



Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu  
Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu

**Wiktor Chodor**

**Kształtowanie wydolności fizycznej piłkarzy  
nożnych w oparciu o monitoring powstającego  
w treningu zmęczenia.**

**Rozprawa doktorska**

**Promotor**

**dr hab. Paweł Chmura, prof. AWF Wrocław**

**Promotor pomocniczy**

**dr Agnieszka Jastrzębska**

Wrocław, 2022

„Wytrwałość to wiara.  
Wiara to wytrwałość.  
Sukces to wytrwała realizacja wartościowego celu.”

~Earl Nightingale~

Kochanym Rodzicom za wiarę.

Najdroższym Braciom za radość.

Ukochanej Monice za dobro.

# Spis treści

Wykaz skrótów użytych w pracy doktorskiej .....	4
Streszczenie / Abstract.....	6
<b>1. Wstęp.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1. Charakterystyka gry w piłkę nożną.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2. Kształtowanie zdolności motorycznych w treningu piłki nożnej .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. Trening interwałowy o wysokiej intensywności - HIIT (High Intensity Interval Training) .....</b>	<b>25</b>
<b>1.4. Trening “małe gry” - SSG (Small Sided Games).....</b>	<b>29</b>
<b>1.5. Kontrola i monitoring treningu w piłce nożnej .....</b>	<b>33</b>
<b>1.6. Zmęczenie.....</b>	<b>40</b>
<b>1.7. Cele badań i uzasadnienie.....</b>	<b>44</b>
<b>2. Metody badawcze .....</b>	<b>46</b>
<b>2.1. Osoby badane.....</b>	<b>46</b>
<b>2.2. Procedury badawcze.....</b>	<b>47</b>
<b>2.3. Analiza statystyczna .....</b>	<b>62</b>
<b>3. Wyniki .....</b>	<b>63</b>
<b>3.1. Monitoring – kontrola bieżąca i operacyjna .....</b>	<b>63</b>
3.1.1. RPE – ocena postrzeganego wysiłku .....	63
3.1.2. Arkusz Wellness – dzień potreningowy i RPE – dzień treningowy.....	64
3.1.3. WSR – współczynnik restytucji.....	67
3.1.4. Arkusz wellness i obciążenie treningowe: PL i HRE .....	68
3.1.5. PL – obciążenie zewnętrzne i HRE – obciążenie wewnętrzne. ....	71
<b>3.2. Testy wysiłkowe – kontrola okresowa.....</b>	<b>72</b>
3.2.1. Test progresywny w laboratorium .....	72
3.2.2. Yo-Yo IR1 .....	73
3.2.3. Test szybkości.....	73
3.2.4. Test RAST .....	74
3.2.5. Dynamika restytucji powysiłkowej, na podstawie stężenia mleczanu we krwi. ....	74
<b>4. Dyskusja .....</b>	<b>77</b>
<b>5. Wnioski.....</b>	<b>94</b>
<b>6. Aplikacja Praktyczna .....</b>	<b>95</b>
<b>7. Piśmiennictwo .....</b>	<b>96</b>

## Wykaz skrótów użytych w pracy doktorskiej

- PPB – próg przemian beztlenowych
- HIIT (High Intensity Interval Training) – trening interwałowy o wysokiej intensywności
- SSG (Small Sided Games) – trening „małe gry”
- VO<sub>2</sub> max – maksymalny pobór tlenu
- O<sub>2</sub> – cząsteczka tlenu
- RSA (Repeated Sprint Ability) – zdolność do powtarzanego sprintu
- ATP – adenozy-no-5'-trifosforan
- PCr – fosfokreatyna
- ADP – adenozy-no-5'-difosforan
- H<sup>+</sup> – jon wodoru
- Cr – kreatyna
- RST (Repeated Sprint Training) – trening z powtarzaniem sprintem
- 1RM (One Repetition Maximum) – pojedynczy maksymalny wysiłek
- KZM – koordynacyjne zdolności motoryczne
- HR max – maksymalna częstość skurczów serca
- HR – częstość skurczów serca
- RPE – ocena postrzeganego wysiłku
- La<sup>-</sup> – stężenie mleczanu we krwi
- GPS – system globalnego pozycjonowania
- WSR – współczynnik restytucji
- Yo-Yo IR1 – Intermittent Recovery Test Level 1 – test wydolności fizycznej
- RAST – Running - based Anaerobic Sprint Test – test wydolności fizycznej
- BMI – Body Mass Index – wskaźnik masy ciała
- KON – grupa kontrolna
- PL – Player Load – obciążenie zewnętrzne
- HRE – Heart Rate Exertion – obciążenie wewnętrzne
- VE – wentylacja minutowa płuc
- VCO<sub>2</sub> – objętość wydalanego dwutlenku węgla
- VT – objętość oddechowa
- RQ – współczynnik oddechow
- P<sub>max</sub> – moc maksymalna

