high intensity, and requires fast correct decision-making.

Author Contributions: Conceptualization, P.H., C.C. and R.H.; methodology, P.H. and R.H.; software, R.H.; validation, R.H. and P.H.; formal analysis, P.H. and C.C.; investigation, P.H., C.C. and R.H.; resources, R.H.; data curation, P.H. and R.H.; writing—original draft preparation, P.H. and C.C.; writing—review and editing, P.H., C.C. and R.H.; visualization, P.H.; supervision, C.C.; project administration, P.H.; funding acquisition, R.H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by Wroclaw University of Health and Sport Sciences, grant number PN/BK/2020/07.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and approved by the Ethics Committee of Wroclaw University of Health and Sport Sciences (protocol code: 07/11/2013; date of approval: 7 November 2013).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

Acknowledgments: The authors would like to thank all the cyclists and their coaches who made this study possible.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Jensen, A.R.; Munro, E. Reaction time, movement time, and intelligence. *Intelligence* **1979**, *3*, 121–126. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(79\)90010-2](https://doi.org/10.1016/0160-2896(79)90010-2).
2. Kuang, S. Is reaction time an index of white matter connectivity during training? *Cogn. Neurosci.* **2017**, *8*, 126–128. <https://doi.org/10.1080/17588928.2016.1205575>.
3. Caires, T.A.; Luvizutto, G.J.; Vieira, P.C.S.; Jablonski, G.; Bazan, R.; Andrade, A.O.; de Souza, L.A. A single training session of visual choice reaction time after mild stroke: A proof of concept. *Hum. Mov.* **2022**, *23*, 21–27. <https://doi.org/10.5114/hm.2021.106168>.
4. Adleman, N.E.; Chen, G.; Reynolds, R.C.; Frackman, A.; Razdan, V.; Weissman, D.H.; Pine, D.S.; Leibenluft, E. Age-related differences in the neural correlates of trial-to-trial variations of reaction time. *Dev. Cogn. Neurosci.* **2016**, *19*, 248–257. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.05.001>.
5. Greenhouse, I.; King, M.; Noah, S.; Maddock, R.J.; Ivry, R.B. Individual differences in resting corticospinal excitability are correlated with reaction time and GABA content in motor cortex. *J. Neurosci.* **2017**, *37*, 2686–2696. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3129-16.2017>.
6. Boisgontier, M.P.; Wittenberg, G.F.; Fujiyama, H.; Levin, O.; Swinnen, S.P. Complexity of central processing in simple and choice multilimb reaction-time tasks. *PLoS ONE* **2014**, *9*, e90457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090457>.
7. Delignières, D.; Brisswalter, J.; Legros, P. Influence of physical exercise on choice reaction time in sports experts: The mediating role of resources allocation. *J. Hum. Mov. Stud.* **1994**, *27*, 173–188.
8. Kashihara, K.; Nakahara, Y. Short-term effect of physical exercise at lactate threshold on choice reaction time. *Percept. Mot. Skills.* **2005**, *100*, 275–291. <https://doi.org/10.2466/pms.100.2.275-291>.

9. Johnson, M.; Charlton, J.; Oxley, J.; Newstead, S. Naturalistic cycling study: Identifying risk factors for on-road commuter cyclists. *Ann. Adv. Automot. Med.* **2010**, *54*, 275–283.
10. Gierczuk, D.; Bujak, Z.; Cieśliński, I.; Lyakh, V.; Sadowski, J. Response time and effectiveness in elite Greco-Roman wrestlers under simulated fight conditions. *J. Strength. Cond. Res.* **2018**, *32*, 3442–3449. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002868>.
11. Aleman, K.B.; Meyers, M.C. Mountain biking injuries in children and adolescents. *Sports Med.* **2010**, *40*, 77–90. <https://doi.org/10.2165/11319640-000000000-00000>.
12. Andersen, L.B.; Riiser, A.; Rutter, H.R.; Goenka, S.; Nordengen, S.; Solbraa, A. Trends in cycling and cycle related injuries and a calculation of prevented morbidity and mortality. *J. Transp. Health* **2018**, *9*, 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2018.02.009>.
13. Oja, P.; Titze, S.; Bauman, A.; de Geus, B.; Krenn, P.; Reger-Nash, B.; Kohlberger, T. Health benefits of cycling: A systematic review. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2011**, *21*, 496–509. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01299>.
14. Novak, A.R.; Bennett, K.J.M.; Fransen, J.; Dascombe, B.J. A multidimensional approach to performance prediction in Olympic distance cross-country mountain bikers. *J. Sports Sci.* **2018**, *36*, 71–78. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1280611>.
15. Inoue, A.; Sá Filho, A.S.; Mello, F.C.; Santos, T.M. Relationship between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-country performance. *J. Strength. Cond. Res.* **2012**, *26*, 1589–1593. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234eb89>.
16. Hebisz, P.; Hebisz, R.; Zatoń, M. Body balance in a free-standing position in road and off-road cyclists. *Balt. J. Health Phys. Activ.* **2014**, *6*, 245–251. <https://doi.org/10.2478/bjha-2014-0022>.
17. Granier, C.; Abbiss, C.R.; Aubry, A.; Vauchez, Y.; Dorel, S.; Hausswirth, C.; Le Meur, Y. Power output and pacing during international cross-country mountain bike cycling. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2018**, *13*, 1243–1249. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0516>.
18. Bejder, J.; Bonne, T.C.; Nyberg, M.; Sjöberg, K.A.; Nordsborg, N.B. Physiological determinants of elite mountain bike cross-country Olympic performance. *J. Sports Sci.* **2019**, *37*, 1154–1161. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1546546>.
19. Hebisz, R.; Hebisz, P.; Zatoń, M. Work efficiency in repeated sets of sprint interval exercise in cyclists. *J. Sports Med. Phys. Fitness* **2017**, *57*, 195–201. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06006-X>.
20. Hebisz, R.; Hebisz, P.; Zatoń, M.; Michalik, K. Peak oxygen uptake in a sprint interval testing protocol vs. maximal oxygen uptake in an incremental testing protocol and their relationship with cross-country mountain biking performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2017**, *42*, 371–376. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0362>.
21. Hebisz, R.; Hebisz, P.; Borkowski, J.; Zatoń, M. Differences in physiological responses to interval training in cyclists with and without interval training experience. *J. Hum. Kinet.* **2016**, *50*, 93–101. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0147>.
22. Abbiss, C.R.; Laursen, P.B. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Med.* **2005**, *35*, 865–898. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535100-00004>.
23. Sant’Ana, J.; Franchini, E.; da Silva, V.; Diefenthaler, F. Effect of fatigue on reaction time, response time, performance time, and kick impact in taekwondo roundhouse kick. *Sports Biomech.* **2017**, *16*, 201–209. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1217347>.
24. Pavelka, R.; Třebický, V.; Třebická Fialová, J.; Zdobinsk, A.; Coufalová, K.; Havlíček, J.; Tufano, J.J. Acute fatigue affects reaction times and reaction consistency in Mixed Martial Arts fighters. *PLoS ONE* **2020**, *15*, e0227675. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227675>.
25. Stöggl, T.; Sperlich, B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front. Physiol.* **2014**, *5*, 33.
26. Rosenblat, M.A.; Perrotta, A.S.; Thomas, S.G. Effect of high-intensity interval training versus sprint interval training on time-trial performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* **2020**, *50*, 1145–1161.
27. Da Silva, K.A.; Lopes, J.A.; de Souza, E.G.; Stanganelli, L.C.R. Effect of a training macrocycle on physiological indicators, body composition, and explosiveness among recreational runners. *Hum. Mov.* **2020**, *21*, 49–56.
28. Zapata-Lamana, R.; Henríquez-Olguín, C.; Burgos, C.; Meneses-Valdés, R.; Cigarroa, I.; Soto, C.; Fernández-Elías, V.E.; García-Merino, S.; Ramirez-Campillo, R.; García-Hermoso, A.; et al. Effects of polarized training on cardiometabolic risk factors in young overweight and obese women: A randomized-controlled trial. *Front. Physiol.* **2018**, *18*, 1287. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01287>.
29. Hebisz, P.; Hebisz, R.; Murawska-Ciałowicz, E.; Zatoń, M. Changes in exercise capacity and serum BDNF following long-term sprint interval training in well-trained cyclists. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2019**, *44*, 499–506. <https://doi.org/10.1139/apnm-2018-0427>.
30. Hebisz, R.; Hebisz, P.; Danek, N.; Michalik, K.; Zatoń, M. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. *J. Strength Cond. Res.* **2022**, *36*, 1726–1730. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003619>.
31. Röhrken, G.; Held, S.; Donath, L. Six weeks of polarized versus moderate intensity distribution: A pilot intervention study. *Front. Physiol.* **2020**, *11*, 534688. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.534688>.
32. Jain, A.; Bansal, R.; Kumar, A.; Singh, K.D. A comparative study of visual and auditory reaction times on the basis of gender and physical activity levels of medical first year students. *Int. J. Appl. Basic Med. Res.* **2015**, *5*, 124–127. <https://doi.org/10.4103/2229-516X.157168>.

33. Mekari, S.; Earle, M.; Martins, R.; Drisdelle, S.; Killen, M.; Bouffard-Levasseur, V.; Dupuy, O. Effect of high intensity interval training compared to continuous training on cognitive performance in young healthy adults: A pilot study. *Brain Sci.* **2020**, *10*, 81. <https://doi.org/10.3390/brainsci10020081>.
34. Sherwood, D.E.; Selder, D.J. Cardiorespiratory health, reaction time and aging. *Med. Sci. Sports* **1979**, *11*, 186–189.
35. Reigal, R.E.; Barrero, S.; Martín, I.; Morales-Sánchez, V.; Juárez-Ruiz de Mier, R.; Hernández-Mendo, A. Relationships between reaction time, selective attention, physical activity, and physical fitness in children. *Front Psychol.* **2019**, *10*, 2278. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02278>.
36. Stillman, C.M.; Cohen, J.; Lehman, M.E.; Erickson, K.I. Mediators of physical activity on neurocognitive function: A review at multiple levels of analysis. *Front. Hum. Neurosci.* **2016**, *10*, 626. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00626>.
37. Nofuji, Y.; Suwa, M.; Sasaki, H.; Ichimiya, A.; Nishichi, R.; Kumagai, S. Different circulating brain-derived neurotrophic factor responses to acute exercise between physically active and sedentary subjects. *J. Sports Sci. Med.* **2012**, *11*, 83–88.
38. Bos, I.; De Boever, P.; Int Panis, L.; Meeusen, R. Physical activity, air pollution and the brain. *Sports Med.* **2014**, *44*, 1505–1518. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0222-6>.
39. Lu, B.; Nagappan, G.; Lu, Y. BDNF and synaptic plasticity, cognitive function, and dysfunction. *Handb. Exp. Pharmacol.* **2014**, *220*, 223–250. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-45106-5>.
40. Jakobsen, L.H.; Sorensen, J.M.; Rask, I.K.; Jensen, B.S.; Kondrup, J. Validation of reaction time as a measure of cognitive function and quality of life in healthy subjects and patients. *Nutrition* **2011**, *27*, 561–570. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2010.08.003>.
41. Horwitz, B.; Deiber, M.P.; Ibáñez, V.; Sadato, N.; Hallett, M. Correlations between reaction time and cerebral blood flow during motor preparation. *Neuroimage* **2000**, *12*, 434–441. <https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0632>.
42. Ballester-Ferrer, J.A.; Roldan, A.; Cervelló, E.; Pastor, D. Memory modulation by exercise in young adults is related to lactate and not affected by sex or BDNF polymorphism. *Biology* **2022**, *11*, 1541. <https://doi.org/10.3390/biology11101541>.
43. Müller, P.; Duderstadt, Y.; Lessmann, V.; Müller, N.G. Lactate and BDNF: Key mediators of exercise induced neuroplasticity? *J. Clin. Med.* **2020**, *9*, 1136. <https://doi.org/10.3390/jcm9041136>.
44. Peyré-Tartaruga, L.A.; Coertjens, M. Locomotion as a powerful model to study integrative physiology: Efficiency, economy, and power relationship. *Front. Physiol.* **2018**, *9*, 1789. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01789>.
45. Edvardsen, E.; Hem, E.; Anderssen, S.A. End criteria for reaching maximal oxygen uptake must be strict and adjusted to sex and age: A cross-sectional study. *PLoS ONE* **2014**, *9*, e85276. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085276>.
46. Doherty, M.; Nobbs, L.; Noakes, T. Low frequency of the “plateau phenomenon” during maximal exercise in elite British athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2003**, *89*, 619–623.
47. Lucia, A.; Rabadan, M.; Hoyos, J.; Hernandez-Capilla, M.; Perez, M.; San Jaun, A.F.; Earnest, C.F.; Chicharro, J.L. Frequency of the VO₂max plateau phenomenon in world class cyclists. *Int. J. Sports Med.* **2006**, *27*, 984–992.
48. Zapala, D.; Zabielska-Mendyk, E.; Cudo, A.; Jaśkiewicz, M.; Kwiatkowski, M.; Kwiatkowska, A. The role of motor imagery in predicting motor skills in young male soccer players. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 6316. <https://doi.org/10.3390/ijerph18126316>.
49. Lakens, D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Front. Psychol.* **2013**, *4*, 863. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>.
50. Buchholtz, K.; Burgess, T. An evaluation of bicycle-specific agility and reaction times in mountain bikers and road cyclists. *S. Afr. Sports Med. Assoc.* **2020**, *32*, 1–5. <https://doi.org/10.17159/2078-516X/2020/v32i1a8576>.
51. Durand, M.; Bourrier, J.; Legros, P. Effet de différentes intensités d'effort physique sur les comportements de spécialistes ou non de sports collectifs dans des tâches de temps de réaction. In *Sport et Psychologie*; Bilard, J., Durand, M., Eds.; EPS/SFPS: Paris, France, 1991.
52. Hays, A.; Devys, S.; Bertin, D.; Marquet, L.A.; Brisswalter, J. Understanding the physiological requirements of the mountain bike cross-country Olympic race format. *Front. Physiol.* **2018**, *9*, 1062. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01062>.
53. Tomaszewski, P.; Kęska, A.; Tkaczyk, J.; Nowicki, D.; Sienkiewicz-Dianzenza, E. Somatic characteristics and motor fitness of elite and sub-elite Polish male badminton players. *J. Sports Med. Phys. Fitness* **2018**, *58*, 1456–1464. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.07279-6>.
54. Pesce, C.; Cereatti, L.; Forte, R.; Crova, C.; Casella, R. Acute and chronic exercise effects on attentional control in older road cyclists. *Gerontology* **2011**, *57*, 121–128. <https://doi.org/10.1159/000314685>.
55. Bańkosz, Z.; Nawara, H.; Ociepa, M. Assessment of simple reaction time in badminton players. *Trends Sport Sci.* **2013**, *1*, 54–61.
56. Okubo, Y.; Schoene, D.; Lord, S.R. Step training improves reaction time, gait and balance and reduces falls in older people: A systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med.* **2017**, *51*, 586–593. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095452>.
57. Walton, C.C.; Keegan, R.J.; Martin, M.; Hallock, H. The potential role for cognitive training in sport: More research needed. *Front. Psychol.* **2018**, *9*, 1121. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01121>.
58. Van de Water, T.; Huijgen, B.; Faber, I.; Elferink-Gemser, M. Assessing cognitive performance in badminton players: A reproducibility and validity study. *J. Hum. Kinet.* **2017**, *55*, 149–159. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0014>.
59. Danielmeier, C.; Ullsperger, M. Post-error adjustments. *Front. Psychol.* **2011**, *2*, 233. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00233>.

60. Yu, C.C.; Muggleton, N.G.; Chen, C.Y.; Ko, C.H.; Liu, S. The comparisons of inhibitory control and post-error behaviors between different types of athletes and physically inactive adults. *PLoS ONE* **2021**, *16*, e0256272. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256272>.
61. Wang, C.H.; Chang, C.C.; Liang, Y.M.; Shih, C.M.; Chiu, W.S.; Tseng, P.; Hung, D.L.; Tzeng, O.J.; Muggleton, N.G.; Juan, C.H. Open vs. closed skill sports and the modulation of inhibitory control. *PLoS ONE* **2013**, *8*, e55773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055773>.
62. Hays, A.; Nicol, C.; Bertin, D.; Hardouin, R.; Brisswalter, J. Physiological and mechanical indices serving the new cross-country olympic mountain bike performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2021**, *16*, 1008–1013. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0319>.
63. Smekal, G.; von Duvillard, S.P.; Hörmandinger, M.; Moll, R.; Heller, M.; Pokan, R.; Bacharach, D.W.; LeMura, L.M.; Arciero, P. Physiological demands of simulated off-road cycling competition. *J. Sports Sci. Med.* **2015**, *14*, 799–810.

Effect of POL, SIT, HIIT and LIT training programs on aerobic fitness, LOX-1 and ox-LDL concentration in active peoples

Rafal Hebisz¹, Cristina Cortis², Paulina Hebisz^{1*}, Jacek Borkowski¹, Agnieszka D. Jastrzębska¹

¹Department of Physiology and Biochemistry, Wrocław University of Health and Sport Sciences,, Poland,

²Department of Human Sciences, Society and Health, University of Cassino and Lazio Meridionale,, Italy

Submitted to Journal:

Frontiers in Physiology

Specialty Section:

Exercise Physiology

Article type:

Original Research Article

Manuscript ID:

1206114

Received on:

14 Apr 2023

Journal website link:

www.frontiersin.org

Conflict of interest statement

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest

Author contribution statement

Conceptualization, R.H. and J.B.; methodology, R.H. and P.H.; software, R.H.; validation, C.C., P.H. and A.J.; formal analysis, R.H., C.C. and A.J.; investigation, C.C.; A.J. and J.B.; resources, R.H. and P.H.; data curation, R.H., J.B. and A.J.; writing—original draft preparation, P.H. and C.C.; writing—review and editing, R.H., A.J. and J.B.; visualization, P.H.; supervision, C.C.; project administration, C.C., P.H. and J.B.; funding acquisition, R.H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.”

Keywords

Lectin-like oxidized low-density lipoprotein receptor-1, Oxidized Low-Density Lipoprotein, maximal oxygen uptake, Maximal aerobic power, intermittent exercise

Abstract

Word count: 208

The study assessed effects of four different training programs: 1) polarized training program (POL) (consisting of sprint interval training (SIT), high-intensity interval training (HIIT) and low-intensity training (LIT)), 2) training program consisting only of SIT training, 3) training program consisting only of HIIT training, and 4) training program consisting only of LIT, on maximal oxygen uptake (VO₂max), lectin-like oxidized low-density lipoprotein receptor-1 (LOX-1) and oxidized low-density lipoprotein (ox-LDL) serum concentration. The study involved 40 active people divided into 4 groups of 10 participants each: group POL performed a POL training program, group SIT performed a SIT training program, group HIIT performed a HIIT training program, and group LIT performed a LIT training program. Throughout the 5-week experiment, in each week the participants performed 3 training sessions. Before and after the experiment, an incremental test and VO₂max verification test were carried out. Serum concentrations of LOX-1 and ox-LDL were determined before an incremental test. After the experiment, statistically significant mixed effects were shown for VO₂max (14.2% and 9.5% increase in POL and HIIT groups, respectively) and LOX-1 (51.5% and 61.1% decrease in POL and HIIT groups, respectively). It was concluded, that POL and HIIT training program were effective in improve VO₂max and reduce serum LOX-1 levels among active peoples.