$P_{\text{mean}}$  – moc średnia

$P_{\text{min}}$  – moc minimalna

FI – wskaźnik spadku mocy

ES – effect size – wielkość efektu

sen – odczucie jakości snu

zmę. – odczucie zmęczenia

nas. – odczucie nastroju

ból m. – odczucie bólu mięśniowego

str. – odczucie stresu

tr. – dzień treningowy

potr. – dzień potreningowy

HRV – Heart Rate Variability – zmienność rytmu serca

## Streszczenie

Łączenie różnych efektywnych i optymalnych czasowo strategii treningowych, takich jak: trening interwałowy o wysokiej intensywności (HIIT) i trening „małe gry” (SSG), jest bardzo istotne z punktu widzenia trenerów i trenerów przygotowania motorycznego. Pierwszym celem przeprowadzonych badań było określenie zależności pomiędzy powstawaniem zmęczenia a wielkością obciążenia zawodnika podczas treningu HIIT i SSG. Drugim celem była holistyczna ocena efektywności treningu HIIT i SSG, w treningu piłkarzy nożnych. W badaniach wzięło udział 36 piłkarzy nożnych z dwóch drużyn młodzieżowych U - 18, jednego z wiodących klubów piłkarskich z Wrocławia, biorących udział w rozgrywkach ligi makroregionalnej i wojewódzkiej. Zawodnicy zostali losowo przydzieleni do 3 grup badawczych; 2 eksperymentalnych: HIIT i SSG oraz kontrolnej. Założenia eksperymentalnych treningów: - HIIT: 3 serie, 6 x (15s / 15s) - jedna seria / 3 min restytucji po każdej serii, zakładana intensywność: 90-100% HR max. SSG – 3 x 3 + bramkarz + "neutralny"\*: 3 serie (3 min wysiłek – jedna seria / 3 min restytucja, po każdej serii), zakładana intensywność: 90-100% HR max. Treningi były wykonywane 2 razy w tygodniu przez 4 kolejne tygodnie. Monitorowanie treningów odbyło się za pomocą oceny postrzeganego wysiłku (RPE), arkusza wellness, wskaźnika restytucji (WSR), systemu GPS „Catapult Sports”; parametrami obciążenia zewnętrznego (Player Load – PL) oraz wewnętrznego (Heart Rate Exertion – HRE). Przed i po eksperymencie przeprowadzono test progresywny w laboratorium i testy terenowe: Yo-Yo IR1, RAST oraz test szybkości na 30 m. Czas trwania projektu badawczego wyniósł 8 tygodni, w tym 4 tygodnie mezocyklu eksperymentalnego, z dwoma jednostkami treningowymi w mikrocyklu. Głównym wynikiem w grupie HIIT było; dodatnia, wysoka korelacja pomiędzy PL i zmęczeniem ( $r=0,53$ ), w dniu potreningowym; dodatnia, przeciętna korelacja pomiędzy PL i bólem mięśniowym w dniu potreningowym ( $r=0,48$ ). W grupie SSG zarejestrowano dodatnią, wysoką korelację pomiędzy HRE i zmęczeniem ( $r=0,51$ ), w dniu potreningowym. W testach laboratoryjnych i terenowych nie zarejestrowano istotnych statystycznie różnic. Wnioski: 1. Podczas analizy arkusza wellness i obciążenia treningowego, w interwencji HIIT, wykazano, że im wyższe PL, tym większe zmęczenie oraz ból mięśniowy w dniu potreningowym. Natomiast podczas interwencji SSG wykazano, że im wyższe HRE, tym większe zmęczenie w dniu potreningowym. 2. Stwierdzono również, że HIIT i SSG wywoływały podobne fizjologiczne odpowiedzi, ale nie wpłynęły na znaczną poprawę zdolności wysiłkowych aerobowych i anaerobowych, co jest niespójne z dotychczasowym piśmiennictwem. Podsumowując, holistyczne podejście zarówno do monitorowania, jak

i kontroli efektywności procesu treningowego daje trenerom możliwość wielowymiarowego spojrzenia na relację trening – organizm zawodnika. Pokazuje możliwości połączenia prostych metod monitorowania z zaawansowaną technologią. Dzięki temu trenerzy i osoby zaangażowane w szkolenie sportowców mogą skuteczniej optymalizować proces treningowy.

## **Abstract**

Combining a variety of effective and time-optimized training strategies, such as High Intensity Interval Training (HIIT) and Small Sided Games (SSG), is very important for trainers and motor preparation trainers. The first aim of the research was to determine the relationship between the development of fatigue and the player's load during HIIT and SSG training. The second aim was to comprehensively evaluate HIIT and SSG training in the training of football players. The study involved 36 football players from two U-18 youth teams of one of the leading football clubs from Wrocław which participates in the macroregional and provincial league competitions. The players were randomly assigned to 3 research groups; 2 experimental: HIIT and SSG, and 1 control group. Experimental trainings procedure: - HIIT: 3 series, 6 x (15s / 15s) - one series / 3 min restitution after each series, intensity: HR 90-100% max. SSG – 3 x 3 + goalkeeper + "neutral": 3 series (3 min effort – one series / 3 min restitution after each series), intensity: HR 90-100% max. The trainings were performed twice a week for 4 consecutive weeks. The trainings were monitored using Rating Perceived Exertion (RPE), wellness sheet, restitution index (WSR), „Catapult Sports” GPS system, parameters of the external (Player Load - PL) and internal load (Heart Rate Exertion - HRE). The progressive tests as well as field tests: Yo-Yo IR1, RAST and 30 m speed test. The research project took 8 weeks including 4 weeks of an experimental mesocycle with two training units per microcycle. The main findings in HIIT group: positive, high correlation between PL and fatigue ( $r = 0.53$ ) on the post-training day; positive, average correlation between PL and muscle pain on the post-workout day ( $r = 0.48$ ). In the SSG group, there was a positive, high correlation between HRE and fatigue ( $r = 0.51$ ) on the post-training day. There were no statistically significant differences in the laboratory and field tests. Conclusions: 1. When analyzing the wellness and training load sheet during HIIT interventions it was shown that the higher the PL the greater the fatigue and muscle pain on the post-workout day. However, during the SSG intervention, it was shown that the higher the HRE, the greater the fatigue after the training. 2. It was also found that HIIT and SSG induced similar physiological responses but did not significantly improve aerobic and

anaerobic exercise capacity which is inconsistent with previous literature. To sum up, the holistic approach to both monitoring and controlling the effectiveness of the training process gives the trainers the possibility of a multidimensional view on the relation between training and the athlete's body. It demonstrates the possibility of combining simple monitoring methods with advanced technology. As a result, trainers and people involved in training athletes can optimize the training process more effectively.



# 1. Wstęp

## 1.1. Charakterystyka gry w piłkę nożną

Piłka nożna jest najpopularniejszym sportem na świecie, sport ten uprawia 250 milionów graczy w 200 krajach świata. Gra toczy się na trawiastym boisku o wymiarach ok. 105 x 70 m, z bramką na każdym końcu, o wymiarach 7,32 x 2,44 m. W grze biorą udział dwa 11 osobowe zespoły, a podstawowy czas gry to 90 minut – 2 połowy po 45 minut z 15 – minutową przerwą. Celem gry jest umieszczenie piłki w bramce przeciwnika i zdobycie większej ilości goli. Każdy zawodnik zajmuje odpowiednią dla siebie pozycję na boisku, wyznaczoną przez trenera, a są nimi: bramkarz, boczni i środkowi obrońcy, boczni i środkowi pomocnicy oraz napastnik (Żak, 2018; Laursen i Buchheit, 2019). W praktyce jest to bardzo złożona gra, zarówno na poziomie fizycznym, jak i technicznym, ponadto występują interakcje zarówno w drużynie, na różnych pozycjach zajmowanych przez piłkarzy, jak i w bezpośrednim kontakcie z przeciwnikiem (Aguiar i wsp., 2012).