Contribution to the field

Dear Editor, This manuscript can be helpful for people who prefer an active lifestyle in planning and selecting the training sessions. A comparison of the four training programs among physically active but non-athletes showed that the polarized training program and the high intensity interval training program are effective in improving maximal oxygen uptake and reducing serum LOX-1 levels, compared to the sprint interval training program and the low intensity training program. Yours sincerely, Rafal Hebisz
Cristina Cortis Paulina Hebisz Jacek Borkowski Agnieszka Jastrzębska

Funding information

This research was funded by Wroclaw University of Health and Sport Sciences, grant number PN/BK/2020/07.

Ethics statements

Studies involving animal subjects

Generated Statement: No animal studies are presented in this manuscript.

Studies involving human subjects

Generated Statement: The studies involving human participants were reviewed and approved by Ethics Committee of Wroclaw University of Health and Sport Sciences (protocol code: 39/2019; date of approval: 26 November 2019).. The patients/participants provided their written informed consent to participate in this study.

Inclusion of identifiable human data

Generated Statement: No potentially identifiable human images or data is presented in this study.

In review

Data availability statement

Generated Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

In review

Effect of POL, SIT, HIIT and LIT training programs on aerobic fitness, LOX-1 and ox-LDL concentration in active peoples

1 **Rafal Hebisz¹, Cristina Cortis², Paulina Hebisz^{1*}, Jacek Borkowski¹ and Agnieszka**
2 **Jastrzębska¹**

3 ¹Department of Physiology and Biochemistry, Wrocław University of Health and Sport Sciences,
4 Wrocław, Poland

5 ²Department of Human Sciences, Society and Health, University of Cassino and Lazio Meridionale,
6 Cassino, Frosinone, Italy

7 *** Correspondence:**

8 Paulina Hebisz

9 paulinahebisz@awf.wroc.pl

10 **Keywords: lectin-like oxidized low-density lipoprotein receptor-1, oxidized low-density**
11 **lipoprotein, maximal oxygen uptake, maximal aerobic power, intermittent exercise.**

12 **Abstract**

13 The study assessed effects of four different training programs: 1) polarized training program (POL)
14 (consisting of sprint interval training (SIT), high-intensity interval training (HIIT) and low-intensity
15 training (LIT)), 2) training program consisting only of SIT training, 3) training program consisting
16 only of HIIT training, and 4) training program consisting only of LIT, on maximal oxygen uptake
17 (VO_{2max}), lectin-like oxidized low-density lipoprotein receptor-1 (LOX-1) and oxidized low-density
18 lipoprotein (ox-LDL) serum concentration. The study involved 40 active people divided into 4
19 groups of 10 participants each: group POL performed a POL training program, group SIT performed
20 a SIT training program, group HIIT performed a HIIT training program, and group LIT performed a
21 LIT training program. Throughout the 5-week experiment, in each week the participants performed 3
22 training sessions. Before and after the experiment, an incremental test and VO_{2max} verification test
23 were carried out. Serum concentrations of LOX-1 and ox-LDL were determined before an
24 incremental test. After the experiment, statistically significant mixed effects were shown for VO_{2max}
25 (14.2% and 9.5% increase in POL and HIIT groups, respectively) and LOX-1 (51.5% and 61.1%
26 decrease in POL and HIIT groups, respectively). It was concluded, that POL and HIIT training
27 program were effective in improve VO_{2max} and reduce serum LOX-1 levels among active peoples.

28 **1 Introduction**

29 Cardiorespiratory fitness has a significant impact on human life expectancy, and strongly determines
30 the ability to perform aerobic exercise (Kodama et al., 2009). The gold standard for exercise
31 assessment of cardiorespiratory fitness is maximal oxygen uptake (VO_{2max}) (Jones et al., 2017). A
32 well-known stimulus that develops VO_{2max} is prolonged low-intensity training (LIT) (Meyer et al.,
33 2007; Després and Lamarche, 1994) and moderate intensity training (MIT), close to the lactate
34 threshold level (Meyer et al., 2007; Helgerud et al., 2007). Furthermore, interval training has been
35 repeatedly shown to be equally effective in developing VO_{2max} in non-trained individuals compared
36 to LIT training (Gist et al., 2014; Litleskare et al., 2020) or is more effective than LIT and MIT

37 trainings (Helgerud et al., 2007). Two types of interval training are described in the literature. The
38 first type is sprint interval training (SIT), which consists of efforts that usually last approx. 15-30
39 seconds and are performed at maximal intensity (Gist et al., 2014; Burgomaster et al., 2006). The
40 second type is high intensity interval training (HIIT), which often involves efforts lasting 1-4 minutes
41 and performed at 90-120% maximal aerobic power determined in incremental test (McKay et al.,
42 2009). The results show that the effectiveness of both types of interval training described above is
43 similar in developing $VO_2\text{max}$ (de Oliveira-Nunes et al., 2021; Rosenblat et al., 2020).

44 The studies cited above examined the effects of using one type of training, separately.
45 However, in studies among athletes, it is common to use training programs consisting of several
46 types of training. One example is polarized training programmes (POL). They are defined as a
47 training cycle that is characterised by a polarization of training intensities, i.e. it is made up of low-
48 intensity and high-intensity training, while MIT-type training are not used or they account for only 5-
49 10% of the total training volume (Rosenblat et al., 2019; Stöggl and Sperlich, 2014). Some authors
50 found that a POL training program allows for greater development of physical performance
51 compared to other programs (Stöggl and Sperlich, 2014; Neal et al., 2013). Neal et al. (2013)
52 observed a greater increase in maximal power in the incremental test, power at lactate threshold and
53 working time until exhaustion as a result of the POL training program compared to a program
54 consisting of LIT and MIT training. Similarly, Stöggl and Sperlich (2014) showed that a POL
55 training program induced greater increases in $VO_2\text{max}$, power at lactate threshold and maximal
56 power in the incremental test compared to programs involving a single type of training: LIT, HIIT or
57 MIT. Studies Hebisz et al. (2016; 2021) also reported the effects of a POL training program that
58 included SIT, HIIT and LIT training among cyclists. They showed that after two months of
59 performing the polarized programme, maximal oxygen uptake increased by 14%, which was a
60 significantly better effect compared to the control group who performed LIT and MIT training
61 (Hebisz et al., 2016). It is difficult to find information in the available literature on the use of a POL
62 training program, consisting of SIT, HIIT and LIT training, among non-athletes. It is worth
63 investigating POL training program effectiveness in developing $VO_2\text{max}$ in physically active non-
64 athletes. Because such a program used among athletes was effective in developing $VO_2\text{max}$, which
65 indicates cardiovascular fitness.

66 However, cardiovascular fitness can be compromise for example by arteriosclerosis (Poznyak
67 et al., 2021). Arteriosclerosis causes narrowing of the lumen of blood vessels, leading to reduced
68 blood flow resulting in tissue hypoxia (Poznyak et al., 2021; Leopold and Loscalzo, 2008). The
69 development of arteriosclerosis is associated, among other things, with the oxidation of low-density
70 lipoproteins (LDL) under oxidative stress, leading to the formation of the oxidized form of LDL (ox-
71 LDL) (Leopold and Loscalzo, 2008). Then, ox-LDL can be attached, for example, to the lectin-like
72 oxidized low-density lipoprotein receptor-1 (LOX-1) within macrophages and vascular smooth
73 muscle cells, contributing to the formation of foam cells (Poznyak et al., 2021; Mentrup et al., 2021).
74 LOX-1 expression can be increased by proatherogenic factors (Poznyak et al., 2021). It is believed
75 that, among other things, regular physical exercise reduces the risk of arteriosclerosis (Poznyak et al.,
76 2021). In studies in animals subjected to a high-fat diet, regular exercise has been shown to inhibit
77 LOX-1 expression in the carotid artery (Li et al., 2020) and in the coronary circulation (Riahi et al.,
78 2015). In human studies, regular physical exercise has been shown to affect ox-LDL concentrations,
79 but this effect occurs at high enough training volumes (Tiainen et al., 2018). On the other hand,
80 excessive hard training may be a factor that increases the risk of coronary arteriosclerosis of the
81 carotid and peripheral arteries in older people (Yang et al., 2017). However, there is a lack of
82 information in the available literature on the effect of POL training program on ox-LDL
83 concentrations and on the effect of any training on blood LOX-1 concentrations in humans.

84 Therefore, the aim of this study was to assess the effectiveness of four training programs: 1)
85 POL training program (consisting of SIT, HIIT and LIT), 2) program consisting only of SIT training,

86 3) program consisting only of HIIT training, and 4) program consisting only of LIT training, in the
87 development of VO₂max and to determine the effect of the above-mentioned programs on serum
88 LOX-1 and ox-LDL concentrations in physically active participants. We assumed that POL training
89 program would produce better results in these aspects than programs consisting of one-type training
90 sessions.

91 **2 Materials and methods**

92 **2.1 Participants**

93 Forty physically active people took part in the study. Each of the participants undertook recreational
94 physical activity at least twice a week, for a total time of at least 2-3 hours each week. None of the
95 participants trained as an athlete or participated in any sports competition. All participants were non-
96 smokers and did not use drugs. Participants were randomly divided into four groups: group POL
97 (n=10, including 8 men and 2 women), group SIT (n=10, including 7 men and 3 women), group HIIT
98 (n=10, including 7 men and 3 women), group LIT (n=10, including 7 men and 3 women). During the
99 experiment, each group performed a different training program: group POL – POL training, group
100 SIT – SIT training only, group HIIT- HIIT training only, group LIT – LIT training only. A detailed
101 description of the training programs can be found in the “Course of the Experiment” section.

102 Table 1 shows anthropometric and physiological parameters characterising the participants’,
103 measured immediately before the experiment. There were no significant differences between the
104 groups for any of the parameters studied.

105 The study design was approved by the institutional review board and conducted in accordance
106 with the ethical standards established by the Declaration of Helsinki. Written informed consent was
107 obtained from all participants after the study details, procedures, and benefits and risks were
108 explained.

109 **2.2 Test procedures**

110 Each participant underwent laboratory tests before and after the experiment, which included a resting
111 venous blood sample and incremental test – done on one day, and a test verifying the level of
112 maximal oxygen uptake (VO₂max verification test) – done on a subsequent day. During the 48 hours
113 preceding the incremental test, participants did not perform any exercise or training. Each of the
114 performance tests were performed in controlled laboratory conditions (temperature and humidity
115 controlled).

116 **2.2.1 Collection and labelling of blood samples**

117 In each participant, a 5 ml blood sample was drawn from a vein on the elbow bend. Blood was taken
118 30 minutes before the incremental test, at least 150 minutes after eating. Blood samples were
119 collected in Sarstedt tubes with serous granules (Stamar, Poland) and then allowed to clot at room
120 temperature for 30 min. The samples were then centrifuged for 10 min at 3000 rpm (Eppendorf
121 Centrifuge 5810, Hamburg, Germany). Serum was extracted and then stored in Eppendorf tubes at
122 –80°C. Following all blood collections, analyses of serum oxidized low-density lipoprotein (ox-
123 LDL), lectin-like oxidized low-density lipoprotein receptor-1 (LOX-1) concentrations were
124 performed. After thawing, samples were analysed by ELISA. Marking was performed using
125 immunoenzymatic assay kits for ox-LDL (Wuhan Fine Biotech Co. Ltd., Wuhan, China) and LOX-1
126 (Wuhan Fine Biotech Co. Ltd., Wuhan, China).

127 **2.2.2 Incremental Test**

128 Test was performed on a Lode Excalibur Sport cycle ergometer (Lode BV, Groningen, The
129 Netherlands). Starting workload was 50 W (men) and 40 W (women) and increased every 3 min by
130 50 W (men) and 40 W (women) until volitional exhaustion was reached (Hebisz et al., 2016; Hebisz
131 et al., 2021). Time and instantaneous power output were continually recorded. If the participant was
132 unable to complete a 3-min 50 W stretch, then 0.28 W (men) and 0.22 W (women) was subtracted for
133 each missing second from current level of power. In this way was maximal aerobic power (P_{max})
134 obtained (Hebisz et al., 2016; Hebisz et al., 2021). Respiratory function was measured using a Quark
135 CPET analyzer (Cosmed, Rome, Italy) which was calibrated before each test with a reference gas
136 mixture of: carbon dioxide (5%), oxygen (16%), and nitrogen (79%). Tidal air was analyzed on a
137 breath-by-breath basis to determine oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), carbon dioxide excretion ($\dot{V}CO_2$) and
138 minute pulmonary ventilation (VE). Absolute and relative (per kg of body mass) $\dot{V}O_{2peak}$ was
139 calculated based on the composition of expired air and minute ventilation. The measures were
140 averaged over 30-s intervals. Based on the respiratory data records from the incremental test, the first
141 ventilatory threshold (VT1) was determined at the point preceding the first non-linear increase in
142 $VE \cdot \dot{V}O_2^{-1}$ without a concomitant increase in $VE \cdot \dot{V}CO_2^{-1}$ equivalent; the second ventilatory threshold
143 (VT2) was at the point preceding the second non-linear increase in $VE \cdot \dot{V}O_2^{-1}$ accompanied by an
144 increase of $VE \cdot \dot{V}CO_2^{-1}$ equivalent, according to the methodology described by Davis et al. (1980)
145 and Beaver et al. (1986). Heart rate (HR) was recorded using a chest strap supplied by a Quark CPET
146 analyzer manufacturer.

147 **2.2.3 $\dot{V}O_{2max}$ verification test**

148 The following day, after the incremental test, each participant performed a test to verify the level of
149 $\dot{V}O_{2peak}$ measured in the incremental test, following a previously described procedure (Hebisz et al.,
150 2021a). The verification test was preceded by a warm-up consisting of 5 min exercise at an intensity
151 corresponding to the power achieved at VT1, then 10 min at a power corresponding to half the
152 distance between the VT1 and the VT2. The warm-up was followed by a 10-min passive break. A
153 load of 110% P_{max} was applied during the verification test. The verification test used the same
154 procedures for measuring respiratory parameters as the incremental test. The higher $\dot{V}O_{2peak}$ value
155 (of those measured in the incremental test and the verification test) was defined as maximal oxygen
156 uptake ($\dot{V}O_{2max}$). Using the same principle, maximal values for pulmonary minute ventilation
157 ($\dot{V}E_{max}$) and heart rate (HR_{max}) were indicated. Maximal exercise respiratory rate (RER_{max}) was
158 determined based on data collected in an incremental test.

159 **2.3 Course of the Experiment**

160 During the 5-week experiment, participants in each study group performed 3 training sessions per
161 week, each training session lasting approx. 45-50 minutes (1st–2nd week) and approx. 60-65 minutes
162 (3rd–5th week). The course of the experiment is shown in Figure 1. Group POL performed polarized
163 training program consisting of sprint interval training (SIT), high intensity interval training (HIIT)
164 and low intensity training (LIT). Group SIT performed program consisting of SIT training only;
165 group HIIT performed program consisting of HIIT training only; and group LIT performed program
166 consisting of LIT training only. The trainings were performed as described below:

- 167 a) Sprint interval training (SIT), consisting of 6–10 repetitions at maximal intensity (all-out
168 effort at torque factor of 0.7 N·m per kg of body mass) lasting 30 s. The training was divided
169 into 2 sets, with 3-5 maximal repetitions performed in each set. An active rest of 90 s was
170 used between repetitions, during which the participants exercised at a power not exceeding 25
171 W. Between the sets, an active rest of 15 min was used, during which the exercise was
172 performed at the power reached at VT1 (measured during the incremental test). During the

- 173 first part of the experiment (1st–2nd week), all participants performed 6 repetitions during
174 SIT. In the following weeks of the experiment (3rd–5th week), the participants performed 10
175 repetitions during SIT.
- 176 b) High-intensity interval training (HIIT), consisting of 4–5 efforts lasting 3 min and performed
177 at an intensity of 90% Pmax (measured during the incremental test). An active rest of 6 min
178 was used between these efforts, during which an effort was performed with intensity
179 corresponding to the power achieved at VT1. During the first part of the experiment (1st–2nd
180 week), all participants performed 4 efforts during HIIT. In the following weeks of the
181 experiment (3rd–5th week), the participants performed 5 efforts during HIIT.
- 182 c) Low-intensity training (LIT) of 45 – 60 minutes, performed with intensity corresponding to
183 the power achieved at VT1. During the first part of the experiment (1st–2nd week), all
184 participants performed 45 minutes of LIT. In the following weeks of the experiment (3rd–5th
185 week), the participants performed 60 minutes of LIT.

186 2.4 Statistical analysis

187 For statistical analysis of the data, Statistica 13 software was used. Mean, standard deviation, and
188 confidence intervals for the mean value were calculated. In order to assess the normality distribution
189 of the studied variables, the Shapiro-Wilk test was used. Analysis of variance with repeated measures
190 was used to identify statistically significant main effects when the variables were not significantly
191 different compared to a normal distribution. The Scheffe test was used as a post-hoc test. Where
192 variables differed from a normal distribution, Friedman analysis of variance was used to compare
193 differences between repeated measurements.

194 Prior to the experiment, the minimum study group size was estimated using G-Power software,
195 assuming a minimum very large η^2 of 0.35 at $p < 0.05$ in the analysis of variance. In this way, it was
196 determined that the entire study group should be at least 40 people.

197 3 Results

198 Using analysis of variance, the main effect of repeated measurements and the mixed effect of
199 repeated measurements and group were demonstrated for VO_2max expressed in $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$
200 ($F=26.02$, $p=0.000$, $\eta^2=0.426$ and $F=9.316$, $p=0.000$, $\eta^2=0.444$, respectively), VO_2max expressed in
201 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($F=27.025$, $p=0.000$, $\eta^2=0.429$ and $F=7.263$, $p=0.000$, $\eta^2=0.377$, respectively) and Pmax
202 ($F=48.133$, $p=0.000$, $\eta^2=0.572$ and $F=8.615$, $p=0.000$, $\eta^2=0.418$, respectively). The effect of repeated
203 measurements was also demonstrated for VE_{max} ($F=14.567$, $p=0.001$, $\eta^2=0.288$). Post-hoc tests
204 showed that VO_2max ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) and Pmax increased after the experiment in group POL and
205 HIIT, while VO_2max ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) increased after the experiment only in group POL (Table 2).

206 Using the Shapiro-Wilk test, it was shown that the distribution of LOX-1 in the after-
207 experiment study was statistically significantly different compared with the normal distribution in
208 groups POL, SIT and HIIT. In addition, the distribution of ox-LDL was different compared with the
209 normal distribution in each study group at before- and after-experiment measurements. Using
210 Friedman analysis of variance, statistically significant differences in repeated measurements for
211 LOX-1 were demonstrated in the entire study group ($\chi^2=5.158$, $p=0.023$), in group POL ($\chi^2=9.000$,
212 $p=0.003$) and in group HIIT ($\chi^2=4.500$, $p=0.034$) (Table 3). There were no statistically significant
213 differences in repeated measurements for ox-LDL in any of the study groups (Table 3).