W znacznej większości zapotrzebowanie na energię piłkarza pochodzi ze źródeł tlenowych, ale tę energię można wykorzystać jedynie na czynności o niskiej i umiarkowanej intensywności, takie jak: marsz, trucht, co stanowi ok. 85% czynności wykonywanych przez piłkarza podczas meczu (Dellal i wsp., 2011; Aguiar i wsp., 2012; Koklu i wsp., 2013). Według Haugena i Seilera (2015) około 65-75% pokonywanego dystansu to marsz lub jogging, przy całkowitym pokonywanym dystansie od 10 do 12 km. Natomiast Bradley i wsp. (2009) wykazali średni całkowity pokonywany dystans na poziomie 11 km, przy ok. 4 km jogingu, 3,8 km chodu, 1,7 km biegu i 660 m sprintu. Wyniki analizy ruchu piłkarzy wskazują, że większość działań jest wykonywana z niską intensywnością (jogging, chodzenie i cofanie się). Również Andrzejewski i wsp. (2016) w badaniach wykazali, że średni całkowity dystans pokonany z niską i średnią intensywnością przez zawodnika podczas meczu można podzielić na: chodzenie (38,9%) i przemieszczanie się z niską intensywnością (29,5%). Potwierdza to również Cometti (2002), według którego większość akcji piłkarze wykonują z niską (40%) i średnią (20%) intensywnością, a 35% czasu gry to odpoczynek.

W dostarczaniu energii do tego typu wysiłku dominują źródła tlenowe, system ten nazywany jest fosforylacją oksydacyjną (Andrade i wsp., 2015; Kunz i wsp., 2019). Największy udział mają w nim tłuszcze, które zapewniają dużą część energii zużywanej podczas dłuższych, mniej intensywnych ćwiczeń. Zapasy potencjalnej energii w postaci tłuszczu są znacznie

większe niż rezerwy węglowodanów, zarówno pod względem masy, jak i dostępności energii. Znacząco więcej energii pochodzi z rozkładu grama tłuszczu (9,4 kcal/g), niż z tej samej ilości węglowodanów (4,1 kcal/g). Niemniej jednak tempo uwalniania energii z tłuszczu jest zbyt wolne, aby sprostać wszystkim wymaganiom energetycznym intensywnej aktywności mięśniowej (Reuter, 2012; Kenney i wsp., 2015). Substraty energetyczne potrzebne do wykonania czynności o niskiej intensywności uzyskiwane są przez katabolizm tłuszczu i w mniejszym stopniu aminokwasów. Trójglicerydy przechowywane w komórkach tkanki tłuszczowej organizmu, a także w mięśniach, tworzą substraty do utleniania wolnych kwasów tłuszczowych. Trójglicerydy są rozkładane przez enzymy lipazy w procesie znanym jako lipoliza do glicerolu i wolnych kwasów tłuszczowych, które są wykorzystywane jako główny substrat energetyczny przez pracujące mięśnie w wysiłkach o niskiej intensywności (Górski, 2006; Reilly, 2007; Zatoń, Michalik, 2015).

Czynności o umiarkowanej intensywności w piłce nożnej, postrzegane są następująco: bieg ze zmianą kierunku, bieg między 13 a 16 km/h (13,3% całkowitego dystansu) (Andrzejewski i wsp., 2016), bieg między 11-14 km/h (13,4-16,3%) (Di Salvo i wsp., 2007), bieg <12 km/h (ok. 70%) (Djaoui i wsp., 2014), jogging (7,2–14,3 km/h), bieg (14,4–19,7 km/h) (Bradley i wsp., 2009). Podczas tych czynności mogą być wykonywane specyficzne dla piłki nożnej zadania, takie, jak ustawienie taktyczne, czy przesuwanie formacji zawodników. Podczas wyżej wymienionych czynności wykorzystywane są wcześniej wymienione źródła tlenowe oraz glikogen, który jest formą magazynowania węglowodanów w organizmie i jest wykorzystywany w procesie glikolizy. Jest on potrzebny do wykonywania czynności o umiarkowanej i wysokiej intensywności. Wzrost intensywności wysiłku ponad próg przemian beztlenowych (PPB) powoduje, że znaczenie glikogenu jako substratu energetycznego wzrasta.

W grze występuje bardzo duża acykliczność; jak wynika z badań, piłkarze wykonują ok. 1200 różnych i nieprzewidywalnych zmian aktywności, w czasie trwania od 3 do 5 s (Dellal i wsp., 2011; Aguiar i wsp., 2012; Koklu i wsp., 2013). Do tych aktywności należą m.in. sprinty, wyskoki, zmiany kierunku biegu, kontrolowanie piłki pod presją, wślizgi, drybling, bieg ze zmianą prędkości (Hill-Hass i wsp., 2011; Badin i wsp., 2016; Arslan i wsp., 2017). Zawodowi gracze wykonują, aż do 250 krótkich akcji o wysokiej intensywności podczas meczu, osiągając maksymalne stężenie mleczanu we krwi na poziomie 10–14 mmol/l, co świadczy o wysokich wymaganiach beztlenowych tej dyscypliny (Bangsbo i wsp., 2006; Bradley i wsp., 2011; Ade i wsp., 2014). Wysoka i maksymalna intensywność, to bieg między 19 km/h, a 23 km/h (8,4% całkowitego pokonanego dystansu) i sprint >23 km/h (9,8% całkowitego pokonanego dystansu)

(Barros i wsp., 2007; Andrzejewski i wsp., 2016). Wysiłki maksymalne stanowią tylko 5% ogólnego czasu gry (Cometti, 2002), a substraty do ich wykonania wyczerpują się stosunkowo szybko. Pochodzą głównie z przemian beztlenowych i są nimi fosfokreatyna i glikogen mięśniowy. Aby je odbudować należy zapewnić odpowiednio długą przerwę pomiędzy wysiłkami (Reilly, 2007).

Zdolność do wykonywania przerywanych wysiłków o wysokiej intensywności ma ogromne znaczenie, ponieważ w dużym stopniu wpływa na wynik sportowy (Buchheit i Laursen, 2013; Chmura i Chmura, 2018; Kalinowski i wsp., 2019), skraca czas regeneracji powysiłkowej (Rabbani i Buchheit, 2016) i zmniejsza ryzyko kontuzji (Nedelec i wsp., 2012). Chmura i wsp. (2017) zauważyli, że dystans przebiegany z dużą intensywnością na poziomie 10% całkowitego pokonywanego dystansu, podczas meczów na Mistrzostwach Świata FIFA 2014, miał znaczący wpływ na wygraną w turnieju przez drużynę narodową Niemiec. Znaczenie sprinterskiej aktywności wykazują również Konefał i wsp. (2019), podkreślając, że zwiększona średnia prędkość biegu w drugiej połowie meczu jest najbardziej znaczącą zmienną wpływającą na wynik meczu. Tylko o 0,1 km/h większa prędkość biegu daje 27% większe szanse na wygraną napastników, 15% bocznych pomocników i 10% środkowych pomocników. Sprint jest jednym z najważniejszych działań w piłce nożnej, choć stanowi od 1 do 12% średniej całkowitego dystansu pokonanego przez gracza podczas meczu, tj. tylko od 0,5 do 3% czasu gry. Podczas meczu mistrzowskiego gracze wykonują 2-4-sekundowe sprinty, średnio co 90-180 sekund (Andrzejewski i wsp., 2017). Dla udanej rywalizacji, rozwój prędkości, zwinności i siły jest kluczowy w nowoczesnej piłce nożnej (Bujnovsky i wsp., 2019).