214 4 Discussion

215 In the presented study, it was shown that among young people who are physically active but not
216 athletes, Pmax and VO_2max (expressed in $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) increased in group POL (by 11.1% and

217 14.2%, respectively) and in group HIIT (by 10.2% and 9.5%, respectively). Besides, only in group
218 POL VO_2max expressed in $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ increased (by 12.9%). The results obtained in this study confirm
219 the effects of previous studies performed among cyclists (Hebisz et al., 2016). Previous studies
220 demonstrated that an eight-week program consisting of SIT, HIIT and LIT training was effective in
221 developing VO_2max and caused its increase from $57.9 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ to $66.6 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Hebisz et
222 al., 2016). The protocol used in the cyclist study (Hebisz et al., 2016) was similar to the polarized
223 training program used for physically active participants in group POL in the presented study. The
224 only difference between the protocols was the number of training sessions: the cyclists performed 5
225 training sessions per week for 8 weeks (Hebisz et al., 2016), whereas participants in group POL
226 performed 3 training sessions per week for 5 weeks. However, the results indicate that fewer training
227 sessions done by group POL proved to be similarly effective in developing VO_2max as the program
228 completed by the cyclists (Hebisz et al., 2016).

229 The applied POL training program in the presented studies showed high effectiveness
230 compared to the studies described in the available literature, in which participants (physically active)
231 also performed at least 3 training sessions per week. For example, Helgerud et al. (2007) found that
232 VO_2max increased by 5.5% and 7.2% after 8 weeks of HIIT training performed by individuals with a
233 baseline VO_2max of approx. $55 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. Astorino et al. (2018) obtained an increase in VO_2max
234 of 6% and 5.5% after 3 weeks of HIIT training performed by a group of men and women. Esfarjani
235 and Laursen (2007) showed that VO_2max improved by 9.1% after 10 weeks of performing 2 HIIT
236 and 2 LIT trainings per week in a group of individuals with a baseline VO_2max of $51.3 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.
237 The effects of HIIT training described above are similar to the effects that we observed in group
238 HIIT, which also performed HIIT training. There is no consistent information in the literature about
239 the effects of SIT and LIT training on the aerobic fitness of physically active individuals.
240 Macpherson et al. (2011) showed that after 6 weeks of running training, VO_2max increased by 11.5%
241 in group performing SIT training and by 12.5% in group performing LIT training. However, these
242 changes were calculated on the basis of VO_2max expressed in $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, and there was a decrease
243 in body fat among the participants over the course of the experiment, which must have affected the
244 magnitude of the changes observed. VO_2max changes of approx. 12% were also found by Sökmen et
245 al. (2018) after 9-10 weeks of SIT training. Slightly smaller changes in VO_2max (4-8%) were shown
246 by Bailey et al. (2009) and Zelt et al. (2014) after 2-4 weeks of SIT training. Significant changes in
247 VO_2max after six sessions of SIT were not found by Lloyd Jones et al. (2017), nor were they found
248 by Bailey et al. (2009) after six sessions of LIT training. VO_2max changes of 7.4% were found by
249 Sökmen et al. (2018) after 10 weeks of LIT training; similarly, Zelt et al. (2014) showed a 13%
250 improvement in VO_2max after 4 weeks of LIT training. Vollart et al. (2017) in meta-analysis showed
251 consistent evidence that SIT increases VO_2max . In the presented study, in the SIT group, VO_2max
252 changed (increased) by 4.4%, but this change did not reach the level of statistical significance.
253 Similarly, in the presented study, no statistically significant changes were observed in the LIT group,
254 although there was a trend of decreasing VO_2max .

255 The duration of SIT or LIT training program may affect on the development of aerobic
256 fitness, as no significant changes in VO_2max were observed when the experiment lasted only two
257 weeks (Bailey et al., 2009; Lloyd Jones et al., 2017). Baseline aerobic capacity of the participants
258 may also be related to the effects obtained. Although in all the articles cited above the study
259 participants are described as physically active, there are small differences in baseline VO_2max levels.
260 In the studies Sökmen et al. (2018), in which the greatest changes in aerobic capacity were obtained,
261 the groups performing SIT and LIT training programme had a baseline VO_2max of approx. $40\text{-}42$
262 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. In a study by Zelt et al. (2014), in which smaller changes in aerobic capacity were
263 achieved, baseline VO_2max in the two groups performing the two SIT training protocols was at 47
264 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $49 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. In the presented study, the baseline VO_2max levels in group SIT
265 and LIT were $47.68 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $50.59 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. Høydal (2017) suggest that

266 effect of training program on $VO_2\text{max}$ can be determined by the baseline level of aerobic capacity.
267 Therefore, it seems conceivable that the replacement of previous physical activity with SIT or LIT
268 training, with a total volume of approx. 3h per week, was insufficient to significantly develop the
269 aerobic capacity of the participants in the presented study.

270 In the presented study, no effect of the training programs used on the changes of serum ox-
271 LDL was observed. Data in the available literature indicate that physical activity decreases ox-LDL
272 levels in obese individuals (Park et al., 2015). Comparative data also indicate that levels of serum ox-
273 LDL are lower in the athlete population (footballers) compared to physically inactive individuals
274 (Yol et al., 2020). However, according to Tiainen et al. (2018), the effects of training in reducing ox-
275 LDL concentrations are dependent on the volume of training performed. Therefore, it is possible that
276 the training volume used in our study (3 hours per week) appeared to be too low to reduce serum ox-
277 LDL concentrations in previously physically active participants. Simultaneously, the results of the
278 presented study showed that POL training program and HIIT training program were effective in
279 reducing serum LOX-1 concentrations. Whereas, no such effect was obtained after performing SIT or
280 LIT training program. In the Introduction section, we described that training affected the reduction of
281 LOX-1 expression in the cardiovascular system (Li et al., 2020; Riahi et al., 2015). In the study
282 presented here, the expression of LOX-1 was not determined, only the concentration of its fragments
283 dissolved in serum. Such measurement is standard in human studies (Barreto et al., 2021). Among
284 other things, it can be used to predict the risk of dangerous circulatory events, i.e. myocardial
285 infarction or haemorrhagic stroke (Zhao et al., 2019). Li et al. (2020) suggested that strong shear
286 stress associated with laminar flow occurs during exercise, which contributes to reduced LOX-1
287 expression. Shear stress is also thought to increase the release of platelet-derived microvesicles,
288 which can stimulate angiogenesis (Wilhelm et al., 2016). The magnitude of the shear rate depends on
289 the intensity of exercises (Thijssen et al., 2009). In the presented study, the POL training program
290 and HIIT training program were characterized by a higher total time of efforts performed at high
291 intensity compared to the SIT and LIT training program. Therefore, the shear stress stimulus may
292 have exerted a stronger effect during the training performed by groups POL and HIIT compared to
293 the training performed by groups SIT and LIT. Perhaps, this allowed the groups POL and HIIT to
294 experience changes in LOX-1 expression and thus a decrease in serum LOX-1 concentration.

295 In addition to the above-described mechanism of decreased LOX-1 concentration, an
296 alternative or concurrent mechanism can also be identified. Performing HIIT training affects the
297 increases sirtuin 1 (SIRT1) activity and SIRT1 concentrations in human skeletal muscle (Gurd et al.,
298 2010; Little et al., 2010). It is believed that SIRT1 influences adaptation in skeletal muscle aerobic
299 potential (Gerhart-Hines et al., 2007) and may affect the regulation of LOX-1 activity (Hung et al.,
300 2015). Chan et al. (2018) showed that an increase in SIRT1 activity in training can inhibit LOX-1
301 expression among homocysteine-treated mice. Therefore, it is possible that the training programs
302 used in groups POL and HIIT, which included HIIT training, may have been effective in reducing
303 serum LOX-1 concentrations and in developing $VO_2\text{max}$ and P_{max} by affecting SIRT1 activity. In
304 addition to changes in SIRT1 activity and concentrations, training programs containing HIIT efforts
305 can decrease the activity of C-reactive protein and interleukins (Rhibi et al., 2022). C-reactive protein
306 (Zhao et al., 2011) and interleukin-18 (Mitsuoka et al., 2009) affect the increased release of LOX-1
307 from macrophages into the blood (Zhao et al., 2011). Therefore, the POL training program and HIIT
308 training program may have influenced the reduction of serum LOX-1 concentrations through possible
309 effects on lower pro-inflammatory protein activity.

310 **Limitations**

311 Baseline $VO_2\text{max}$ value is considered as factor that may influence the development of $VO_2\text{max}$ as a
312 result of the applied training program (Astorino et al., 2012). In the presented study, baseline
313 $VO_2\text{max}$ was not statistically significantly different between the groups. However, the mean $VO_2\text{max}$

314 in the POL group was approximately $5 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ lower than the mean VO_2max in the LIT group.
315 This could have influenced the differences in the adaptive response of the participants to the applied
316 training programs. However, in the presented study it was difficult to achieve the same baseline
317 VO_2max level in the study groups. This is due to the fact that people who acquired Covid-19
318 antibodies were excluded during the experiment.

319 **5 Conclusions**

320 A POL training program and HIIT training program were effective in developing aerobic fitness in
321 physically active people, simultaneously affecting the decrease in serum LOX-1 concentrations.
322

323 **Data Availability Statement**

324 The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

325 **Ethics Statement**

326 The studies involving human participants were reviewed and approved by the Senate Research Ethics
327 Committee at Wroclaw University of Health and Sport Sciences. The participants provided their
328 written informed consent to participate in this study.

329 **Conflict of Interest**

330 The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial
331 relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

332 **Author Contributions**

333 Conceptualization, R.H. and J.B.; methodology, R.H. and P.H.; software, R.H.; validation, C.C., P.H.
334 and A.J.; formal analysis, R.H., C.C. and A.J.; investigation, C.C.; A.J. and J.B.; resources, R.H. and
335 P.H.; data curation, R.H., J.B. and A.J.; writing—original draft preparation, P.H. and C.C.; writing—
336 review and editing, R.H., A.J. and J.B.; visualization, P.H.; supervision, C.C.; project administration,
337 C.C., P.H. and J.B.; funding acquisition, R.H. All authors have read and agreed to the published
338 version of the manuscript.”

339 **Funding**

340 This research was funded by Wroclaw University of Health and Sport Sciences, grant number
341 PN/BK/2020/07.

342 **Reference**

- 343 Astorino, T. A., Allen, R. P., Roberson, D. W., and Jurancich, M. (2012). Effect of high-intensity
344 interval training on cardiovascular function, VO_2max , and muscular force. *J. Strength Cond. Res.*
345 26(1), 138-145.
- 346 Astorino, T. A., deRevere, J., Anderson, T., Kellogg, E., Holstrom, P., Ring, S., et al. (2018). Change
347 in VO_2max and time trial performance in response to high-intensity interval training prescribed
348 using ventilatory threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.* 118(9), 1811-1820. doi: 10.1007/s00421-018-
349 3910-3

- 350 Bailey, S. J., Wilkerson, D. P., Dimenna, F. J., and Jones, A. M. (2009). Influence of repeated sprint
351 training on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. *J. Appl. Physiol.*
352 106(6), 1875-1887. doi: 10.1152/jappphysiol.00144.2009
- 353 Barreto, J., Karathanasis, S. K., Remaley, A., and Sposito, A. C. (2021). Role of LOX-1 (lectin-like
354 oxidized low-density lipoprotein receptor 1) as a cardiovascular risk predictor: mechanistic
355 insight and potential clinical use. *Arterioscler Thromb. Vasc. Biol.* 41(1), 153-166. doi:
356 10.1161/ATVBAHA.120.315421
- 357 Beaver, W. L., Wasserman, K., and Whipp, B. J. (1986). A new method for detecting anaerobic
358 threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.* 60(6), 2020-2027. doi: 10.1152/jappl.1986.60.6.2020
- 359 Burgomaster, K. A., Heigenhauser, G. J., and Gibala, M. J. (2006). Effect of short-term sprint
360 interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-
361 trial performance. *J. Appl. Physiol.* 100(6), 2041-2047. doi: 10.1152/jappphysiol.01220.2005
- 362 Chan, S. H., Hung, C. H., Shih, J. Y., Chu, P. M., Cheng, Y. H., Lin, H.C., et al. (2018). Exercise
363 intervention attenuates hyperhomocysteinemia-induced aortic endothelial oxidative injury by
364 regulating SIRT1 through mitigating NADPH oxidase/LOX-1 signaling. *Redox. Biol.* 14, 116-
365 125. doi: 10.1016/j.redox.2017.08.016
- 366 Davis, J. A., Whipp, B. J., and Wasserman, K. (1980). The relation of ventilation to metabolic rate
367 during moderate exercise in man. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 44, 97-108. doi:
368 10.1007/BF00421087
- 369 de Oliveira-Nunes, S. G., Castro, A., Sardeli, A. V., Cavaglieri, C. R., and Chacon-Mikahil, M. P. T.
370 (2021). HIIT vs. SIT: What is the better to improve VO₂max? A systematic review and meta-
371 analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18(24), 13120. doi: 10.3390/ijerph182413120
- 372 Després, J. P., and Lamarche, B. (1994). Low-intensity endurance exercise training, plasma
373 lipoproteins and the risk of coronary heart disease. *J. Intern. Med.* 236(1), 7-22. doi:
374 10.1111/j.1365-2796.1994.tb01114.x
- 375 Esfarjani, F., and Laursen, P. B. (2007). Manipulating high-intensity interval training: effects on
376 VO₂max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *J.*
377 *Sci. Med. Sport* 10(1), 27-35. doi: 10.1016/j.jsams.2006.05.014
- 378 Gerhart-Hines, Z., Rodgers, J. T., Bare, O., Lerin, C., Kim, S. H., Mostoslavsky, R., et al. (2007).
379 Metabolic control of muscle mitochondrial function and fatty acid oxidation through
380 SIRT1/PGC-1alpha. *EMBO J.* 26(7), 1913-1923. doi: 10.1038/sj.emboj.7601633
- 381 Gist, N. H., Fedewa, M. V., Dishman, R. K., and Cureton, K. J. (2014). Sprint interval training
382 effects on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 44(2), 269-279.
383 doi: 10.1007/s40279-013-0115-0
- 384 Gurd, B. J., Perry, C. G., Heigenhauser, G. J., Spriet, L. L., and Bonen. A. (2010). High-intensity
385 interval training increases SIRT1 activity in human skeletal muscle. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*
386 35(3), 350-357. doi: 10.1139/H10-030
- 387 Hebisz, P., Hebisz, R., and Drelak, M. (2021). Comparison of aerobic capacity changes as a result of
388 a polarized or block training program among trained mountain bike cyclists. *Int. J. Environ. Res.*
389 *Public Health* 18(16), 8865. doi: 10.3390/ijerph18168865
- 390 Hebisz, P., Hebisz, R., Zatoń, M., Ochmann, B., and Mielnik, N. (2016). Concomitant application of
391 sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-
392 trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 116(8), 1495-1502. doi: 10.1007/s00421-016-3405-z
- 393 Hebisz, P., Jastrzębska, A. D., and Hebisz, R. (2021a). Real assessment of maximum oxygen uptake
394 as a verification after an incremental test versus without a test. *Front. Physiol.* 12, 739745. doi:
395 10.3389/fphys.2021.739745
- 396 Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., et al. (2007). Aerobic high-
397 intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39(4),
398 665-671. doi: 10.1249/mss.0b013e3180304570

- 399 Høydal, K. L. (2017). Effects of exercise intensity on VO₂max in studies comparing two or more
400 exercise intensities: a meta-analysis. *Sport Sci. Health.* 13, 239–252. doi: 10.1007/s11332-017-
401 0367-4
- 402 Hung, C. H., Chan, S. H., Chu, P. M., and Tsai, K. L. (2015). Homocysteine facilitates LOX-1
403 activation and endothelial death through the PKCβ and SIRT1/HSF1 mechanism: relevance to
404 human hyperhomocysteinaemia. *Clin. Sci.* 129(6), 477-487. doi: 10.1042/CS20150127
- 405 Jones, S., Tillin, T., Williams, S., Coady, E., Chaturvedi, N., and Hughes, A. D. (2017). Assessment
406 of exercise capacity and oxygen consumption using a 6 min stepper test in older adults. *Front.*
407 *Physiol.* 8, 408. doi: 10.3389/fphys.2017.00408
- 408 Kodama, S., Saito, K., Tanaka, S., Maki, M., Yachi, Y., Asumi, M., et al. (2009). Cardiorespiratory
409 fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men
410 and women: a meta-analysis. *JAMA* 301(19), 2024-2035.
- 411 Leopold, J. A., and Loscalzo, J. (2008). Oxidative mechanisms and atherothrombotic cardiovascular
412 disease. *Drug Discov. Today Ther Strateg.* 5(1), 5-13. doi: 10.1016/j.ddstr.2008.02.001
- 413 Li, W., Park, H., Guo, E., Jo, W., Sim, K. M., and Lee, S. K. (2020). Aerobic exercise training
414 inhibits neointimal formation via reduction of PCSK9 and LOX-1 in atherosclerosis.
415 *Biomedicines* 8(4), 92. doi: 10.3390/biomedicines8040092
- 416 Litleskare, S., Enoksen, E., Sandvei, M., Støen, L., Stensrud, T., Johansen, E., et al. (2020). Sprint
417 interval running and continuous running produce training specific adaptations, despite a similar
418 improvement of aerobic endurance capacity - a randomized trial of healthy adults. *Int. J. Environ.*
419 *Res. Public Health* 17(11), 3865. doi: 10.3390/ijerph17113865
- 420 Little, J. P., Safdar, A., Wilkin, G. P., Tarnopolsky, M. A., and Gibala, M. J. (2010). A practical
421 model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human
422 skeletal muscle: potential mechanisms. *J. Physiol.* 588(6), 1011-1022. doi:
423 10.1113/jphysiol.2009.181743
- 424 Lloyd Jones, M. C., Morris, M. G., and Jakeman, J. R. (2017). Impact of time and work:rest ratio
425 matched sprint interval training programmes on performance: A randomised controlled trial. *J.*
426 *Sci. Med. Sport* 20(11), 1034-1038. doi: 10.1016/j.jsams.2017.03.020
- 427 Macpherson, R. E., Hazell, T. J., Olver, T. D., Paterson, D. H., and Lemon, P. W. (2011). Run sprint
428 interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Med. Sci. Sports*
429 *Exerc.* 43(1), 115-122. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181e5eacd
- 430 McKay, B. R., Paterson, D. H., and Kowalchuk, J. M. (2009). Effect of short-term high-intensity
431 interval training vs. continuous training on O₂ uptake kinetics, muscle deoxygenation, and
432 exercise performance. *J. Appl. Physiol.* 107(1), 128-138. doi: 10.1152/jappphysiol.90828.2008
- 433 Mentrup, T., Cabrera-Cabrera, F., and Schröder, B. (2021). Proteolytic regulation of the lectin-like
434 oxidized lipoprotein receptor LOX-1. *Front. Cardiovasc. Med.* 7, 594441. doi:
435 10.3389/fcvm.2020.594441
- 436 Meyer, T., Auracher, M., Heeg, K., Urhausen, A., and Kindermann, W. (2007). Effectiveness of low-
437 intensity endurance training. *Int. J. Sports Med.* 28(1), 33-39. doi: 10.1055/s-2006-924037
- 438 Mitsuoka, H., Kume, N., Hayashida, K., Inui-Hayashiada, A., Aramaki, Y., Toyohara, M., et al.
439 (2009). Interleukin 18 stimulates release of soluble lectin-like oxidized LDL receptor-1 (sLOX-
440 1). *Atherosclerosis* 202(1), 176-182. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2008.04.002
- 441 Neal, C. M., Hunter, A. M., Brennan, L., O'Sullivan, A., Hamilton, D. L., De Vito, G., et al. (2013).
442 Six weeks of a polarized training-intensity distribution leads to greater physiological and
443 performance adaptations than a threshold model in trained cyclists. *J. Appl. Physiol.* 114(4), 461-
444 471. doi: 10.1152/jappphysiol.00652.2012
- 445 Park, J. H., Park, H., Lim, S. T., and Park, J. K. (2015). Effects of a 12-week healthy-life exercise
446 program on oxidized low-density lipoprotein cholesterol and carotid intima-media thickness in
447 obese elderly women. *J. Phys. Ther. Sci.* 27(5), 1435-1439. doi: 10.1589/jpts.27.1435