Na przestrzeni lat piłka nożna ewoluowała, w latach 60-tych ubiegłego wieku, trenerzy koncentrowali się na rozwoju umiejętności technicznych piłkarzy. W kolejnych dekadach (lata 70-te i 80-te), zwracano uwagę na przygotowanie fizyczne, a w latach 90-tych, próbowano osiągać sukces dzięki taktyce lepszej od przeciwnika. Lata 2000-czne to gra „inteligentna” (Duda, 2014). Wykazano, że czynniki techniczne zamiast fizycznych lepiej różnicują standardy rywalizacji w elitarnej piłce nożnej (Bradley i wsp., 2013). W dzisiejszych czasach gra w piłkę nożną jest o wiele bardziej intensywna. Przejawia się to większą liczbą sprintów, większym dystansem pokonanym podczas sprintów, większą maksymalną prędkością biegu oraz większą liczbą podań (Barnes i wsp., 2014; Wallace i Norton, 2014; Konefał i wsp., 2019). Ponadto stwierdzono, że istnieje duży wpływ częstości uderzeń do bramki w odniesieniu do różnych faz meczu (Konefał i wsp., 2019). Tylko na przestrzeni nieco ponad dekady, zawodnicy zaczęli pokonywać o ok. 30% większe dystanse, biegając powyżej progu wysokiej intensywności tj. ok. 15 km/h (Andrzejewski i wsp., 2017). Analiza gry ujawniła również odwrotną zależność

między posiadaniem piłki a pokonanym dystansem (Barnes i wsp., 2014). Oznacza to, że gorsze umiejętności techniczne muszą zostać zrekomensowane większą pracą fizyczną. Natomiast zespoły z wysokimi umiejętnościami technicznymi mogą wykonać względnie mniej pracy podczas gry niż ich przeciwnicy. To właśnie krótkie wysiłki maksymalne, obok umiejętności technicznych decydują o wyniku w sportach zespołowych. Na bazie doskonałego przygotowania motorycznego, wysokiej wydolności, zawodnik efektywniej wykonuje działania zarówno bez piłki, jak i z piłką, szybciej decyduje i podejmuje lepsze decyzje. Oprócz dobrego przygotowania motorycznego, umiejętności techniczne, taktyczne oraz mentalność stanowią 4 podstawowe aspekty treningu w grach zespołowych (Barnes i wsp., 2014).

W niniejszej rozprawie została określona zależność pomiędzy powstawaniem zmęczenia a wielkością obciążenia zawodnika podczas treningu interwałowego o wysokiej intensywności (HIIT - High Intensity Interval Training) i treningu „Małe gry” (SSG - Small Sided Games) oraz dokonano holistycznej oceny efektywności treningu SSG i treningu HIIT w treningu piłkarzy nożnych. Wykazano, że HIIT jako skuteczna i oszczędna czasowo metoda podnosi maksymalny pobór tlenu ( $VO_2$  max) oraz zdolności do przerywanych wysiłków piłkarzy (Helgerud i wsp., 2001; Impellizzeri i wsp., 2006; Buchheit i Rabbani, 2014; Rabbani i wsp., 2019). Natomiast SSG są wykorzystywane w elitarnej piłce nożnej jako środek treningowy służący poprawie umiejętności gracza, na poziomie technicznym, taktycznym i fizycznym. Ich popularność opiera się na założeniu, że elementy te, są trenowane jednocześnie (Halouani i wsp., 2014; Davids i wsp., 2013; Dellal i wsp., 2012). Łączenie różnych strategii treningowych jest bardzo istotne z punktu widzenia trenerów i trenerów przygotowania motorycznego, dlatego też wyniki przeprowadzonych badań dostarczą informacji o wybranych interwencjach treningowych oraz spodziewanych efektach w ściśle określonym czasie.

## **1.2. Kształtowanie zdolności motorycznych w treningu piłki nożnej**

We współczesnym sporcie, w tym w piłce nożnej ważne jest zrozumienie specyficznych wymagań fizjologicznych w celu poprawy wydolności i zapobiegania kontuzjom. Duże znaczenie mają odpowiednio zaprojektowane plany treningowe przed i po sezonie, aby sportowcy byli dobrze przygotowani do sezonu. Jest to szczególnie ważne w przypadku młodzieży (Bowen i wsp., 2017). Zadaniem trenerów jest wdrażanie określonych obciążeń treningowych, tak aby przekraczać granice obecnych możliwości, prowadząc do adaptacji organizmu, do co raz to wyższych obciążeń treningowych i startowych (Ehrmann i wsp., 2016; Bowen i wsp., 2017).

Plan treningowy powinien zachować odpowiednią równowagę między treningiem, zawodami i regeneracją, co pozwoli osiągnąć jak najwyższą wydajność przy jak najmniejszym ryzyku kontuzji (Arazi i wsp., 2020). Ponadto odpowiednie przygotowanie piłkarzy przed sezonem startowym wpływa w dużym stopniu na praktyczne wdrożenie umiejętności taktycznych i technicznych zawodników podczas meczów (Mizera i Mizera, 2012). Właściwy wybór strategii i technologii treningowych w przygotowaniu zawodników jest możliwy tylko wtedy, gdy struktura i charakter wysiłku zawodników dopasowują się do siebie, a wydatek energetyczny poszczególnych czynności motorycznych jest znany (Di Salvo i wsp., 2006; Carling i wsp., 2008; Di Salvo i wsp., 2010; Andrzejewski i wsp., 2012; Vigne i wsp., 2013). Brak takich informacji uniemożliwia zastosowanie obciążeń o optymalnym charakterze, objętości i intensywności w celu rozwinięcia zdolności motorycznych, właściwych dla piłki nożnej. Tylko obciążenia specyficzne dla gry mają pozytywny wpływ na zmiany strukturalne i funkcjonalne gracza, i zapewniają rozwój umiejętności motorycznych właściwych dla tego sportu (Dellal i wsp., 2010; Andrzejewski i wsp., 2016). Kolejnym aspektem jest stopniowe zwiększanie obciążenia treningowego poprzez periodyzację ćwiczeń, modyfikowanie obciążenia treningowego, zmiany intensywności i objętości, tak aby unikać monotonii podczas treningu.

W piśmiennictwie można znaleźć bardzo wiele definicji pojęcia „motoryczność”. Często w pracach naukowych określana jest jako całość czynności ruchowych człowieka, a więc to wszystko, co dotyczy przemieszczania się człowieka w przestrzeni na skutek zmian położenia całego ciała lub jego części względem siebie (Mynarski i Raczek 1986). Główne cele związane z motorycznością obejmują dążenie do zwiększenia skuteczności ruchów człowieka oraz podniesienie efektywności nauczania ruchu. Wszystkie zdolności można kształtować

i doskonalić, ponieważ zależą one w dużej mierze od działalności człowieka. Dodatkowo, niektóre z nich są łatwiejsze do wyćwiczenia w zależności od określonego typu budowy ciała. Raczek i Mynarski (1986) podzielili umiejętności motoryczne na dwie grupy: zdolności kondycyjne (energetyczne) i koordynacyjne (informacyjne). Zdolności kondycyjne są związane z właściwościami strukturalnymi i energetycznymi, czyli są zależne od przemian biochemicznych zachodzących w mięśniach. Należą do nich zdolności wytrzymałościowe, szybkościowe, siłowe, zwinnościowe i kompleksowe. Zdolności koordynacyjne natomiast są związane ze zdolnościami sterowania ruchem, czyli z precyzyjnym wykonaniem ruchu, łączeniem poszczególnych sekwencji ruchu w coraz bardziej skomplikowane i złożone akty ruchowe. Takim aktem ruchowym jest np. technika dyscypliny sportowej. Zdolności koordynacyjne to łączenie, różnicowanie, równowaga, orientacja, rytmizacja, szybkość reakcji i dostosowania. Ponadto Szopa (2000) wymienia predyspozycje, czyli możliwości osobnicze jednostki, w dużej mierze przekazywane genetycznie. Autor podzielił je na 4 kategorie:

1. morfologiczno - strukturalne; parametry somatyczne - proporcje ciała, struktura i masa mięśni, ruchomość stawów, masa tłuszczowa, masa ciała szczupłego, gibkość;
2. energetyczne: beztlenowe; maksymalna moc anaerobowa kwasomlekowa i niekwasomlekowa, tlenowe; zdolność maksymalnego pochłaniania tlenu, odporność na zmęczenie / próg przemian beztlenowych;
3. koordynacyjne; koordynacja nerwowo-mięśniowa (wzrokowo - ruchowa), orientacja przestrzenna, równowaga, czas reakcji, antycypacja itp.;
4. psychiczne: temperament, siła woli, odwaga, motywacja itp.

Pomimo, iż większość predyspozycji uwarunkowana jest genetycznie, w dużej mierze podlegają one wytrenowaniu, w związku z tym można je kształtować zgodnie z założeniami. Na predyspozycje zdolności wytrzymałościowych wpływają: struktura mięśni oraz  $VO_2$  max. Głównymi czynnikami warunkującymi predyspozycje szybkościowe są: struktura mięśni, moc maksymalna anaerobowa oraz koordynacja nerwowo – mięśniowa. Predyspozycje zdolności siłowych zależą od: beztłuszczowej masy ciała, struktury mięśni i proporcji ciała. Natomiast zdolności koordynacyjne zależne są od: gibkości, koordynacji nerwowo – mięśniowej, uzdolnień ruchowych, równowagi, czasu reakcji, czucia kinestetycznego i częstości ruchów (Szopa i wsp., 2000).

Wytrzymałość jest ważnym składnikiem sprawności fizycznej, podczas gier lub długotrwałych ćwiczeń. Sportowcy częściej popełniają błędy i stosują techniki, które mogą prowadzić do kontuzji, gdy pojawia się zmęczenie i obniża poziom koordynacji (Hoff i Helgerud, 2004; Engel i wsp., 2018). Wytrzymałość ogólna stanowi podstawę do

kształtowania innych zdolności motorycznych. Natomiast drugim elementem jest wytrzymałość ukierunkowana, kształtująca zdolności techniczno – taktyczne, mająca na celu przystosowanie organizmu do wykonywania ściśle określonych wysiłków startowych, takich, jak zdolność do powtarzanych sprintów. Wytrzymałość można podzielić również na: specjalną, która nawiązuje do utrzymywania specyficznego obciążenia w określonym czasie dla konkretnej dyscypliny sportowej. W przypadku piłki nożnej jest to stosowanie ćwiczeń z piłkami, które utrwalają umiejętności techniczne. Sprawność wytrzymałościowa jest przede wszystkim funkcją układu krążenia, transportującego tlen i wykorzystania go przez pracujące tkanki. Natomiast trening wytrzymałościowy ma na celu poprawę wydolności tlenowej, przy czym najbardziej wyraźne efekty występują w układzie krążenia, układzie oddechowym i zaangażowanych mięśniach szkieletowych, co stanowi fundament pod wysoką i stabilną formę sportową w okresie startowym. Maksymalny pobór tlenu będąc przejawem zintegrowanej zdolności układu płucnego, sercowo-naczyniowego i mięśni do odpowiedniego wychwytu, transportu i wykorzystania  $O_2$ , stanowi kluczowy element sukcesu w wielu dyscyplinach sportowych (Helgerud i wsp., 2001; Narazaki i wsp., 2009; Ben Abdelkrim i wsp., 2010; Smirmaul i wsp., 2013). Wzrost  $VO_2$  max o 25% jest uważany za bardzo wysoki efekt treningowy, może także przynieść korzyść piłkarzowi, umożliwiając wykonywanie większej ilości aktywności bez piłki oraz szybszą regenerację po aktywności o wysokiej intensywności (Reilly, 2007).