448 Poznyak, A. V., Nikiforov, N. G., Markin, A. M., Kashirskikh, D. A., Myasoedova, V. A.,
449 Gerasimova, E. V., et al. (2021). Overview of ox-LDL and its impact on cardiovascular health:
450 Focus on atherosclerosis. *Front. Pharmacol.* 11, 613780. doi: 10.3389/fphar.2020.613780
451 Rhibi, F., Zouhal, H., Lira, F. S., Ouerghi, N., Prioux, J., Besbes, S., et al. (2022). Inflammatory
452 cytokines and metabolic responses to high-intensity intermittent training: effect of the exercise
453 intensity. *Biol. Sport* 39(2), 263-272. doi: 10.5114/biolsport.2022.104914
454 Riahi, S., Mohammadi, M. T., Sobhani, V., and Soleimany, M. (2015). Chronic effects of aerobic
455 exercise on gene expression of LOX-1 receptor in the heart of rats fed with high fat diet. *Iran J.*
456 *Basic Med. Sci.* 18(8), 805-12.
457 Rosenblat, M. A., Perrotta, A. S., and Thomas, S. G. (2020). Effect of high-intensity interval training
458 versus sprint interval training on time-trial performance: A systematic review and meta-analysis.
459 *Sports Med.* 50(6), 1145-1161. doi: 10.1007/s40279-020-01264-1
460 Rosenblat, M. A., Perrotta, A. S., and Vicenzino, B. (2019). Polarized vs. threshold training intensity
461 distribution on endurance sport performance: A systematic review and meta-analysis of
462 randomized controlled trials. *J. Strength Cond. Res.* 33(12), 3491-3500. doi:
463 10.1519/JSC.0000000000002618
464 Sökmen, B., Witchev, R. L., Adams, G. M., and Beam, W. C. (2018). Effects of sprint interval
465 training with active recovery vs. endurance training on aerobic and anaerobic power, muscular
466 strength, and sprint ability. *J. Strength Cond. Res.* 32(3), 624-631. doi:
467 10.1519/JSC.0000000000002215
468 Stöggl, T., and Sperlich, B. (2014). Polarized training has greater impact on key endurance variables
469 than threshold, high intensity, or high volume training. *Front. Physiol.* 5, 33. doi:
470 10.3389/fphys.2014.00033
471 Thijssen, D. H., Dawson, E. A., Black, M. A., Hopman, M. T., Cable, N. T., and Green, D. J. (2009).
472 Brachial artery blood flow responses to different modalities of lower limb exercise. *Med. Sci.*
473 *Sports Exerc.* 41(5), 1072-1079. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181923957
474 Tiainen, S., Kiviniemi, A., Hautala, A., Huikuri, H., Ukkola, O., Tokola, K., et al. (2018). Effects of
475 a two-year home-based exercise training program on oxidized LDL and HDL lipids in coronary
476 artery disease patients with and without type-2 diabetes. *Antioxidants* 7(10), 144. doi:
477 10.3390/antiox7100144
478 Vollaard, N. B. J., Metcalfe, R. S., and Williams, S. (2017). Effect of number of sprints in an SIT
479 session on change in VO₂max: A meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 49(6), 1147-1156.
480 Wilhelm, E. N., González-Alonso, J., Parris, C., and Rakobowchuk, M. (2016). Exercise intensity
481 modulates the appearance of circulating microvesicles with proangiogenic potential upon
482 endothelial cells. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 311(5), 1297-1310. doi:
483 10.1152/ajpheart.00516.2016
484 Yang, J., Cao, R. Y., Gao, R., Mi, Q., Dai, Q., and Zhu, F. (2017). Physical exercise is a potential
485 "medicine" for atherosclerosis. *Adv. Exp. Med. Biol.* 999, 269-286. doi: 10.1007/978-981-10-
486 4307-9_15
487 Yol, Y., Turgay, F., Yigittürk, O., Aşıkova, S., and Durmaz, B. (2020). The effects of regular
488 aerobic exercise training on blood nitric oxide levels and oxidized LDL and the role of eNOS
489 intron 4a/b polymorphism. *Biochim. Biophys. Acta Mol. Basis Dis.* 1866(12), 165913. doi:
490 10.1016/j.bbadis.2020.165913
491 Zelt, J. G., Hankinson, P. B., Foster, W. S., Williams, C. B., Reynolds, J., Garneys, E., et al. (2014).
492 Reducing the volume of sprint interval training does not diminish maximal and submaximal
493 performance gains in healthy men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 114(11), 2427-2436. doi:
494 10.1007/s00421-014-2960-4

495 Zhao, X. Q., Zhang, M. W., Wang, F., Zhao, Y. X., Li, J. J., Wang, X. P., et al. (2011). CRP
496 enhances soluble LOX-1 release from macrophages by activating TNF- α converting enzyme. *J.*
497 *Lipid. Res.* 52(5), 923-933. doi: 10.1194/jlr.M015156
498 Zhao, Z. W., Xu, Y. W., Li, S. M., Guo, J. J., Sun, J. M., Hong, J. C., et al. (2019). Baseline serum
499 sLOX-1 concentrations are associated with 2-year major adverse cardiovascular and
500 cerebrovascular events in patients after percutaneous coronary intervention. *Dis. Markers.* 2019,
501 4925767. doi: 10.1155/2019/4925767
502

In review

503 **Table 1.** Anthropometric and physiological characteristics of groups.

	Age [years]	Body Height [cm]	Body Mass [kg]	VO₂max [ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹]	Pmax [W]
Group POL	22.7 ± 2.1	174.2 ± 7.2	73.1 ± 12.8	45.7 ± 7.7	282.4 ± 61.9
Group SIT	22.8 ± 2.8	177.7 ± 8.9	78.2 ± 15.7	47.7 ± 9.2	296.0 ± 49.8
Group HIIT	23.0 ± 2.6	176.4 ± 7.1	68.7 ± 10.0	48.7 ± 10.7	274.1 ± 70.8
Group LIT	21.0 ± 2.1	178.0 ± 9.8	72.5 ± 13.5	50.6 ± 7.9	279.4 ± 44.5

VO₂max – maximal oxygen uptake, Pmax – maximal power output during the incremental test, POL – polarized training group, SIT – sprint interval training group, HIIT – high intensity interval training group, LIT – low intensity training group, data are presented as mean ± standard deviation.

504

In review

505 **Table 2.** Physiological parameters measured before and after the experiment.

	Before Experiment		After Experiment		Before Experiment		After Experiment	
	95%CI		95%CI		95%CI		95%CI	
	mean ±SD	Lower Upper	mean ±SD	Lower Upper	mean ±SD	Lower Upper	mean ±SD	Lower Upper
	Group POL				Group SIT			
VO ₂ max [ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹]	45.65 ±7.74	40.12 51.20	52.13 ±6.84*	47.23 57.02	47.68 ±9.16	41.13 54.23	49.79 ±8.58	43.66 55.93
VO ₂ max [l·min ⁻¹]	3.33 ±0.75	2.80 3.87	3.76 ±0.81*	3.18 4.33	3.65 ±0.61	3.21 4.09	3.86 ±0.57	3.45 4.27
Pmax [W]	282.4 ±61.9	238.1 326.7	313.8 ±60.8*	270.3 357.3	296.0 ±49.8	260.3 331.7	302.9 ±47.8	268.7 337.1
VEmax [l·min ⁻¹]	131.8 ±34.2	107.3 156.3	151.7 ±34.1	127.3 176.1	145.2 ±25.3	127.1 163.3	151.5 ±28.2	131.3 171.8
RERmax	1.14 ±0.07	1.09 1.19	1.09 ±0.02	1.08 1.11	1.13 ±0.04	1.10 1.16	1.10 ±0.04	1.08 1.13
HRmax [bpm]	183.1 ±15.4	172.1 194.1	186.8 ±11.3	178.7 194.9	186.3 ±11.3	178.2 194.4	187.2 ±10.4	179.8 194.6
	Group HIIT				Group LIT			
VO ₂ max [ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹]	48.72 ±10.66	41.10 56.35	53.34 ±10.29*	45.98 60.69	50.59 ±7.85	44.98 56.21	49.00 ±6.97	44.01 53.99
VO ₂ max [l·min ⁻¹]	3.35 ±0.84	2.75 3.96	3.68 ±0.79	3.11 4.24	3.62 ±0.56	3.23 4.02	3.53 ±0.53	3.15 3.91
Pmax [W]	274.1 ±70.8	223.4 324.8	302.0 ±70.1*	251.8 352.2	279.4 ±44.5	247.6 311.2	282.0 ±46.7	248.6 315.4
VEmax [l·min ⁻¹]	129.0 ±39.6	100.7 157.3	138.3 ±32.3	115.2 161.4	131.1 ±28.9	110.4 151.8	137.5 ±22.4	121.4 153.5
RERmax	1.12 ±0.03	1.10 1.15	1.11 ±0.03	1.08 1.13	1.11 ±0.07	1.06 1.16	1.12 ±0.07	1.07 1.16
HRmax [bpm]	188.7 ±9.1	182.2 195.2	192.2 ±7.6	186.8 197.6	192.6 ±9.3	185.9 199.3	191.3 ±9.1	184.8 197.8

POL – polarized training group, SIT – sprint interval training group, HIIT – high intensity interval training group, LIT – low intensity training group, VO₂max – maximal oxygen uptake, Pmax – maximal aerobic power during the incremental test; VE_{max} – maximal pulmonary ventilation; RER_{max} – maximal exercise respiratory rate value; HR_{max} – maximal heart rate; mean – arithmetic mean value; SD – standard deviation value; CI – lower and upper confidence intervals; * - p<0.05 - significant difference between before and after experiment values.

507 **Table 3.** LOX-1 and ox-LDL serum concentration before and after the experiment.

	Before Experiment		After Experiment		Before Experiment		After Experiment	
	95%CI		95%CI		95%CI		95%CI	
	mean ±SD	Lower Upper	mean ±SD	Lower Upper	mean ±SD	Lower Upper	mean ±SD	Lower Upper
	Group POL				Group SIT			
LOX-1 [pg·ml ⁻¹]	85.22 ±55.92	42.23 128.21	41.32 ±30.39*	17.96 64.69	94.47 ±62.01	50.11 138.83	107.77 ±113.20	26.79 188.75
ox-LDL [ng·ml ⁻¹]	23.28 ±40.91	-8.17 54.73	14.31 ±27.08	-6.51 35.13	139.23 ±262.64	-48.65 327.11	140.43 ±256.54	-43.09 323.95
	Group HIIT				Group LIT			
LOX-1 [pg·ml ⁻¹]	119.76 ±109.56	35.54 203.97	46.61 ±45.78*	11.42 81.80	89.51 ±46.39	56.33 122.69	104.76 ±66.83	56.95 152.57
ox-LDL [ng·ml ⁻¹]	88.29 ±191.24	-58.71 235.29	114.53 ±189.51	-31.14 260.21	16.60 ±24.89	-1.21 34.41	15.13 ±21.63	-0.34 30.60

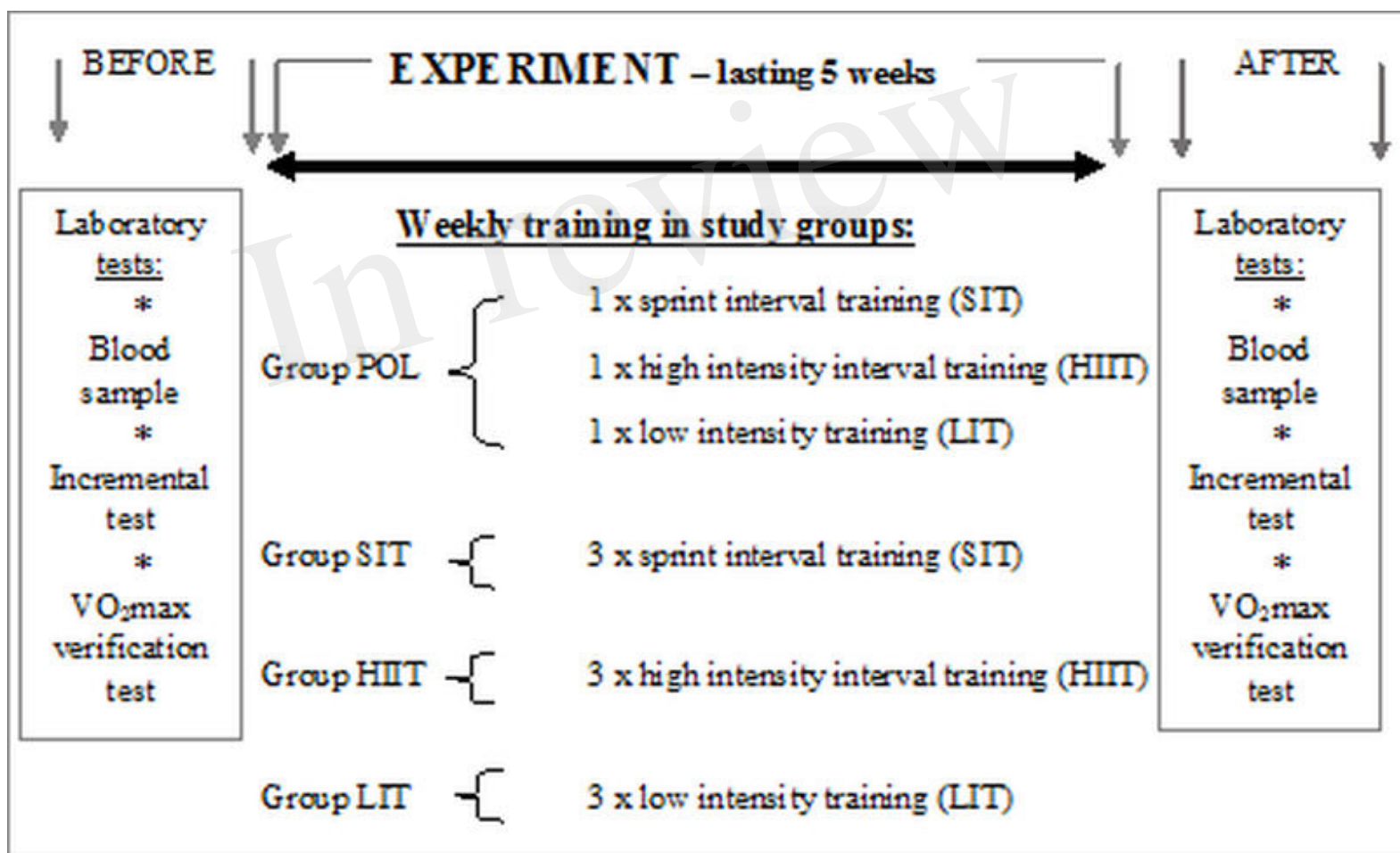
POL – polarized training group, SIT – sprint interval training group, HIIT – high intensity interval training group, LIT – low intensity training group, LOX-1 – serum concentration of lectin-like oxidized low-density lipoprotein receptor-1; ox-LDL – serum concentration oxidized low-density lipoprotein; mean – arithmetic mean value; SD – standard deviation value; CI – lower and upper confidence intervals; * - p<0.05 - significant difference between before and after experiment values.

509 **Figure captions:**

510 **Figure 1.** The course of the experiment ($\text{VO}_{2\text{max}}$ – maximal oxygen uptake).

In review

Figure 1.TIF



Potwierdzenie udziału w grantie naukowym
finansowanym przez Ministra Nauki i Szkolnictwa
Wyższego



MINISTER
NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO

Warszawa, 20 LUT. 2015

DECYZJA 0002/RS3/2015/53

Na podstawie art. 26 ust. 1 i art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 30 kwietnia 2010 r. o zasadach finansowania nauki (Dz. U. z 2014 r., poz. 1620), Komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 29 września 2011 r. o ustanowieniu programu pod nazwą „Rozwój Sportu Akademickiego” (M.P. Nr 90, poz. 944), art. 56 ust. 1 pkt 4 i ust. 2 ustawy z dnia 30 sierpnia 1996 r. o komercjalizacji i prywatyzacji (Dz. U. z 2013 r., poz. 216, z późn. zm.) oraz art. 104 ustawy z dnia 14 czerwca 1960 r. – Kodeks postępowania administracyjnego (Dz. U. z 2013 r., poz. 267, z późn. zm.) po rozpatrzeniu wniosku **nr rej. N RSA3 00253**

przyznaję

wnioskodawcy:

Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu
Wydział Wychowania Fizycznego

dotację celową w wysokości **200 000 zł** (słownie: dwieście tysięcy złotych) ogółem, w tym w 2015 r. kwotę **145 000 zł** (słownie: sto czterdzieści pięć tysięcy złotych)

na realizację projektu

pt. "Próba identyfikacji skutków glikolitycznego treningu interwałowego za pomocą parametrów fizycznych, fizjologicznych i biochemicznych"

w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pn. "Rozwój Sportu Akademickiego".

Środki finansowe przekazane będą pod warunkiem złożenia w terminie 30 dni od dnia otrzymania decyzji podpisanego projektu umowy, określającej szczegółowe warunki realizacji, finansowania i rozliczenia projektu. Niezłożenie projektu umowy w wymaganym terminie uważa się za rezygnację z przyznanego finansowania.

Uzasadnienie:

W wyniku oceny projektu dokonanej przez Zespół specjalistyczny do spraw projektów zgłoszonych do programu pn. „Rozwój Sportu Akademickiego” stwierdzono, że proponowane nakłady ogółem na realizację zaplanowanych prac są nieadekwatne do zakresu zadań badawczych przedstawionych w harmonogramie realizacji projektu oraz przyjętej metodyki badań.