Kształtowanie wytrzymałości polega na wielokrotnym doprowadzaniu organizmu do optymalnego poziomu zmęczenia, co poprzez cykl mechanizmów adaptacyjnych (praca – zmęczenie – kompensacja – superkompensacja), łącznie z efektem adaptacji psychicznej prowadzi do podwyższenia poziomu tej zdolności (Jaskólski, 2006; Fortuna, 2008). Wydajność aerobowa zależy od trzech ważnych elementów:  $VO_2$  max, progu przemian beztlenowych i ekonomizacji pracy (Hoff i wsp., 2002). Trening wytrzymałości prowadzi do przesunięcia progu przemian beztlenowych w kierunku wyższych obciążeń oraz wzrostu wartości  $VO_2$  max. W kształtowaniu wytrzymałości, obok czasu trwania treningu, intensywności i częstości, ważnym czynnikiem jest jego charakter. Zarówno trening ciągły, jak i interwałowy, dają zbliżone zmiany w odniesieniu do PPB. Najlepsze efekty wzrostu wytrzymałości osiąga się stosując trening o intensywności indywidualnego PPB, definiowanego jako wielkość obciążenia, przy którym występuje stan równowagi między dyfuzją mleczanu do krwi, a jego maksymalną eliminacją z mięśni i krwi. Przesunięcie progu przemian beztlenowych w prawo oznacza, że wielkość pracy, jaką badany może wykonać bez akumulacji mleczanu, jest

w treningu wyższa. Ponadto zapobiega rozwojowi kwasicy metabolicznej i zaburzeniom w równowadze kwasowo-zasadowej, a więc czynnikiem limitującym zdolność do wykonania pracy (zmęczeniu) (Górski, 2006).

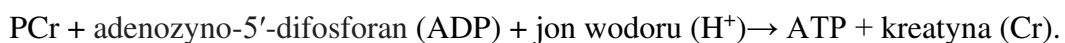
Trening wytrzymałości przekłada się na zwiększenie całkowitego pokonanego dystansu oraz dystansu pokonanego w poszczególnych zakresach intensywności podczas meczu, a to jest jednym z wyznaczników wydajności piłkarza (Chmura i wsp., 2017). Drugim ważnym aspektem treningu wytrzymałości i związanego z nim rozwoju zdolności tlenowych zawodnika jest przyspieszenie regeneracji między wysiłkami o wysokiej intensywności. W związku z tym, trenerzy powinni w szczególny sposób optymalizować rozwój danego systemu energetycznego, w zależności od pożądanego efektu kształtowania określonych zdolności fizycznych (Dolci i wsp., 2020). Chociaż występowanie aktywności o niskiej intensywności podczas gry meczowej powoduje większą zależność od metabolizmu tlenowego, należy pamiętać, że jest ona często przeplatana aktywnościami o wysokiej intensywności (Dellal i wsp., 2011), które są decydującymi momentami gry (Owen i wsp., 2012).

Kolejną podstawową zdolnością motoryczną jest szybkość, a powtarzane sprinty często występują podczas meczów piłki nożnej. Rampinini i wsp., (2007) wykazali, że zdolność do wielokrotnego sprintu (RSA – Repeated Sprint Ability), u wysokiej klasy piłkarzy odnosi się do ważnych miar wydajności fizycznej podczas meczu, takich jak pokonany dystans podczas bardzo intensywnego biegu. Należy nadmienić, iż różni autorzy wskazują nieco inny próg prędkości wyznaczający sprint. Dolci i wsp. (2020), Chmura i wsp. (2017) oraz Bradley i wsp. (2009) charakteryzują tę zdolność >25 km/h, Andrzejewski i wsp. (2017) >24 km/h, Barros i wsp. (2007) >23 km/h. Te niewielkie różnice mogą być spowodowane stosowaniem różnych systemów analitycznych oraz stale rosnących wymagań w przygotowaniu motorycznym zawodnika. Ponadto szybkość wiąże się z pojęciem mocy maksymalnej, określanej jako największa moc możliwa do osiągnięcia w jak najkrótszym czasie, w czasie trwania wysiłku. Duży wpływ na wartość osiągniętej mocy mają takie czynniki, jak: koordynacja nerwowo-mięśniowa, stosunek włókien typu IIX do I, stan energetyczny mięśnia, temperatura wewnątrzmięśniowa, szybkość skracania mięśnia oraz jego siła izometryczna. W składzie mięśni szkieletowych człowieka wyróżniamy następujące typy włókien mięśniowych: typ I, IIA, IIX, których szybkość skracania się jest bardzo zróżnicowana, co przekłada się na osiągnięte wartości mocy maksymalnej. Włókna typu IIX osiągają około 10-krotnie wyższą moc niż włókna typu I. Kolejnym wspomnianym czynnikiem wpływającym na moc maksymalną jest siła izometryczna mięśni, ta natomiast w głównej mierze zależy od przekroju poprzecznego



mięśnia, który rozbudowywany jest poprzez trening siłowy. Następnym istotnym aspektem mającym wpływ na wielkość generowanej mocy maksymalnej jest temperatura mięśni (Frikha i wsp., 2020). W wyniku jej wzrostu włókna typu I nabierają cech włókien szybko kurczliwych, a ich szybkość skracania się, rośnie, co jest skutkiem przyspieszenia przemian metabolicznych (Chaari i wsp., 2014). Ponadto wzrost temperatury wewnątrzmięśniowej zwiększa elastyczność, kurczliwość i rozciągliwość mięśni oraz przeciwdziała kontuzjom. W wyniku prawidłowej rozgrzewki temperatura wewnątrzmięśniowa wzrasta o 3-4°C, co podnosi efektywność mięśnia o 15-20% (Górski, 2006; Frikha i wsp., 2020). Ponadto czynnikami wpływającymi na zdolności sprinterskie są również: długość i częstość kroku, masa mięśniowa oraz siła (Hicks, 2017). Należy również rozróżnić dwa ważne pojęcia związane z prędkością biegu – prędkość maksymalna i przyspieszenie, które zależą od siły i mocy mięśni. Biorąc pod uwagę przeważnie krótkie dystanse pokonywane sprintem w piłce nożnej, zwykle poniżej 10 metrów, często ważniejsza jest możliwość osiągnięcia dużej prędkości w jak najkrótszym czasie – innymi słowy, szybkiego przyspieszenia. Przyspieszenie to szybkość zmiany prędkości, tj., jak szybko gracz może zwiększyć swoją prędkość – jest to kluczowy aspekt w piłce nożnej (Bate i Jeffreys, 2015).

Podczas wysiłków krótkotrwałych o mocy maksymalnej, beztlenowe reakcje energetyczne są głównym źródłem resyntezy adenozyno-5'-trifosforanu (ATP). Należą do nich reakcje: kinazy kreatynowej, miokinazy i glikolizy (Górski, 2006). Gdy zasoby ATP zostają wyczerpane w ciągu 3 s od rozpoczęcia maksymalnego wysiłku, należy odbudować źródło energii, by móc kontynuować wysiłek. ATP może zostać odbudowane dzięki fosfokreatynie (PCr) zmagazynowanej w mięśniach rozkładanej przez kinazę kreatynową, co pozwala na kontynuację aktywności mięśni:



Gdy okres regeneracji między czynnościami o wysokiej intensywności jest zbyt krótki lub jeśli wykonywane są kolejne sprinty, zapasy PCr mogą zostać zredukowane do bardzo niskich poziomów. Wtedy kolejnym dostępnym źródłem energii jest beztlenowy rozkład glikogenu magazynowanego w mięśniach. Natomiast beztlenowa degradacja glikogenu powoduje wzrost kwasu mlekowego w mięśniach, który powoli dyfunduje do krwi powodując powstawanie zmęczenia obwodowego (Spencer i wsp., 2005; Reilly, 2007; Kenney i wsp., 2015; Dolci i wsp., 2020). W zależności od tego jaka forma treningu zostanie wybrana, efekty mogą być różne, ze względu na różne odpowiedzi metaboliczne (tj. zdolności oksydacyjne, odzyskiwanie PCr i buforowanie H<sup>+</sup>), nerwowo-mięśniowe (tj. strategię aktywacji i rekrutacji

jednostek motorycznych) oraz mechaniczne determinanty zdolności do powtarzanych sprintów (Spencer i wsp., 2005).

Kształtowanie szybkości powinno obejmować treningi sprinterskie, treningi siłowe oraz treningi mocy (Bishop i wsp., 2011). Do głównych celów należą: poprawa wydajności pojedynczego sprintu; poprawa tempa rozwoju siły i mocy maksymalnej uzyskanej podczas krótkich, szybkich ruchów. Kolejnym celem jest poprawa prędkości biegu na krótkich dystansach oraz zwiększenie dostarczania energii beztlenowej. Tak aby można było kontynuować sprint dłużej i poprawić zdolność wykonywania powtarzających się sprintów, umożliwiając graczowi szybkie odzyskanie sił po intensywnym wysiłku. Wyznacznikiem właściwej metodyki kształtowania szybkości jest przestrzeganie następujących zasad treningu: ćwiczenia powinny być wykonywane z intensywnością maksymalną (100% możliwości) lub submaksymalną (80-95%). Czas trwania pojedynczych powtórzeń nie powinien przekraczać 8-10 s., a czas przerw wypoczynkowych powinien zapewnić pełną odbudowę fosfokreatyny i regenerację. Wyraźne oznaki zmęczenia są sygnałem do zakończenia treningu szybkościowego. Liczba powtórzeń i serii powinna być taka, by ćwiczący osiągał zakładaną intensywność pracy (Fortuna, 2008; Kenney i wsp., 2015; Laursen i Buchheit, 2019). Jest to podstawa do modyfikacji treningu i dotyczy to głównie treningu metodą powtórzeniową, natomiast stosując metodę interwałową, zazwyczaj wykonuje się kolejne wysiłki podczas narastającego zmęczenia, aby przyzwycząić organizm do pracy przy co raz wyższym zmęczeniu. Przed przystąpieniem do treningu szybkości należy pamiętać o wcześniejszym opanowaniu poprawnej techniki biegu. Istnieje wiele metod kształtowania szybkości w piłce nożnej: trening z powtarzaniem sprintem (RST – Repeated Sprint Training), (Bishop i wsp., 2011; Fernandez i wsp., 2012; Eniseler i wsp., 2017); trening interwałowy ze sprintem (SIT – Sprint Interval Training), (Gibala i wsp., 2006); trening interwałowy o wysokiej intensywności (HIIT – High Intensity Interval Training), (Edge i wsp., 2005; Bravo i wsp., 2008) i trening SSG (Jensen i wsp., 2007; Katis i Kellis, 2009; Hill-Haas i wsp., 2009; Buchheit i wsp., 2009; Laursen i Buchheit, 2019). Ponadto w teorii treningu sportowego definiuje się zdolność do wykonywania wielokrotnych sprintów (<10 s), z krótkimi przerwami na regenerację (<60 s) (RSA – Repeated Sprint Ability) (Haugen i Seiler, 2015, Chmura i wsp., 2018). Zdolność ta jest zatem ważnym wymogiem sprawnościowym w sportach drużynowych. Jej poprawa powinna skutkować większą wydajnością fizyczną w piłce nożnej (Bishop i wsp., 2011). Dlatego, by poprawić sprint piłkarze powinni często używać wzorców ruchowych,

intensywności i pozycji przypominających te osiągnięte podczas maksymalnego sprintu w piłce nożnej (Murray i wsp., 2005; Bondarchuk, 2007).

Liczba, długość i częstość wykonywanych sprintów oraz maksymalna prędkość biegu to zdolności wpływające na skuteczność meczową zawodników (Chmura i wsp., 2017; Arslan i wsp., 2020; Dolci i wsp., 2020). Trzeba jednak pamiętać, że w piłce nożnej aspekty szybkościowe są ściśle związane ze specyficznymi zadaniami wykonywanymi przez zawodników: atakowanie, bronienie, zmiana formacji, pojedynki 1 x 1. W rezultacie rozwijanie zdolności graczy do skutecznego wykonywania takich działań podczas poruszania się z dużą prędkością powinno również stanowić ważną część programu rozwoju szybkości w piłce nożnej. Ponadto przyspieszenie i bieg z maksymalną prędkością są wykonywane w odpowiedzi na samą grę, co może wymagać od zawodników przyspieszenia w dowolnym kierunku, w dowolnym momencie. Aby sprostać temu wymaganiu, gracze muszą być w stanie „czytać” i reagować na grę przez cały czas z odpowiednim poziomem prędkości. W jednym z badań Faude i wsp. (2013) zaobserwowali, że 83% wszystkich zdobytych bramek wymagało co najmniej jednej eksplozywnej akcji (takiej jak rotacja, sprint lub zmiana kierunku sprintu), co sugeruje, że wysiłki o wysokiej intensywności, mają zasadnicze znaczenie w ustalaniu celów treningowych. Dellal i wsp. (2011) twierdzą, że gwałtowne przyspieszenie - zdolność do zwiększania prędkości na pokonywanym dystansie i osiągnięcia prędkości szczytowej są jednymi z kluczowych elementów wpływających na skuteczność zawodników podczas meczu piłki nożnej. Szczególnie, że w drugiej połowie meczu odnotowuje się spadek ilości podejmowanych przez zawodników przyspieszeń i sprintów (Kołodziejczyk i wsp., 2022). Ponadto istotną rolę odgrywają wyhamowania, pozwalające na zmianę aktywności, na taką jak; zwody, drybling, zmiana kierunku biegu czy przytrzymanie piłki (Bujnovsky i wsp., 2019; Dolci i wsp., 2020). Warto zwrócić uwagę na to, iż zazwyczaj szybkość kojarzona jest z właściwością lokomocji, natomiast jest to również ważny aspekt w wymiarze poznawczym. Szybkość reakcji, podejmowania decyzji i antycypacji jest równie ważna i kluczowa, ponieważ zdolności te wpływają bezpośrednio na podejmowane działania. Ten wymóg dotyczący jakości ruchu – nie tylko prędkości – kładzie nacisk na aspekty wydajności, które tradycyjnie kojarzone są z terminem koordynacji i zwinności (Bate i Jeffreys, 2015).