Zgodnie z opinią Zespołu specjalistycznego prace objęte projektem mogą zostać wykonane przy

Szanowni Państwo,

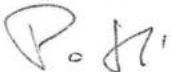
Poniżej zamieszczam informacje, mogące ułatwić prawidłowe wypełnienie umowy:

- Numer umowy jest taki sam, jak numer decyzji.
- W kosztorysie umowy należy uwzględnić kwoty określone w decyzji.
- Załącznikiem nr 1 do umowy jest opis projektu będący częścią wniosku, złożonego już w Ministerstwie - opisu projektu nie dołącza się już ponownie do umowy.
- Na załącznikach należy wpisać numer umowy.
- Wraz z umową należy przesłać do Ministerstwa harmonogram płatności zgodnie z § 2 ust. 4 umowy, który nie jest załącznikiem do umowy. Harmonogram należy sporządzić na rok 2015, podać miesiąc wypłaty transzy i kwotę do wypłaty oraz opatrzyć:
 - pieczęcią jednostki,
 - pieczęcią i podpisem kwestora lub gł. księgowego jednostki realizującej projekt,
 - podpisem kierownika projektu.
- Uprzejmie zwracam uwagę na różnicę w zapisie czasu trwania zadania w harmonogramie wykonania projektu we wniosku i umowie.
Kolumna nr 4 w harmonogramie wykonania projektu we wniosku (planowany czas trwania -miesiące) ma zapis jednoliczbowy (np. 4, 12 lub 24 itp.).
W harmonogramie wykonania projektu w umowie, kolumna nr 3 (termin rozpoczęcia i termin zakończenia realizacji zadania - liczba miesięcy od dnia podpisania umowy), należy wpisać termin rozpoczęcia i termin zakończenia realizacji zadania (w liczbie miesięcy od dnia podpisania umowy). Przykładowo, jeżeli zadanie pierwsze jest zaplanowane na 6 mies., należy wpisać: 1 – 6. W przypadku zadania ostatniego, jeżeli jest planowane również na 6 mies., należy wpisać: 30 – 36.
Co najmniej jedno z zadań w harmonogramie (niekoniecznie pierwsze) musi rozpoczynać się w pierwszym miesiącu umowy, co najmniej jedno – kończyć w ostatnim miesiącu trwania umowy.
- Harmonogram projektu obejmuje tylko zadania badawcze, dlatego uprzejmie proszę o usunięcie zadania zakup aparatury – przewidziana kwota powinna być uwzględniona w ramach zadań badawczych (np. pierwszego)
- Treść zadań badawczych w harmonogramie wniosku i umowy nie może się różnić, kwoty mogą ulec modyfikacji.

Trzy egzemplarze umowy powinny być dostarczone do Ministerstwa w terminie 30 dni od daty otrzymania decyzji.

W razie wątpliwości proszę o kontakt na podany niżej numer telefonu,

Z poważaniem



Piotr Potkowski
Główny specjalista
Samodzielne Stanowisko ds. Programów Ministra
Departament Nauki
Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego
ul. Hoża 20
00-529 Warszawa
tel. 22 50 17 107
e-mail: Piotr.Potkowski@nauka.gov.pl

Warszawa, 17.02.2015 r.

Wniosek o finansowanie projektu w ramach programu "Rozwój Sportu Akademickiego"

A. JEDNOSTKA NAUKOWA	
Nazwa jednostki naukowej (poziom 1)	Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu
Adres	al. I. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, dolnośląskie
Telefon	(71) 347-32-00 (centrala); (71) 347-31-01 (Sekretariat Rektora)
Faks	(71) 348-25-27(Sekretariat Rektora)
E-mail	kanclerz@awf.wroc.pl; kwestor@awf.wroc.pl; rektor@awf.wroc.pl
WWW	www.awf.wroc.pl
NIP	8960007519
REGON	000327860
Nazwa jednostki naukowej (poziom 2)	Wydział Wychowania Fizycznego
Adres	al. I.J. Paderewskiego 35 , 51-612 Wrocław, dolnośląskie
Telefon	(71) 347-34-80, (71) 347-34-71
Faks	"
E-mail	dziekanat.wf@awf.wroc.pl
WWW	"
NIP	8960007519
REGON	000327860
Kierownik jednostki (uprawniony do podpisywania wniosków i umów)	
Imię, nazwisko oraz stanowisko	prof. dr hab. Juliusz Migasiewicz, rektor
Telefon	71 348 25 27
E-mail	rektor@awf.wroc.pl

B. INFORMACJE OGÓLNE	
Kierownik projektu	prof. dr hab. Marek Marek Zatoń
Tytuł projektu	Próba identyfikacji skutków glikolitycznego treningu interwałowego za pomocą parametrów fizycznych, fizjologicznych i biochemicznych
Planowany okres realizacji projektu (w miesiącach)	36
Liczba wykonawców projektu	4
w tym pracowników naukowych i doktorantów	4
Słowa kluczowe (max.5)	trening interwałowy, metabolizm glikolityczny, równowaga kwasowo-zasadowa
Planowane nakłady w zł: ogółem	263 920
w tym na pierwszy rok realizacji projektu (2014)	0
Streszczenie projektu.	
<p>Próba identyfikacji skutków glikolitycznego treningu interwałowego za pomocą parametrów fizycznych, fizjologicznych i biochemicznych.</p> <p>W dostępnym piśmiennictwie dostępne jest wiele informacji dotyczących zmian wydolności w efekcie stosowania interwałowych treningów glikolitycznych. Nie ma jednak danych dotyczących kontroli obciążenia treningowego, szczególnie związanej z identyfikacją zmian zmęczenia. Celem tego projektu jest poszukiwanie parametrów fizjologicznych, fizycznych i biochemicznych oraz kierunków zmian, które wskazywałyby na rozwój procesów zmęczenia podczas jednostki treningowej. W badaniach weźmie udział 28-mio osobowa grupa kolarzy górskich, podzielona na 3 podgrupy: początkujący (PP) o przeciętnej wydolności (n=12), początkujący (PW) o wysokiej wydolności (n=8) i zaawansowani (Z) (n=8). Grupę PP będą tworzyli studenci Akademii Wychowania Fizycznego i członkowie akademickiej sekcji kolarstwa górskiego, PW członkowie kadry narodowej kolarzy górskich, Z zawodnicy mający przynajmniej roczne doświadczenie w wykonywaniu treningów glikolitycznych. Wykonawcy projektu spodziewają się, że zmęczenie w wysiłkach maksymalnych będzie się objawiało spowolnieniem metabolizmu glikolitycznego, czego przejawem może być mniejsze zaburzenie równowagi kwasowo-zasadowej, spadek mocy mięśniowej, redukcja emisji termicznej, wentylacji płuc, wydalania dwutlenku węgla i poboru tlenu. Ponadto zamierzają ustalić różnice co do kierunku i dynamiki zmian pomiędzy zawodnikami na różnym poziomie sportowym i zaawansowania w wykonywaniu interwałowego treningu glikolitycznego.</p>	

C. ANKIETA DOROBKU NAUKOWEGO KIEROWNIKA PROJEKTU /GŁÓWNYCH WYKONAWCÓW

Imię i nazwisko	prof. dr hab. Marek Wojciech Zatoń
Planowany charakter udziału w realizacji projektu	Kierownik projektu
Dane kontaktowe	Telefon: 0048 71 347 33 59 E_mail: katedra.fb@awf.wroc.pl
Adres do korespondencji:	
Ulica	Paderewskiego 35
Kod pocztowy	51-612
Miejscowość	Wrocław
Poczta	"

Miejsca zatrudnienia i zajmowane stanowiska

Akademia Wychowania Fizycznego - kierownik Katedry Fizjologii i Biochemii

Przebieg pracy naukowej: nazwa uczelni, instytutu lub innej jednostki organizacyjnej, specjalność, data uzyskania tytułu zawodowego, stopnia naukowego lub tytułu naukowego:

- a) magistra,
- b) doktora,
- c) doktora habilitowanego,
- d) profesora.

Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Fizjologii i Biochemii

Data uzyskania tytułu zawodowego magistra - 1969r

Data uzyskania stopnia naukowego doktora - 1976r

Data uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego - 1990r

Data uzyskania tytułu profesora - 2001r

Informacje o pracach opublikowanych w okresie ostatnich 4 lat przed zgłoszeniem wniosku (maksimum 10 pozycji, podać miejsce i datę publikacji, opracowane nowe technologie, najważniejsze osiągnięcia poznawcze i zastosowania praktyczne)

1. Łukasz Smołka, Jacek Borkowski, Marek Zatoń. The effect of additional dead space on respiratory exchange ratio and carbon dioxide production due to training. *Journal of Sports Science and Medicine*: 2014; vol.13; nr 1; s.36-43.
2. Paulina Hebisz, Rafał Hebisz, Marek Zatoń. Changes in breathing pattern and cycling efficiency as a result of training with added respiratory dead space volume. *Human Movement*: 2013; vol.14; nr 3; s.247-253.
3. Marek Zatoń, Dariusz Dąbrowski. Differences in the direction of effort adaptation between mountain bikers and road cyclists. *Human Movement*: 2013; vol.14; nr 2; s.154-160
4. Marek Zatoń, Adam Stepień. An assessment on the aerobic and anaerobic capacities of a tennis player. *Human Movement*: 2011; vol.12; nr 2; s.139-146
5. Marek Zatoń, Łukasz Smołka. Circulatory and respiratory response to exercise with added respiratory dead space. *Human Movement*: 2011; vol. 12; nr 1; s.88-94
6. Paweł Chmura, Marek Zatoń. Zmiany maksymalnej mocy fosfagenowej i wybranych cech fizjologicznych podczas powtarzanych wysiłków u młodych piłkarzy nożnych. *Antropomotoryka*: 2011; nr 54; s.51-57;
7. Testy fizjologiczne w ocenie wydolności fizycznej / red. nauk. Marek Zatoń, Agnieszka Jastrzębska
Adres wydawniczy: Warszawa : Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010
8. Marek Zatoń, Rafał Hebisz, Paulina Hebisz. The effect of training with additional respiratory dead space on haematological elements of blood. *Isokinetics and Exercise Science*: 2010; vol.18; nr 3; s.137-143
9. Marek Zatoń, Zbigniew Ziebura. The significance of training with additional respiratory dead space in development of physical capacity in swimming. *Science in swimming*. Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2012 s.125-148

Wykonane w okresie ostatnich 4 lat przed zgłoszeniem wniosku i aktualnie realizowane projekty badawcze, w tym finansowane ze środków finansowych na naukę - numery projektów, miejsce realizacji oraz charakter udziału przy realizacji projektu

brak

Doświadczenia naukowe zdobyte w Polsce i za granicą (państwo, instytucja, rodzaj pobytu, okres pobytu, jednostka delegująca)

1. Polska, Instytut Sportu (1984) - 6miesiące, opiekun prof. dr hab. Irena Wojcieszak
2. Kanada, MacMaster University w Hamilton (1987) - 6miesiące, opiekun - prof. Bar-Or
3. Republika Czeska, Uniwersytet Karola w Pradze (1989) - 2miesiące, opiekun prof. Seliger
4. Ukraina, Wyższa Szkoła Sportu w Kijowie (1992), opiekun prof. Wołkow

Najważniejsze międzynarodowe i polskie wyróżnienia wynikające z prowadzenia badań naukowych lub prac rozwojowych (rodzaj wyróżnienia, miejsce i data)

Nagrody Ministra za wyróżniające prace w sporcie w latach 1970-1990. Współpraca z Kadrami Narodowymi kolarzy, kajakarzy, bokserów.

Oświadczenie kierownika projektu / głównych wykonawców

Zapoznałem/am się z opisem projektu badawczego pt.:

Próba identyfikacji skutków glikolitycznego treningu interwałowego za pomocą parametrów fizycznych, fizjologicznych i biochemicznych

W przypadku zakwalifikowania projektu do realizacji zgadzam się uczestniczyć w wykonaniu projektu na warunkach określonych przez jednostkę naukową. Oświadczam, że zadania badawcze, które planuję wykonać, objęte niniejszym wnioskiem, nie są finansowane i nie planuje się ich finansowania z innego źródła oraz, według mojej wiedzy, zadania badawcze nie naruszają praw osób trzecich. Wyrażam zgodę na zamieszczenie moich danych osobowych zawartych we wniosku w zbiorze danych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz na przetwarzanie tych danych zgodnie z przepisami ustawy z dnia 29 sierpnia 1997 r. o ochronie danych osobowych (Dz. U. z 2002 r. Nr 101, poz. 926, z późn. zm.).

.....
(miejsowość i data) (podpis osoby, której dotyczy ankieta)

C. ANKIETA DOROBKU NAUKOWEGO KIEROWNIKA PROJEKTU /GŁÓWNYCH WYKONAWCÓW

Imię i nazwisko	dr Rafał Grzegorz Hebisz
Planowany charakter udziału w realizacji projektu	Główny wykonawca
Dane kontaktowe	Telefon [REDACTED] E_mail [REDACTED]
Adres do korespondencji:	
Ulica	[REDACTED]
Kod pocztowy	[REDACTED]
Miejscowość	[REDACTED]
Poczta	"

Miejsca zatrudnienia i zajmowane stanowiska

Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, adiunkt w Katedrze Fizjologii i Biochemii

Polski Związek Kolarski, trener Kadry Narodowej kolarzy górskich

Przebieg pracy naukowej: nazwa uczelni, instytutu lub innej jednostki organizacyjnej, specjalność, data uzyskania tytułu zawodowego, stopnia naukowego lub tytułu naukowego:

- a) magistra,
- b) doktora,
- c) doktora habilitowanego,
- d) profesora.

Akademia Wychowania Fizycznego, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Fizjologii i Biochemii. Zatrudniony od 2011r.

Data uzyskania tytułu zawodowego magistra: 2006rok

Data uzyskania stopnia naukowego doktora: 2011rok

Informacje o pracach opublikowanych w okresie ostatnich 4 lat przed zgłoszeniem wniosku (maksimum 10 pozycji, podać miejsce i datę publikacji, opracowane nowe technologie, najważniejsze osiągnięcia poznawcze i zastosowania praktyczne)

1. Paulina Hebisz, Rafał Hebisz, Marek Zatoń. Changes in breathing pattern and cycling efficiency as a result of training with added respiratory dead space volume. Human Movement: 2013; vol.14; nr 3; s.247-253.
2. Marek Zatoń, Rafał Hebisz, Paulina Hebisz. Fizjologiczne podstawy treningu w kolarstwie górskim. Wrocław : Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2011.
3. Marek Zatoń, Paulina Hebisz, Rafał Hebisz. Zmiany fizjologiczne u kolarzy szosowych i górskich pod wpływem wieloletniego treningu. Sport Wyczynowy: 2011; R.49; nr 3; s.69-80.
4. Marek Zatoń, Rafał Hebisz, Paulina Hebisz. The effect of training with additional respiratory dead space on haematological elements of blood. Isokinetics and Exercise Science: 2010; vol.18; nr 3; s.137-143.

Wykonane w okresie ostatnich 4 lat przed zgłoszeniem wniosku i aktualnie realizowane projekty badawcze, w tym finansowane ze środków finansowych na naukę - numery projektów, miejsce realizacji oraz charakter udziału przy realizacji projektu

Identyfikacja zmęczenia, w glikolitycznym treningu interwałowym, za pomocą parametrów fizjologicznych i biochemicznych. Projekt aktualnie realizowany w ramach programu Badania Naukowe dla Młodych Naukowców w Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu. Główny wykonawca projektu w latach 2012-2014.

**Doświadczenia naukowe zdobyte w Polsce i za granicą
(państwo, instytucja, rodzaj pobytu, okres pobytu, jednostka delegująca)**

Wykorzystanie metod naukowych w kontroli treningu podczas kilku lat pracy w klubach kolarskich:

- MTB Silesia Rybnik (2008-2010)
- KTM Racing Team Złoty Stok (2011-2012)
- Sante BSA Tour (2013)

W tym czasie, jako trener, osiągnął dobre wyniki sportowe w rywalizacji krajowej:

- brązowy medal Mistrzostw Polski w Maratonie MTB 2010, Jelenia Góra, (zawodniczka Paulina Hebisz)
- srebrny medal Mistrzostw Polski w Maratonie MTB 2011, Jelenia Góra, (zawodniczka Michalina Ziółkowska)
- brązowy medal Mistrzostw Polski MTB w wyścigu drużynowym 2011, Kielce, (zawodnicy Piotr Kurczab, Michalina Ziółkowska, Maciej Bartkowski)
- srebrny medal Mistrzostw Polski MTB w wyścigu drużynowym 2012, Kielce (zawodnicy Rafał Alchimowicz, Piotr Kurczab, Mikołaj Dziewa, Paulina Hebisz)
- brązowy medal Mistrzostw Polski MTB w wyścigu indywidualnym 2012, Kielce (zawodnik Piotr Kurczab)
- złoty medal Mistrzostw Polski w Maratonie MTB 2012, Dąbrowa Górnicza (zawodnik Piotr Kurczab)
- złoty medal Mistrzostw Polski MTB w wyścigu drużynowym 2013, Żerków (zawodnicy Aleksandra Podgórska, Piotr Kurczab)
- srebrny medal Mistrzostw Polski MTB w wyścigu indywidualnym 2013, Żerków (zawodnik Piotr Kurczab)
- srebrny medal Mistrzostw Polski w Maratonie MTB 2013, Obiszów (zawodnik Piotr Kurczab)

Od 2013 roku trener Kadry Narodowej MTB, gdzie wdraża innowacyjne testy oparte o wysiłki przerywane. W tym czasie Reprezentacja Polski wywalczyła 2 indywidualne medale Mistrzostw Europy oraz medal Mistrzostw Świata.

Holandia; Konferencja naukowa European College of Sport Science; Amsterdam 2-5.07.2014r. Jednostka delegująca - Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu.

**Najważniejsze międzynarodowe i polskie wyróżnienia wynikające z prowadzenia badań naukowych lub prac rozwojowych
(rodzaj wyróżnienia, miejsce i data)**

Nagroda za najlepszą publikację w czasopiśmie Sport Wyczynowy w 2008 roku.

Oświadczenie kierownika projektu / głównych wykonawców

Zapoznałem/am się z opisem projektu badawczego pt.:

Próba identyfikacji skutków glikolitycznego treningu interwałowego za pomocą parametrów fizycznych, fizjologicznych i biochemicznych

W przypadku zakwalifikowania projektu do realizacji zgadzam się uczestniczyć w wykonaniu projektu na warunkach określonych przez jednostkę naukową. Oświadczam, że zadania badawcze, które planuję wykonać, objęte niniejszym wnioskiem, nie są finansowane i nie planuje się ich finansowania z innego źródła oraz, według mojej wiedzy, zadania badawcze nie naruszają praw osób trzecich. Wyrażam zgodę na zamieszczenie moich danych osobowych zawartych we wniosku w zbiorze danych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz na przetwarzanie tych danych zgodnie z przepisami ustawy z dnia 29 sierpnia 1997 r. o ochronie danych osobowych (Dz. U. z 2002 r. Nr 101, poz. 926, z późn. zm.).

.....
(miejsce i data) (podpis osoby, której dotyczy ankieta)

C. ANKIETA DOROBKU NAUKOWEGO KIEROWNIKA PROJEKTU /GŁÓWNYCH WYKONAWCÓW

Imię i nazwisko	dr Paulina Hebisz
Planowany charakter udziału w realizacji projektu	Główny wykonawca
Dane kontaktowe	Telefon: [REDACTED] E_mail: [REDACTED]
Adres do korespondencji:	
Ulica	[REDACTED]
Kod pocztowy	[REDACTED]
Miejscowość	[REDACTED]
Poczta	"

Miejsca zatrudnienia i zajmowane stanowiska

Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, adiunkt w zakładzie Fizjologii i Biochemii

Przebieg pracy naukowej: nazwa uczelni, instytutu lub innej jednostki organizacyjnej, specjalność, data uzyskania tytułu zawodowego, stopnia naukowego lub tytułu naukowego:

- a) magistra,
- b) doktora,
- c) doktora habilitowanego,
- d) profesora.

Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Fizjologii i Biochemii. Zatrudniona od 2011r.

Data uzyskania tytułu zawodowego magistra: 2007rok

Data uzyskania stopnia naukowego doktora: 2011rok

Informacje o pracach opublikowanych w okresie ostatnich 4 lat przed zgłoszeniem wniosku (maksimum 10 pozycji, podać miejsce i datę publikacji, opracowane nowe technologie, najważniejsze osiągnięcia poznawcze i zastosowania praktyczne)

1. Paulina Hebisz, Rafał Hebisz, Marek Zatoń. Changes in breathing pattern and cycling efficiency as a result of training with added respiratory dead space volume. Human Movement: 2013; vol.14; nr 3; s.247-253.
2. Marek Zatoń, Rafał Hebisz, Paulina Hebisz. Fizjologiczne podstawy treningu w kolarstwie górskim. Wrocław : Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2011.
3. Marek Zatoń, Paulina Hebisz, Rafał Hebisz. Zmiany fizjologiczne u kolarzy szosowych i górskich pod wpływem wieloletniego treningu. Sport Wyczynowy: 2011; R.49; nr 3; s.69-80.
4. Marek Zatoń, Rafał Hebisz, Paulina Hebisz. The effect of training with additional respiratory dead space on haematological elements of blood. Isokinetics and Exercise Science: 2010; vol.18; nr 3; s.137-143.

Wykonane w okresie ostatnich 4 lat przed zgłoszeniem wniosku i aktualnie realizowane projekty badawcze, w tym finansowane ze środków finansowych na naukę - numery projektów, miejsce realizacji oraz charakter udziału przy realizacji projektu

Rozwój i mijanie procesów adaptacyjnych w skutek treningu z powiększoną objętością oddechowej przestrzeni martwej. Projekt aktualnie realizowany w ramach programu Badania Naukowe dla Młodych Naukowców Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu. Główny wykonawca projektu w latach 2011-2014.

**Doświadczenia naukowe zdobyte w Polsce i za granicą
(państwo, instytucja, rodzaj pobytu, okres pobytu, jednostka delegująca)**

Wykorzystanie metod naukowych w kontroli treningu podczas dwóch lat pracy w klubach kolarskich:

- KTM Racing Team Złoty Stok (2013)
- Torq Superior MTB Tem (2013-2014)
- SGR Srebrna Góra (2014)

W tym czasie, jako trener, osiągnęła dobre wyniki sportowe w rywalizacji krajowej i międzynarodowej:

- brązowy medal Mistrzostw Polski w wyścigu eliminacyjnym 2013, Żerków, (zawodniczka Marcin Kawalec)
- złoty medal Mistrzostw Polski w wyścigu eliminacyjnym 2013, Żerków, (zawodnik Borys Góral)
- 15 miejsce w zawodach Pucharu Świata MTB w wyścigu eliminacyjnym 2014, Neve Mesto - Republika Czeska (zawodnik Borys Góral)
- 16 miejsce w zawodach Pucharu Świata MTB w wyścigu eliminacyjnym 2014, Albstadt - Niemcy (zawodnik Borys Góral)
- 17 miejsce w zawodach Pucharu Świata MTB w wyścigu eliminacyjnym 2014, Albstadt - Niemcy (zawodniczka Iwona Kurczab)
- 17 miejsce w Mistrzostwach Europy MTB w wyścigu eliminacyjnym 2014, St. Wendel - Niemcy (zawodnik Borys Góral)

Od 2013 roku asystentka trenera Kadry Narodowej MTB.

Holandia; Konferencja naukowa European College of Sport Science; Amsterdam 2-5.07.2014r. Jednostka delegująca - Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu.

**Najważniejsze międzynarodowe i polskie wyróżnienia wynikające z prowadzenia badań naukowych lub prac rozwojowych
(rodzaj wyróżnienia, miejsce i data)**

nagroda za najlepszą publikację w czasopiśmie Sport Wyczynowy w 2008 roku

Oświadczenie kierownika projektu / głównych wykonawców

Zapoznałem/am się z opisem projektu badawczego pt.:

Próba identyfikacji skutków glikolitycznego treningu interwałowego za pomocą parametrów fizycznych, fizjologicznych i biochemicznych

W przypadku zakwalifikowania projektu do realizacji zgadzam się uczestniczyć w wykonaniu projektu na warunkach określonych przez jednostkę naukową. Oświadczam, że zadania badawcze, które planuję wykonać, objęte niniejszym wnioskiem, nie są finansowane i nie planuje się ich finansowania z innego źródła oraz, według mojej wiedzy, zadania badawcze nie naruszają praw osób trzecich. Wyrażam zgodę na zamieszczenie moich danych osobowych zawartych we wniosku w zbiorze danych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz na przetwarzanie tych danych zgodnie z przepisami ustawy z dnia 29 sierpnia 1997 r. o ochronie danych osobowych (Dz. U. z 2002 r. Nr 101, poz. 926, z późn. zm.).

.....
(miejscowość i data) (podpis osoby, której dotyczy ankieta)

C. ANKIETA DOROBKU NAUKOWEGO KIEROWNIKA PROJEKTU /GŁÓWNYCH WYKONAWCÓW

Imię i nazwisko	dr hab. Eugenia Murawska-Ciałowicz
Planowany charakter udziału w realizacji projektu	Główny wykonawca
Dane kontaktowe	Telefon: [REDACTED] E_mail: [REDACTED]
Adres do korespondencji:	
Ulica	[REDACTED]
Kod pocztowy	[REDACTED]
Miejscowość	[REDACTED]
Poczta	"

Miejsca zatrudnienia i zajmowane stanowiska

Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, kierownik Zakładu Biochemii

Przebieg pracy naukowej: nazwa uczelni, instytutu lub innej jednostki organizacyjnej, specjalność, data uzyskania tytułu zawodowego, stopnia naukowego lub tytułu naukowego:

- a) magistra,
b) doktora,
c) doktora habilitowanego,
d) profesora.

- Katedra Biochemii Farmaceutycznej Akademii Medycznej we Wrocławiu, zatrudnienie w latach 1989 - 1993
- Katedra i Klinika Chorób Zakaźnych Wieku Dziecięcego, zatrudnienie w latach 1993 - 1997
- Katedra i Zakład Higieny Akademii Medycznej we Wrocławiu - zatrudnienie w latach 1998 - 2005
- Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu od 1997 roku,
data uzyskania stopnia naukowego doktora - 1996 rok
data uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego - 2014 rok

Informacje o pracach opublikowanych w okresie ostatnich 4 lat przed zgłoszeniem wniosku (maksimum 10 pozycji, podać miejsce i datę publikacji, opracowane nowe technologie, najważniejsze osiągnięcia poznawcze i zastosowania praktyczne)

1. Jolanta Zuwała-Jagiello, Eugenia Murawska-Ciałowicz, Monika Pazgan-Simon. Circulating advanced oxidation protein products, Nε(carboxymethyl) lysine and pro-inflammatory cytokines in patients with liver cirrhosis: correlations with clinical parameters. Oxidative stress and diseases / ed. by Volodymyr Lushchak and Dmytro V. Gospodaryov, Rijeka : In Tech, 2012
2. Eugenia Murawska-Ciałowicz, Wojciech Bal, Lidia Januszewska, Marcin Zawadzki, Joanna Rychel, Jolanta Zuwała-Jagiello. Oxidative stress level in the testes of mice and rats during nickel intoxication. The Scientific World Journal 2012.
3. Eugenia Murawska-Ciałowicz. Wpływ treningu zdrowotnego na stężenia wybranych hormonów tkanki tłuszczowej i homocysteiny u kobiet z różną masą ciała. Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2012.
4. Eugenia Murawska-Ciałowicz, Zbigniew Jethon, Jan Magdalan, Lidia Januszewska, Marzena Podhorska-Okołów, Marcin Zawadzki, Tomasz Sozański, Piotr Dziegiel. Effects of melatonin on lipid peroxidation and antioxidative enzyme activities in the liver, kidneys and brain of rats administered with benzo(a)pyrene. Experimental and Toxicologic Pathology 2011; 63 (1-2): s.97-103.
5. Eugenia Murawska-Ciałowicz. Wysilek fizyczny a stres oksydacyjny. W: Testy fizjologiczne w ocenie wydolności fizycznej / red. nauk. Marek Zatoń, Agnieszka Jastrzębska. Warszawa : Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010.

Wykonane w okresie ostatnich 4 lat przed zgłoszeniem wniosku i aktualnie realizowane projekty badawcze, w tym finansowane ze środków finansowych na naukę - numery projektów, miejsce realizacji oraz charakter udziału przy realizacji projektu

1. Zmiany stężeń białka BDNF we krwi osób aktywnych fizycznie - badania statutowe Katedra Fizjologii i Biochemii AWF we Wrocławiu – projekt nr 53/0403/S/2014r, kierownik projektu 2014r.
2. Zmiany stężeń waspiny pod wpływem wysiłku fizycznego – badania statutowe Katedra Fizjologii i Biochemii AWF we Wrocławiu – projekt nr 53/0403/S/2013 – kierownik projektu 2013r.
3. Wpływ treningu zdrowotnego na zmiany stężeń wybranych hormonów tkanki tłuszczowej i homocysteiny u otyłych kobiet – grant habilitacyjny KBN - projekt nr NN 404 036738 – kierownik projektu - 2010 – 1012r.
4. Adipokiny a tempo spoczynkowej przemiany materii – badania statutowe Katedra Fizjologii i Biochemii AWF we Wrocławiu – projekt nr 53/0403/S/2012 - kierownik projektu 2011 – 2012r.

Doświadczenia naukowe zdobyte w Polsce i za granicą (państwo, instytucja, rodzaj pobytu, okres pobytu, jednostka delegująca)

- Współpraca naukowo - badawcza z Katedrą Histologii i Embriologii Akademii Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu - od 2002
 - Współpraca naukowo – badawcza z Katedrą Biochemii Farmaceutycznej Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu – od 1997
 - Współpraca naukowo – badawcza z Katedrą Fizjoterapii Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu – od 2000r.
 - Współpraca naukowo – badawcza z Katedrą Fizjologii Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu – od 2012r.
- Finlandia, European College of Sport Science; konferencja naukowa w 2000r (Jyväskylä); jednostka delegująca - Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu.
- Niemcy, European College of Sport Science; konferencja naukowa w 2001r (Kolonja); jednostka delegująca - Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu.
- Grecja, European College of Sport Science; konferencja naukowa w 2002r (Ateny); jednostka delegująca - Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu.

Najważniejsze międzynarodowe i polskie wyróżnienia wynikające z prowadzenia badań naukowych lub prac rozwojowych (rodzaj wyróżnienia, miejsce i data)

- Nagroda indywidualna I stopnia Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu za wybitne zaangażowanie oraz osiągnięcia w pracy naukowo – badawczej, Wrocław 2013
- Nagroda Indywidualna II stopnia Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu za całokształt działalności naukowej, Wrocław 2012
- Nagroda Indywidualna II stopnia Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu za wybitne zaangażowanie oraz osiągnięcia w pracy naukowo – badawczej, Wrocław 2010
- Nagroda indywidualna I stopnia Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu za wybitne zaangażowanie oraz osiągnięcia w pracy naukowo – badawczej, Wrocław 2013
- Nagroda Zespołowa III stopnia Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu za szczególne osiągnięcia w pracy naukowo – badawczej, Wrocław 2006
- Nagroda Indywidualna III stopnia Rektora Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu za działalność naukową, Wrocław 2004r.
- Nagroda Indywidualna II stopnia Rektora Akademii Medycznej za ważne i twórcze osiągnięcia w pracy naukowo – badawczej, Wrocław 1987r.

Oświadczenie kierownika projektu / głównych wykonawców

Zapoznałem/am się z opisem projektu badawczego pt.:

Próba identyfikacji skutków glikolitycznego treningu interwałowego za pomocą parametrów fizycznych, fizjologicznych i biochemicznych

W przypadku zakwalifikowania projektu do realizacji zgadzam się uczestniczyć w wykonaniu projektu na warunkach określonych przez jednostkę naukową. Oświadczam, że zadania badawcze, które planuję wykonać, objęte niniejszym wnioskiem, nie są finansowane i nie planuje się ich finansowania z innego źródła oraz, według mojej wiedzy, zadania badawcze nie naruszają praw osób trzecich. Wyrażam zgodę na zamieszczenie moich danych osobowych zawartych we wniosku w zbiorze danych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz na przetwarzanie tych danych zgodnie z przepisami ustawy z dnia 29 sierpnia 1997 r. o ochronie danych osobowych (Dz. U. z 2002 r. Nr 101, poz. 926, z późn. zm.).

.....
(miejsowość i data) (podpis osoby, której dotyczy ankieta)

Cel naukowy projektu opis

Celem projektu jest wskazanie zmian dystrybucji mocy, krążeniowo-oddechowych, równowagi kwasowo-zasadowej krwi, temperatury ciała podczas glikolitycznego treningu interwałowego, pojawiających się wraz z rozwojem procesu zmęczenia u kolarzy trenowanych i nietrenowanych interwałowo.

Opis projektu

• Osoby badane

W badaniach będzie brała udział 28-mio osobowa grupa kolarzy górskich. Kolarze podzieleni zostaną na 3 podgrupy: początkującą (PP) o przeciętnej wydolności (n=12), początkującą (PW) o wysokiej wydolności (n=8) i zaawansowaną (Z) (n=8).

Grupę PP będą tworzyć studenci Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, amatorsko uprawiający kolarstwo górskie, którzy wcześniej nie wykonywali glikolitycznych treningów interwałowych. Grupę PW będą tworzyć kolarze górscy – członkowie Kadry Polski w kolarstwie górskim (jedna z osób realizujących projekt jest trenerem Kadry Narodowej kolarzy górskich), którzy wcześniej nie wykonywali interwałowych treningów glikolitycznych. Grupę Z będą tworzyć kolarze górscy regularnie wykonujący treningi interwałowe - glikolityczne (2 razy w tygodniu), przynajmniej od roku. Będą to zawodnicy studiujący na Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu oraz reprezentanci klubu AZS Politechnika Wroclawska.

• Przebieg eksperymentu

Na początku eksperymentu wykonane zostaną badania wysiłkowe (szczegółowo omówione w podpunkcie „procedury badawcze”). Po wykonaniu badań każdy uczestnik eksperymentu będzie wykonywał dwukrotnie w tygodniu glikolityczny, kolarski, trening interwałowy. W ramach tego treningu wykonywane będą serie 30-to sekundowych powtórzeń, z maksymalną możliwą do utrzymania w tym czasie intensywnością. Pomiedzy powtórzeniami stosowana będzie przerwa aktywna, trwająca 90sekund. Liczba powtórzeń w serii będzie indywidualnie wyznaczona na podstawie badań wyjściowych. Liczba serii (objętość całego treningu) będzie uzależniona od fizycznych parametrów pracy, podlegających bieżącej kontroli podczas treningu. Sygnałem do zakończenia treningu będzie spadek mocy szczytowej oraz pracy wykonywanej w kolejnych seriach.

Na przestrzeni dwóch lat, w ośmiotygodniowych odstępach, będą wykonywane badania wysiłkowe oraz oznaczenia białka BDNF (ang. brain derived neurotrophic factor).

• Procedury badawcze

Badania spoczynkowe będą obejmowały oznaczenie białka BDNF w surowicy krwi żyłnej.

Na początku eksperymentu, a także w 8-mio tygodniowych odstępach przeprowadzony będzie interwałowy test wysiłkowy. Test będzie wykonany na cykloergometrze Cyclus 2, umożliwiającym wykonywanie wysiłków na własnym rowerze badanego.

Test zostanie poprzedzony rozgrzewką, trwającą 20minut. Podczas 3 pierwszych minut rozgrzewki obciążenie wyniesie 2W/kg masy ciała, podczas następnych 5minut 3W/kg i w ostatnich 12minutach 4W/kg. Obciążenie będzie zredukowane, gdy częstość skurczów serca przekroczy wartość odpowiednią dla progu przemian beztlenowych. Po rozgrzewce nastąpi 10minut przerwy, w czasie której zawodnicy będą wykonywali swobodny wysiłek bez obciążenia. Podczas testu wykonywane będą serie 30-to sekundowych wysiłków z maksymalną intensywnością. Pomiedzy kolejnymi wysiłkami w ramach serii stosowany będzie wypoczynek aktywny (swobodna jazda bez obciążenia zewnętrznego) trwający 90sekund. Pomiedzy seriami wysiłków glikolitycznych zastosowana zostanie przerwa aktywna z intensywnością zbliżoną do 50% VO₂max. Ostatnie 3 minuty przed kolejną serią zawodnicy będą wykonywali wysiłek z obciążeniem 1W/kg masy ciała.

Podczas każdego powtórzenia rejestrowana będzie moc aktualna i średnia. 60sekund po wykonaniu każdego powtórzenia w pierwszej serii pobierana będzie próbka krwi arterializowanej w celu pomiaru stężenia mleczanu. Pomiaru dokonywany będzie za pomocą urządzenia Lactate Scout. Pierwsza seria wysiłków glikolitycznych przerwana zostanie w momencie, gdy poziom mleczanu we krwi obniży się przynajmniej o 10% względem wartości szczytowej w danej serii. Liczba powtórzeń w kolejnych seriach dobierana będzie na podstawie danych uzyskanych w pierwszej serii. Kończącym serię powtórzeniem będzie ostatnie, przy którym spodziewamy się, że badany będzie utrzymywał szczytowe stężenie mleczanu (w celu dodatkowej kontroli oznaczany będzie poziom mleczanu również po wcześniejszych powtórzeniach serii).

W trzeciej minucie po każdej serii zostanie pobrana próbka krwi arterializowanej w celu oceny zmian równowagi kwasowo-zasadowej: pH, BE, La⁻, HCO₃⁻, pCO₂, pO₂, NA⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Cl⁻. Pomiar w/w parametrów dokonany będzie

za pomocą analizatora RapidPoint 500 firmy Siemens Healthcare.

Podczas całego testu prowadzony będzie pomiar parametrów oddechowych: wentylacji minutowej (VE), poboru tlenu (VO_2), wydalania dwutlenku węgla (VCO_2), objętości oddechowej (VT), częstości oddechu (Rf), krańcowo-wydechowej zawartości tlenu (PET_{O_2}), krańcowo wydechowej zawartości dwutlenku węgla (PET_{CO_2}). Rejestracja danych będzie wykonana za pomocą analizatora Cosmed K4B².

Podczas całego testu prowadzona będzie kontrola temperatury wybranych części ciała za pomocą kamery termowizyjnej.

Test zostanie zakończony gdy wystąpi jeden z poniższych warunków: Sumaryczna praca podczas serii obniży się o przynajmniej 10% względem najlepszego wyniku w teście; stężenie mleczanu we krwi arterializowanej, mierzone po serii wysiłków, obniży się o przynajmniej 10% względem wartości szczytowej w teście; pH krwi arterializowanej, mierzone po serii wysiłków, wzrośnie przynajmniej o 0,1 względem wartości szczytowej w teście; obniży się ilość emitowanego ciepła; badany odmówi wykonywania dalszej pracy.

W odstępach dwumiesięcznych będzie wykonywany test progresywny. Test będzie się zaczynał od obciążenia 50W, obciążenie będzie zwiększane co 3 minuty o 30W. Podczas testu będzie prowadzona analiza parametrów oddechowych (VO_2 , VCO_2 , VE, VT i Rf). Uzyskane dane będą służyły wyznaczeniu intensywności przerw pomiędzy seriami w teście interwałowym. Na podstawie parametrów oddechowych ustalona zostanie wartość tętna i mocy na progu przemian beztlenowych. Moment wystąpienia progu będzie ustalany za pomocą metody opisanej przez Beaver, Wassermann i Whipp [1986]. Na podstawie tych danych będzie kontrolowana intensywność wysiłku podczas rozgrzewki w teście interwałowym.

Każdorazowo pierwszy będzie wykonywany test progresywny i po 72godzinach przerwy - test interwałowy.

Charakterystyka końcowego wyniku

Efektym badań będzie wskazanie parametrów użytecznych przy kontroli kolarskiego interwałowego treningu glikolitycznego oraz kierunku zmian tych parametrów, które będą wskazywały na bieżące zmiany zmęczeniowe. Spodziewamy się, że wraz z rozwojem zmian zmęczeniowych obniżyć się będzie tempo metabolizmu glikolitycznego, co będzie się manifestowało łagodniejszym zaburzeniem równowagi kwasowo-zasadowej, mniejszą dynamiką odpowiedzi oddechowej na wysiłek, mniejszą emisją ciepła. Badania wskażą także różnice pomiędzy rozwojem procesu zmęczenia u sporowców na różnym poziomie (od sportu akademickiego aż po zawodników Kadry Narodowej) oraz pomiędzy zawodnikami o różnym doświadczeniu w wykonywaniu interwałowych treningów glikolitycznych (w badaniach wezmą udział osoby, które nie wykonywały wcześniej tego typu wysiłków oraz zawodnicy trenujący w ten sposób przynajmniej od roku). Ponadto będą śledzone zmiany adaptacyjne: dystrybucji mocy, krążeniowe, oddechowe, równowagi kwasowo-zasadowej, promieniowania termicznego w ośmiotygodniowych odstępach. Spodziewamy się, że po kilku latach treningu zmieni się dystrybucja mocy w kolejnych powtórzeniach i seriach powtórzeń, na skutek uczenia się. Zmiany te mogą być powiązane z rozwojem układu nerwowego, czego odzwierciedleniem będzie wzrost stężenia białka BDNF w surowicy krwi.

E. HARMONOGRAM WYKONANIA PROJEKTU BADAWCZEGO - PLAN ZADAŃ

Lp.	Nazwa zadania badawczego	Przewidywane koszty zadania (zł)	Planowany czas trwania (miesiące)
1.	Zakup niezbędnej aparatury - trenera Cyclus 2	36 000	1
2.	Wykonanie wstępnych badań wysiłkowych oraz oznaczenia białka BDNF	17 920	1
3.	Wykonywanie kontrolnych badań wysiłkowych i kolejnych oznaczeń białka BDNF	178 200	22
4.	Wykonanie końcowych badań wysiłkowych oraz oznaczeń białka BDNF	17 800	1
5.	Publikacja prac naukowych	4 000	12
6.	Udział w konferencjach naukowych	10 000	1
Suma kosztów zadań:		263 920	

F. KOSZTORYS PROJEKTU BADAWCZEGO

Pozycja	Rok 2014	Rok 2015	Rok 2016	Rok 2017	Razem
1	2	3	4	5	6
Koszty bezpośrednie realizacji projektu, w tym:	0	133 800	97 000	8 700	239 500
- wynagrodzenia wraz z pochodnymi	0	35 000	35 000	0	70 000
- inne koszty bezpośrednie, w tym:	0	98 800	62 000	8 700	169 500
- koszty zakupu lub wykonania aparatury naukowo-badawczej	0	36 000	0	0	36 000
Koszty pośrednie	0	11 736	11 640	1 044	24 420
Koszty realizacji projektu ogółem	0	145 536	108 640	9 744	263 920

Kalkulacja poszczególnych pozycji kosztorysu:

wynagrodzenia wraz z pochodnymi:

a) liczba osób przewidzianych do udziału w realizacji projektu:

4

w tym pracowników naukowych i doktorantów:

4

b) ogółem liczba osobomiesięcy:

192

Opis planowanej do zakupu lub wytworzenia aparatury naukowo-badawczej (podać nazwę zakupu, planowany przewidywany koszt, planowany miesiąc zakupu lub wytworzenia liczony od rozpoczęcia realizacji projektu oraz merytoryczne uzasadnienie).

a) Cykloergometr Cyclus 2: planowany koszt zakupu 36000PLN, planowany termin zakupu 1-2 miesiąc. Cykloergometr umożliwia wykonanie testów wysiłkowych na własnym rowerze badanego. W ten sposób warunki wykonania testu będą zbliżone specyfiką do warunków treningowych.

Uzasadnienie wysokości planowanych innych kosztów realizacji projektu (wymienić rodzaj kosztów, wysokość oraz ich powiązanie z planem zadań projektu, uzasadnienie zlecenia realizacji zadań harmonogramu innym jednostkom).

Zakup odczynników i części wymiennych do aparatu RapidLab 348:

- zestaw wężyków, próbek i odczynników - 2000PLN (2kpl)
- gazy kalibracyjne Cal/Slope - 4500PLN (4szt)
- zestaw buforów kalibracyjnych - 4700PLN (4kpl)
- zestaw płuczający - 4000PLN (4kpl)
- próbki kontrolne - 600PLN (2szt)
- płyn odbiałczający - 400PLN (2szt)
- płyn kondycjonujący - 500PLN (4szt)
- elektrody pO₂ - 11000 PLN (4szt)
- elektrody pCO₂ - 11000 PLN (4szt)
- elektrody K⁺ - 11000 PLN (4szt)
- elektrody Na⁺ - 11000PLN (4szt)
- elektrody Cl⁻ - 11000PLN (4szt)
- elektrody Ca⁺⁺ - 11000PLN (4szt)

Analizator umożliwia obserwację zmian w parametrach równowagi kwasowo-zasadowej. Zmiany te mogą wyjaśniać w jaki sposób dochodzi do zmęczenia podczas testu i treningu interwałowego. Jeżeli zmęczenie w takim treningu jest związane z mniejszą rekrutacją jednostek motorycznych szybko kurczliwych, obniżyć powinno się tempo metabolizmu glikolitycznego i kolejnym wysiłkom towarzyszyć powinno łagodniejsze zaburzenie równowagi kwasowo-zasadowej krwi.

Zakup pasków testowych do analizatora LactateScout (1200szt) - 11000PLN. Pomiar stężenia mleczanu dostarczy szybkiej informacji o natężeniu przemian glikolitycznych. Informacja ta będzie podstawą do kontynuacji lub przerwania serii wysiłków.

Zakup odczynników Himan BDNF Elisa Kit 96T (umożliwiający wykonanie 300 testów) - 23000PLN. Pomiar stężenia tego białka będzie pomocny przy ocenie rozwoju układu nerwowego. Wielokrotne wykonywanie ciężkich wysiłków prowadzi do zmian natężenia pracy w czasie wysiłku (ang. pacing strategy). Obniża się moc na początku trwania wysiłku oraz wzrasta w jego końcowej fazie. Spodziewamy się podobnych zmian w wielokrotnie powtarzanych wysiłkach tj. test Wingate. Możliwe, że zmiany natężenia pracy w czasie wysiłku są powiązane z poprawą sprawności przesyłu bodźców w układzie nerwowym.

Zakup kapilaroprobówek (3000szt) - 500PLN

Zakup rękawiczek lateksowych jednorazowych (2000szt) - 300PLN

Udział w dwóch konferencjach naukowych (np. European College of Sport Science w Malmo) - 10000PLN. Uzyskane dane będą prezentowane podczas konferencji naukowych.

Tłumaczenia artykułów naukowych na język angielski - 2000PLN.

Koszty publikacji artykułów w czasopismach anglojęzycznych - 4000PLN.

G. OŚWIADCZENIA KIEROWNIKA JEDNOSTKI NAUKOWEJ

1. Oświadczam, że zapoznałem się z wnioskiem o finansowanie projektu badawczego pt. Próba identyfikacji skutków glikolitycznego treningu interwałowego za pomocą parametrów fizycznych, fizjologicznych i biochemicznych
 2. Oświadczam, że w jednostce istnieją warunki zapewniające należyte wykonanie projektu i w przypadku zakwalifikowania projektu do realizacji zobowiązuję się do:
 - włączenia projektu do planu zadaniowego jednostki
 - udostępnienia pomieszczeń, aparatury i obsługi administracyjno-finansowej
 - zatrudnienia osób niezbędnych do wykonania projektu na podstawie uzgodnionej z kierownikiem projektu i wykonawcami formy zatrudnienia
 - sprawowania nadzoru nad realizacją projektu i prawidłowością wydatkowania środków finansowych
 3. Oświadczam, że jednostka nie może zapewnić dostępu do urządzeń wymienionych w wykazie aparatury planowanej do zakupu w projekcie
 4. Oświadczam, że zgodnie z moją wiedzą, wykonanie zadań objętych wnioskiem nie narusza praw osób trzecich
 5. Oświadczam, że zadania badawcze objęte niniejszym wnioskiem nie były ani nie są obecnie finansowane ze środków budżetowych na naukę
 6. Oświadczam, że projekt obejmuje badania:
 1. na ludziach, wymagające zgody właściwej komisji bioetycznej;
 2. na zwierzętach, wymagające zgody komisji etycznej ds. doświadczeń na zwierzętach;
 3. nad gatunkami chronionymi lub na obszarach objętych ochroną, na prowadzenie których wymagana jest zgoda lub zezwolenie na podstawie przepisów o ochronie przyrody;
 4. nad organizmami genetycznie modyfikowanymi lub z zastosowaniem takich organizmów, na prowadzenie których wymagane jest zezwolenie na podstawie przepisów o organizmach genetycznie modyfikowanych;
- i zobowiązuję się, w przypadku zakwalifikowania projektu do realizacji, przedstawić wraz z projektem umowy kopie dokumentów potwierdzających uzyskanie zgód właściwych komisji lub zgód wymaganych na podstawie przepisów o ochronie przyrody lub organizmach genetycznie modyfikowanych

H. INFORMACJE O OSOBIE ODPOWIEDZIALNEJ ZA WNIOSEK

Imię i nazwisko	Rafał Hebisz
Telefon	██████████
E-mail	██████████

(miejsowość, data):

Pieczęć jednostki

Kierownik jednostki

Główny księgowy/Kwestor

Kierownik projektu

Data

Podpis i pieczęć

Podpis i pieczęć

Podpis

ZAŁĄCZNIKI

Dane załącznika		
1.	Etykieta załącznika	Opinia podmiotu sportowego zainteresowanego praktycznym wykorzystaniem wyników badań.
2.	Nazwa pliku załącznika	Opinia AZS Politechnika Wroclawska oraz AZS AWF Wroclaw.pdf
3.	Wielkość pliku załącznika (bajtów)	269461



**KLUB SPORTOWY
AKADEMICKIEGO ZWIĄZKU SPORTOWEGO
AKADEMII WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
WE WROCLAWIU**

Sports Students Union

Sports Club of the University School of Physical Education in Wrocław

Al. Paderewskiego 35
51-612 Wrocław

Tel. (+48) (71) 347-32-23, tel/fax (148) (71) 348-39-28
e-mail: azs@awf.wroc.pl

NIP 896-000-46-27

K-to: BZWBK S.A. o/Wrocław 77 1090 1522 0000 0000 5201 9094

SEKCJE:					
Akrobatyka	Judo	Ju-Jitsu	Lekkoatletyka	Piłka Ręczna Kobiet	Pływanie
Szermierka	Biathlon	Paintball	Gimnastyka Sportowa	Gimnastyka Artystyczna	Taekwondo

Wrocław dn. 15.07.2014

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Ul. Wspólna 1/3

00-529 Warszawa

W imieniu Klubu Sportowego AZS AWF Wrocław wyrażam pozytywną opinię o projekcie pt.: *Próba identyfikacji skutków glikolitycznego treningu interwałowego za pomocą parametrów fizycznych, fizjologicznych i biochemicznych.* Jednocześnie wyrażam zgodę na udział w nim zawodników klubu AZS AWF Wrocław. Uważam, że uzyskane wyniki mogą przyczynić się do rozwoju metod kontroli obciążenia treningowego w sporcie wyczynowym.

PREZES
KS AZS AWF WROCLAW
dr hab. Andrzej Rokita
profesor nadzwyczajny

Wrocław dn. 14.07.2014

Akademicki Klub Sportowy Politechnika Wroclawska

ul. Chelmońskiego 16

51-630 Wrocław

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

ul. Wspólna 1/3

00-529 Warszawa

W imieniu Akademickiego Klubu Sportowego Politechnika Wroclawska wyrażam pozytywną opinię o projekcie pt. *Próba identyfikacji skutków glikolitycznego treningu interwałowego za pomocą parametrów fizycznych, fizjologicznych i biochemicznych*. Jednocześnie wyrażam chęć zgłoszenia do projektu sportowców naszego klubu. Jestem także zainteresowany wykorzystaniem wyników tego eksperymentu w szkoleniu naszych sportowców.


AKADEMICKI KLUB SPORTOWY
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ
AKS Politechniki Wrocławskiej
PREZES

Informacja naukometryczna całego dorobku naukowego
potwierdzona przez Bibliotekę Akademii Wychowania
Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

INFORMACJA NAUKOMETRYCZNA – POSTĘPOWANIE HABILITACYJNE
Informacje dotyczące całego dorobku naukowego

dr Paulina Hebisz

	Liczba punktów za artykuły w czasopismach naukowych zgodnie z wykazami MEiN/MNiSW		Liczba punktów za monografie i rozdziały naukowe oraz redaktorstwa monografii naukowych zgodnie z wytycznymi MEiN/MNiSW	
	do roku 2019	od roku 2019	do roku 2017	od roku 2017
Przed uzyskaniem stopnia doktora	17	-	-	-
Po uzyskaniu stopnia doktora	202	1310	-	-
Suma	219	1310	-	-

Wartość wskaźnika Impact Factor	
Przed uzyskaniem stopnia doktora	0.242
Po uzyskaniu stopnia doktora	43.641
Suma	43.883

Liczba cytowań	Author Search	Cited Reference Search
ogółem	100	112
bez autocytowań	59	68
autocytowania	41	44
Indeks Hirscha	6	6

Informacje wykazane w tabeli opracowano na podstawie bazy Web of Science Core Collection.
Liczba cytowań podana została dwoma metodami: Author Search oraz Cited Reference Search.

Załączone wykazy:

Przed uzyskaniem stopnia doktora oraz po uzyskaniu stopnia doktora:

1. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych (z zaznaczeniem cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt. 2b Ustawy).
2. Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych.

Ośrodek Informacji Naukowej
AWF Wrocław

20.07.2023 *Agata Jędrzejko*

dr Paulina Hebisz

Wykaz publikacji punktowanych po uzyskaniu stopnia doktora

L.p.	Wykaz powiązanych tematycznie artykułów naukowych stanowiących podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego	Punkty MEiN/MNiSW	IF
1	Hebisz Paulina , Hebisz Rafał, Zatoń Marek, Ochmann Bartosz, Mielnik Natalia. Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists. <i>European Journal of Applied Physiology</i> : 2016 : vol. 116, nr 8, s. 1495-1502.	35	2.130
2	Hebisz Paulina , Hebisz Rafał, Murawska-Ciałowicz Eugenia, Zatoń Marek. Changes in exercise capacity and serum BDNF following long-term sprint interval training in well-trained cyclists. <i>Applied Physiology Nutrition and Metabolism</i> : 2019 : vol. 44, nr 5, s. 499-506.	70	2.522
3	Hebisz Rafał, Hebisz Paulina , Borkowski Jacek, Zatoń Marek. Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise - induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds. <i>Isokinetics and Exercise Science</i> : 2019 : vol. 27, nr 1, s. 21-29.	40	0.474
4	Hebisz Paulina , Hebisz Rafał. The effect of polarized training (SIT, HIIT, and ET) on muscle thickness and anaerobic power in trained cyclists. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> : 2021 : vol. 18, nr 12, art. 6547, s. 1-10.	140	4.614
5	Hebisz Paulina , Hebisz Rafał, Jastrzębska Agnieszka. An attempt to predict changes in heart rate variability in the training intensification process among cyclists. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> : 2021 : vol. 18, nr 14, art. 7636, s. 1-16.	140	4.614
6	Hebisz Rafał, Hebisz Paulina , Danek Natalia, Michalik Kamil, Zatoń Marek. Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists. <i>Journal of Strength and Conditioning Research</i> : 2022 : vol. 36, nr 6, s. 1726-1730.	100	3.200
7	Hebisz Paulina , Hebisz Rafał, Drelak Maja. Comparison of aerobic capacity changes as a result of a polarized or block training program among trained mountain bike cyclists. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> : 2021 : vol. 18, nr 16, art. 8865, s. 1-11.	140	4.614

Wykaz artykułów w czasopismach naukowych			
8	Jastrzębska Agnieszka, Hebisz Rafał, Hebisz Paulina . Temporal skin temperature as an indicator of cardiorespiratory fitness assessed with selected methods. <i>Biology</i> : 2022 : vol. 11, nr 7, art. 948, s. 1-12.	100	4.200
9	Hebisz Paulina , Cortis Cristina, Hebisz Rafał. Acute effects of sprint interval training and chronic effects of polarized training (sprint interval training, high intensity interval training, and endurance training) on choice reaction time in mountain bike cyclists. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> : 2022 : vol. 19, nr 22, art. 14954, s. 1-16.	140	-
10	Hebisz Rafał, Borkowski Jacek, Hebisz Paulina . Creatine kinase and moglobin plasma levels in mountain bike and road cyclists 1 h after the race. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> : 2022 : vol. 19, nr 15, art. 9456, s. 1-10.	140	-
11	Hebisz Rafał, Hebisz Paulina , Zatoń Marek. Heart rate variability after sprint interval training in cyclists and implications for assessing physical fatigue. <i>Journal of Strength and Conditioning Research</i> : 2022 : vol. 36, nr 2, s. 558-564.	100	3.200
12	Hebisz Paulina , Jastrzębska Agnieszka, Hebisz Rafał. Real assessment of maximum oxygen uptake as a verification after an incremental test versus without a test. <i>Frontiers in Physiology</i> : 2021 : vol. 12, art. 739745, s. 1-8.	100	4.755
13	Hebisz Rafał, Błacha Ryszard, Hebisz Paulina , Szczepan Stefan. The relationship between the gross efficiency and the ability to repeat the given pressure force in trained cyclists. <i>Human Movement</i> : 2019 : vol. 20, nr 1, s. 48-54.	40	-
4314	Hebisz Rafał, Hebisz Paulina , Zatoń Marek. Effects of long-term sprint interval training on work efficiency and acid-base balance in mountain bike cyclists. <i>Medicina dello Sport</i> : 2019 : vol. 72, nr 1, s. 12-24.	20	0.406
15	Hebisz Rafał, Hebisz Paulina , Borkowski Jacek, Wierzbicka-Damska Iwona, Zatoń Marek. Relationship between the skin surface temperature changes during sprint interval testing protocol and the aerobic capacity in well-trained cyclists. <i>Physiological Research</i> : 2019 : vol. 68, nr 6, 981-989.	40	1.655
16	Hebisz Paulina , Hebisz Rafał, Borkowski Jacek, Zatoń Marek. Time of VO ₂ max plateau and post-exercise oxygen consumption during incremental exercise testing in young mountain bike and road cyclists. <i>Physiological Research</i> : 2018 : vol. 67, nr 5, s. 711-719.	20	1.701

17	Hebisz Rafał, Hebisz Paulina , Zatoń Marek, Michalik Kamil. Peak oxygen uptake in a sprint interval testing protocol vs. maximal oxygen uptake in an incremental testing protocol and their relationship with cross-country mountain biking performance. <i>Applied Physiology Nutrition and Metabolism</i> : 2017 : vol. 42, nr 4, s. 371-376.	30	2.518
18	Hebisz Rafał, Hebisz Paulina , Zatoń Marek. Work efficiency in repeated sets of sprint interval exercise in cyclists. <i>Journal of Sports Medicine and Physical Fitness</i> : 2017 : vol. 57, nr 3, s. 195-201.	20	1.120
19	Michalik Kamil, Zatoń Marek, Hebisz Paulina , Hebisz Rafał. Heart rate and oxygen uptake recovery and the level of aerobic capacity in mountain bikers. <i>Polish Journal of Sport and Tourism</i> : 2017 : vol. 24, nr 4, s. 242-246.	14	-
20	Hebisz Paulina , Hebisz Rafał, Bakońska-Pacoń Ewa, Zatoń Marek. Acute hematological response to a single dose of sprint interval training in competitive cyclists. <i>Science & Sports</i> : 2017 : vol. 32, nr 6, s. 369-375.	15	0.763
21	Hebisz Rafał, Hebisz Paulina , Borkowski Jacek, Zatoń Marek. Differences in physiological responses to interval training in cyclists with and without interval training experience. <i>Journal of Human Kinetics</i> : 2016 : vol. 50, s. 93-101.	15	0.798
22	Hebisz Rafał, Hebisz Paulina , Zatoń Marek. Impact of training with additional respiratory dead space on spirometry and exercise respiratory pattern in cyclists. <i>Central European Journal of Sport Sciences and Medicine</i> : 2015 : vol. 9, nr 1, s.75-83.	12	-
23	Hebisz Paulina , Hebisz Rafał, Zatoń Marek, Borkowski Jacek. Dynamics of changes in power output, heart rate, and disorders of acid-base balance during interval training in mountain cyclists. <i>Isokinetics and Exercise Science</i> : 2015 : vol. 23, nr 4, s. 245-252.	15	0.357
24	Hebisz Paulina , Hebisz Rafał, Zatoń Marek. Body balance in a free-standing position in road and off-road cyclists. <i>Baltic Journal of Health and Physical Activity</i> : 2014 : vol. 6, nr 4, s. 245-251.	11	-
25	Hebisz Paulina , Hebisz Rafał, Zatoń Marek. Changes in breathing pattern and cycling efficiency as a result of training with added respiratory dead space volume. <i>Human Movement</i> : 2013 : vol. 14, nr 3, s. 247-253.	14	-
26	Zatoń Marek, Hebisz Paulina , Hebisz Rafał. Zmiany fizjologiczne u kolarzy szosowych i górskich pod wpływem wieloletniego treningu. <i>Sport Wyczynowy</i> : 2011 : R.49, nr 3, s.69-80.	1	-
Suma		1512	43.641

Dr Paulina Hebisz

Wykaz publikacji punktowanych przed uzyskaniem stopnia doktora

L.p.	Wykaz artykułów w czasopismach naukowych	Punkty MEiN/MNiSW	IF
1	Zatoń Marek, Hebisz Rafał, Hebisz Paulina . The effect of training with additional respiratory dead space on haematological elements of blood. <i>Isokinetics and Exercise Science</i> : 2010 : vol.18, nr 3, s.137-143.	13	0.242
2	Zatoń Marek, Hebisz Rafał, Hebisz Paulina , Bakońska-Pacoń Ewa. Wpływ treningu z powiększoną objętością oddechowej przestrzeni martwej na zmiany parametrów równowagi kwasowo-zasadowej. <i>Sport Wyczynowy</i> : 2008 : R. 46, nr 7-9, s. 105-116.	2	-
3	Zatoń Marek, Hebisz Paulina , Hebisz Rafał. Zmiany oddechowe pod wpływem treningu z powiększoną objętością oddechowej przestrzeni martwej. <i>Sport Wyczynowy</i> : 2008 : R. 46, nr 4-6, s. 28-38.	2	-
	Suma	17	0.242

Ośrodek Informacji Naukowej
AWF Wrocław

20.07.2023 *Olga Stok*



Baza Publikacji Pracowników Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu od r. 2002

Zapytanie: HEBISZ PAULINA

1

Autorzy: Jastrzębska Agnieszka, Hebisz Rafał, Hebisz Paulina.

Tytuł oryginału: Temporal skin temperature as an indicator of cardiorespiratory fitness assessed with selected methods

Czasopismo: Biology

Szczegóły: 2022 : vol. 11, nr 7, art. 948, s. 1-12, ryc., tab., bibliogr. 68 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 4.200

Punktacja MEiN: 100.000

2

Autorzy: Hebisz Paulina, Cortis Cristina, Hebisz Rafał.

Tytuł oryginału: Acute effects of sprint interval training and chronic effects of polarized training (sprint interval training, high intensity interval training, and endurance training) on choice reaction time in mountain bike cyclists

Czasopismo: International Journal of Environmental Research and Public Health

Szczegóły: 2022 : vol. 19, nr 22, art. 14954, s. 1-16, ryc., tab., bibliogr. 63 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Punktacja MEiN: 140.000

3

Autorzy: Hebisz Rafał, Borkowski Jacek, Hebisz Paulina.

Tytuł oryginału: Creatine kinase and moglobin plasma levels in mountain bike and road cyclists 1 h after the race

Czasopismo: International Journal of Environmental Research and Public Health

Szczegóły: 2022 : vol. 19, nr 15, art. 9456, s. 1-10, tab., bibliogr. 43 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Punktacja MEiN: 140.000

4

Autorzy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Zatoń Marek.

Tytuł oryginału: Heart rate variability after sprint interval training in cyclists and implications for assessing physical fatigue

Czasopismo: Journal of Strength and Conditioning Research

Szczegóły: 2022 : vol. 36, nr 2, s. 558-564, ryc., tab., bibliogr. 45 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 3.200

Punktacja MEiN: 100.000

5

Autorzy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Danek Natalia, Michalik Kamil, Zatoń Marek.

Tytuł oryginału: Predicting changes in maximal oxygen uptake in response to polarized training (sprint interval training, high-intensity interval training, and endurance training) in mountain bike cyclists

Czasopismo: Journal of Strength and Conditioning Research

Szczegóły: 2022 : vol. 36, nr 6, s. 1726-1730, tab., bibliogr. 44 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 3.200

Punktacja MEiN: 100.000

6

Autorzy: Hebisz Paulina, Jastrzębska Agnieszka, Hebisz Rafał.
Tytuł oryginalny: Real assessment of maximum oxygen uptake as a verification after an incremental test versus without a test
Czasopismo: Frontiers in Physiology
Szczegóły: 2021 : vol. 12, art. 739745, s. 1-8, ryc., tab., bibliogr. 40 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 4.755
Punktacja MEiN: 100.000

7

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Jastrzębska Agnieszka.
Tytuł oryginalny: An attempt to predict changes in heart rate variability in the training intensification process among cyclists
Czasopismo: International Journal of Environmental Research and Public Health
Szczegóły: 2021 : vol. 18, nr 14, art. 7636, s. 1-16, ryc., tab., bibliogr. 45 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 4.614
Punktacja MEiN: 140.000

8

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Drelak Maja.
Tytuł oryginalny: Comparison of aerobic capacity changes as a result of a polarized or block training program among trained mountain bike cyclists
Czasopismo: International Journal of Environmental Research and Public Health
Szczegóły: 2021 : vol. 18, nr 16, art. 8865, s. 1-11, ryc., tab., bibliogr. 39 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 4.614
Punktacja MEiN: 140.000

9

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał.
Tytuł oryginalny: The effect of polarized training (SIT, HIIT, and ET) on muscle thickness and anaerobic power in trained cyclists
Czasopismo: International Journal of Environmental Research and Public Health
Szczegóły: 2021 : vol. 18, nr 12, art. 6547, s. 1-10, ryc. tab. bibliogr. 46 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 4.614
Punktacja MEiN: 140.000

10

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Murawska-Ciałowicz Eugenia, Zatoń Marek.
Tytuł oryginalny: Changes in exercise capacity and serum BDNF following long-term sprint interval training in well-trained cyclists
Czasopismo: Applied Physiology Nutrition and Metabolism
Szczegóły: 2019 : vol. 44, nr 5, s. 499-506, ryc., tab., bibliogr. [53] poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 2.522
Punktacja MEiN: 70.000

11

Autorzy: Hebisz Rafał, Błacha Ryszard, Hebisz Paulina, Szczepan Stefan.
Tytuł oryginalny: The relationship between the gross efficiency and the ability to repeat the given pressure force in trained cyclists
Czasopismo: Human Movement
Szczegóły: 2019 : vol. 20, nr 1, s. 48-54, rys., tab., bibliogr. 43 poz.
Charakt. formalna: polski artykuł
Punktacja MEiN: 40.000

12

Autorzy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Borkowski Jacek, Zatoń Marek.
Tytuł oryginalny: Effects of concomitant high-intensity interval training and sprint interval training on exercise capacity and response to exercise-induced muscle damage in mountain bike cyclists with different training backgrounds
Czasopismo: Isokinetics and Exercise Science
Szczegóły: 2019 : vol. 27, nr 1, s. 21-29, ryc., tab., bibliogr. 38 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 0.474
Punktacja MEiN: 40.000

13

Autorzy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Zatoń Marek.
Tytuł oryginalny: Effects of long-term sprint interval training on work efficiency and acid-base balance in mountain bike cyclists
Czasopismo: Medicina dello Sport
Szczegóły: 2019 : vol. 72, nr 1, s. 12-24
Uwagi: Brak dostępu do pełnego artykułu.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 0.406
Punktacja MEiN: 20.000

14

Autorzy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Borkowski Jacek, Wierzbicka-Damska Iwona, Zatoń Marek.
Tytuł oryginalny: Relationship between the skin surface temperature changes during sprint interval testing protocol and the aerobic capacity in well-trained cyclists
Czasopismo: Physiological Research
Szczegóły: 2019 : vol. 68, nr 6, 981-989, ryc., tab., bibliogr. [48] poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 1.655
Punktacja MEiN: 40.000

15

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Borkowski Jacek, Zatoń Marek.
Tytuł oryginalny: Time of VO₂max plateau and post-exercise oxygen consumption during incremental exercise testing in young mountain bike and road cyclists
Czasopismo: Physiological Research
Szczegóły: 2018 : vol. 67, nr 5, s. 711-719, rys., tab., bibliogr. [51] poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 1.701
Punktacja MEiN: 20.000

16

Autorzy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Zatoń Marek, Michałik Kamil.
Tytuł oryginalny: Peak oxygen uptake in a sprint interval testing protocol vs. maximal oxygen uptake in an incremental testing protocol and their relationship with cross-country mountain biking performance
Czasopismo: Applied Physiology Nutrition and Metabolism
Szczegóły: 2017 : vol.42, nr 4, s. 371-376, ryc., tab., bibliogr. 29 poz., res.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 2.518
Punktacja MEiN: 30.000

17

Autorzy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Zatoń Marek.
Tytuł oryginalny: Work efficiency in repeated sets of sprint interval exercise in cyclists
Czasopismo: Journal of Sports Medicine and Physical Fitness
Szczegóły: 2017 : vol. 57, nr 3, s. 195-201, tab., bibliogr. 31 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 1.120
Punktacja MEiN: 20.000

18

Autorzy: Michalik Kamil, Zatoń Marek, Hebisz Paulina, Hebisz Rafał.
Tytuł oryginalny: Heart rate and oxygen uptake recovery and the level of aerobic capacity in mountain bikers
Czasopismo: Polish Journal of Sport and Tourism
Szczegóły: 2017 : vol. 24, nr 4, s. 242-246, ryc., tab., bibliogr. 35 poz., sum.
Charakt. formalna: polski artykuł
Punktacja MEiN: 14.000

19

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Bakońska-Pacosi Ewa, Zatoń Marek.
Tytuł oryginalny: Acute hematological response to a single dose of sprint interval training in competitive cyclists
Czasopismo: Science & Sports
Szczegóły: 2017 : vol. 32, nr 6, s. 369-375, ryc., tab., bibliogr. 36 poz.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 0.763
Punktacja MEiN: 15.000

20

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Zatoń Marek.
Tytuł oryginalny: The long-term effects of sprint interval training on physiological response to repeated maximal sprint cycling
Tytuł całości: W: 21st Annual Congress of the European College of Sports Science, 6th-9th July 2016, Vienna - Austria : book of abstracts / ed. by Baca A., Wessner B., Dikemuller R. et al.
Opis fizyczny: s. 708
p-ISBN: 978-3-00-053383-9
Charakt. formalna: zagraniczne streszczenie zjazdowe

21

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Zatoń Marek, Ochmann Bartosz, Mielnik Natalia.
Tytuł oryginalny: Concomitant application of sprint and high-intensity interval training on maximal oxygen uptake and work output in well-trained cyclists
Czasopismo: European Journal of Applied Physiology
Szczegóły: 2016 : vol. 116, nr 8, s. 1495-1502, ryc., tab., bibliogr. 42 poz. sum.
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 2.130
Punktacja MEiN: 35.000

22

Autorzy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Borkowski Jacek, Zatoń Marek.
Tytuł oryginalny: Differences in physiological responses to interval training in cyclists with and without interval training experience
Czasopismo: Journal of Human Kinetics
Szczegóły: 2016 : vol. 50, s. 93-101, tab., bibliogr. 35 poz.
Charakt. formalna: polski artykuł
Impact Factor: 0.798
Punktacja MEiN: 15.000

23

Autorzy: Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Zatoń Marek.
Tytuł oryginalny: Impact of training with additional respiratory dead space on spirometry and exercise respiratory pattern in cyclists
Czasopismo: Central European Journal of Sport Sciences and Medicine
Szczegóły: 2015 : vol. 9, nr 1, s. 75-83, ryc., tab., bibliogr. [31] poz.
Charakt. formalna: polski artykuł
Punktacja MEiN: 12.000

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Zatoń Marek, Borkowski Jacek.

Tytuł oryginału: Dynamics of changes in power output, heart rate, and disorders of acid-base balance during interval training in mountain cyclists

Czasopismo: Isokinetics and Exercise Science

Szczegóły: 2015 : vol. 23, nr 4, s. 245-252, ryc., tab., bibliogr. 39 poz.

Charakt. formalna: zagraniczny artykuł

Impact Factor: 0.357

Punktacja MEiN: 15.000

25

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Zatoń Marek, Madej Wojciech.

Tytuł oryginału: Zmiany wydolności fizycznej pod wpływem treningów pojemności glikolitycznej i pojemności tlenowej wykonywanych z zastosowaniem powiększonej objętości oddechowej przestrzeni martwej

Tytuł całości: W: Od profilaktyki do sukcesu sportowego : XXXI Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Medycyny Sportowej, Zielona Góra 17-19.09.2015 : program

Charakt. formalna: polskie streszczenie zjazdowe

26

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Zatoń Marek.

Tytuł oryginału: Body balance in a free-standing position in road and off-road cyclists

Czasopismo: Baltic Journal of Health and Physical Activity

Szczegóły: 2014 : vol. 6, nr 4, s. 245-251, tab., bibliogr. 27 poz.

Charakt. formalna: polski artykuł

Punktacja MEiN: 11.000

27

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Zatoń Marek.

Tytuł oryginału: Impact of training with additional respiratory dead space on the respiratory and circulatory efficiency in cyclists

Czasopismo: Journal of Physiology and Pharmacology

Szczegóły: 2014 : vol.65, supl. 1, s.47

Uwagi: 26th Congress of the Polish Physiological Society

Charakt. formalna: polskie streszczenie w czasopiśmie

28

Autorzy: Hebisz Rafał, Zatoń Marek, Hebisz Paulina.

Tytuł oryginału: Work efficiency changes in the next series of interval training in cyclists who trained the interval training and those who didn't

Czasopismo: Journal of Physiology and Pharmacology

Szczegóły: 2014 : vol.65, supl. 1, s.47

Uwagi: 26th Congress of the Polish Physiological Society

Charakt. formalna: polskie streszczenie w czasopiśmie

29

Autorzy: Hebisz Paulina, Hebisz Rafał, Zatoń Marek.

Tytuł oryginału: Changes in breathing pattern and cycling efficiency as a result of training with added respiratory dead space volume

Czasopismo: Human Movement

Szczegóły: 2013 : vol. 14, nr 3, s. 247-253, ryc., tab., bibliogr. 30 poz.

Charakt. formalna: polski artykuł

Punktacja MEiN: 14.000

30

Autorzy: Zatoń Marek, Hebisz Paulina, Hebisz Rafał.

Tytuł oryginału: Zmiany fizjologiczne u kolarzy szosowych i górskich pod wpływem wieloletniego treningu

Czasopismo: Sport Wyczynowy

Szczegóły: 2011 : R.49, nr 3, s.69-80, tab. bibliogr. 45 poz.

Charakt. formalna: polski artykuł

Punktacja MEiN: 1.000

31

Autorzy: Zatoń Marek, Hebisz Rafał, Hebisz Paulina.
Tytuł oryginału: Fizjologiczne podstawy treningu w kolarstwie górskim
Adres wydawniczy: Wrocław : Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, 2011
Opis fizyczny: 204 s. : ryc., tab., bibliogr.
p-ISBN: 978-83-89156-16-7
Charakt. formalna: polski podręcznik

32

Autorzy: Zatoń Marek, Hebisz Rafał, Hebisz Paulina.
Tytuł oryginału: The effect of training with additional respiratory dead space on haematological elements of blood
Czasopismo: Isokinetics and Exercise Science
Szczegóły: 2010 : vol.18, nr 3, s.137-143
Charakt. formalna: zagraniczny artykuł
Impact Factor: 0.242
Punktacja MEiN: 13.000

33

Autorzy: Zatoń Marek, Hebisz Rafał, Hebisz Paulina, Bakońska-Pacoń Ewa.
Tytuł oryginału: Wpływ treningu z powiększoną objętością oddechowej przestrzeni martwej na zmiany parametrów równowagi kwasowo-zasadowej
Czasopismo: Sport Wyczynowy
Szczegóły: 2008 : R.46, nr 7-9, s.105-116, ryc. tab. bibliogr. 26 poz. sum. sod.
Charakt. formalna: polski artykuł
Punktacja MEiN: 2.000

34

Autorzy: Zatoń Marek, Hebisz Paulina, Hebisz Rafał.
Tytuł oryginału: Zmiany oddechowe pod wpływem treningu z powiększoną objętością oddechowej przestrzeni martwej
Tytuł równoległy: Respiratory changes resulting from training with enlarged respiratory dead space
Czasopismo: Sport Wyczynowy
Szczegóły: 2008 : R.46, nr 4-6, s.28-38, ryc. tab. bibliogr. 44 poz. rez. sum.
Charakt. formalna: polski artykuł
Punktacja MEiN: 2.000

Ośrodek Informacji Naukowej
AWF Wrocław