Następnymi z podstawowych zdolności motorycznych człowieka są zdolności siłowe. W literaturze można znaleźć kilka rodzajów pojęcia siły. Absolutna siła mięśniowa, rozumiana jako maksymalny poziom siły zawodnika, możliwy do rozwinięcia w dowolnym ćwiczeniu. Względna siła mięśniowa, wyznaczana jest w stosunku do masy ciała, z kolei siła eksplozywna,

definiowana jest jako poziom siły dynamicznej uzyskanej na drodze maksymalnego przyspieszenia (Sozański, 1999). Siła izometryczna, to poziom siły uzyskany podczas pracy statycznej. Siła koncentryczna określa poziom siły uzyskany w trakcie pracy typu auksotonicznego, kiedy ruch ma charakter dynamiczny, podczas gdy przyczepy pracującego mięśnia przybliżają się do siebie, skracając jego długość. Natomiast siła ekscentryczna to poziom siły uzyskany w trakcie pracy typu auksotonicznego, kiedy ruch ma charakter dynamiczny, podczas gdy przyczepy pracującego mięśnia oddalają się od siebie, wydłużając mięsień (Sozański, 1999).

Odpowiednia siła mięśniowa umożliwia pełne i efektywne uczestnictwo podczas aktywności fizycznej i jest ważnym czynnikiem umożliwiającym rozwój umiejętności ruchowych. Piłka nożna staje się coraz bardziej atletyczna, zawodnicy potrzebują siły i mocy do wygrania pojedynku w biegu, skoku lub przechwycenia piłki przed przeciwnikiem. Oprócz poprawy poziomu ogólnej sprawności fizycznej, jedną z głównych zalet dobrze wytrenowanych mięśni jest zapobieganie kontuzjom. Podczas gry występuje wiele eksplozywnych czynności i nagłych hamowań, co powoduje duże obciążenia w układzie mięśniowo – szkieletowym. Silne mięśnie pozwalają niwelować ryzyko uszkodzenia aparatu ruchu podczas wysiłku (Meier, 2007; Hammami i wsp., 2017). Wykazano pozytywny wpływ treningu siłowego na miary wydajności sportowej, takie jak sprint, zwinność, skoczność i prędkość uderzenia piłki (Hammami i wsp., 2018; Ferley i wsp., 2020).

Siła najczęściej określana jest jako zdolność do pokonywania oporu zewnętrznego lub przeciwdziałania mu, kosztem wysiłku mięśniowego. Właściwa metodyka treningu siły uwzględnia racjonalny dobór metod, form i środków pracy, przy uwzględnieniu perspektywicznego celu szkolenia oraz aktualnych możliwości psychofizycznych ćwiczących osób (Fortuna 2008, Maszczyk i wsp., 2020). Ważnym elementem przyrostów siły, które wynikają z treningu oporowego, szczególnie we wczesnych stadiach, są adaptacje neuronowe. Przyrost siły można osiągnąć bez zmian strukturalnych w mięśniach, ale nie bez adaptacji neuronowych. Tak więc siła nie jest wyłącznie właściwością mięśni, ale przede wszystkim właściwością układu nerwowego. Rekrutacja jednostek motorycznych oraz lepsza ich synchronizacja podczas określonego ruchu i inne czynniki neuronowe są bardzo ważne dla przyrostów siły. Czynniki neuronalne mogą dobrze tłumaczyć większość, jeśli nie wszystkie przyrosty siły występujące bez przyrostu masy mięśniowej (Kenney i wsp., 2015). W początkowym okresie treningu wzrost siły skurczu mięśni osiągnany jest dzięki poprawieniu sprawności działania układu nerwowego, m.in. poprzez aktywację większej liczby jednostek

motorycznych, a następnie dzięki zmianom zachodzącym w mięśniach, w tym przede wszystkim wiążących się z ich przerostem (hipertrofią). Trening siły powoduje znaczący wzrost średnicy włókien mięśniowych, a przez to również wzrost masy mięśniowej i siły skurczu mięśni. Wzrost średnicy włókien mięśniowych dotyczy zwłaszcza włókien szybkokurczliwych. Trening siły powoduje zwiększenie potencjału beztlenowego, powiązane ze wzrostem aktywności enzymów metabolizmu beztlenowego, spadek poziomu mioglobiny oraz wywołuje pewną poprawę odporności na zmęczenie i rozbudowę unaczynienia kapilarnego włókien mięśniowych. Skurcze o charakterze wysiłku izometrycznego oraz ekscentrycznego powodują większy przyrost masy mięśniowej niż skurcze izotoniczne oraz koncentryczne – te z kolei poprawiają siłę eksplozywną mięśni (Górski, 2006; Reilly, 2007).

Siłę mięśni zwiększa się poprzez działanie przeciw oporowi. Intensywność treningu oporowego można regulować za pomocą określenia pojedynczego maksymalnego wysiłku (1RM – One Repetition Maximum). Zasadniczo 1RM danej osoby na określone ćwiczenie to maksymalny ciężar, jaki może ona podnieść, nie więcej niż jedno pełne powtórzenie przy zachowaniu prawidłowej techniki. Test 1RM jest ważnym narzędziem, ponieważ pozwala ustalić bazę, której można użyć do określenia kolejnych intensywności ćwiczeń i obciążeń treningowych (Brown, 2017). Intensywność ćwiczenia lub poziom siły wymagany przez aktywny mięsień określa rodzaj i liczba rekrutowanych jednostek motorycznych. Tylko kilka jednostek motorycznych jest aktywowanych, gdy wymagana jest niska siła i są one zwykle związane z wolnokurczliwymi włóknami mięśniowymi. Przy umiarkowanej intensywności rekrutowane są włókna mięśniowe szybkokurczliwe typu IIA natomiast w wysiłkach o maksymalnej sile, do skurczu włączane są włókna szybkokurczliwe typu IIX Dlatego intensywne wysiłki stanowią dobry sposób aktywacji większości włókien mięśniowych. Trening siłowy musi wykorzystywać charakterystykę siły i prędkości mięśni. Od piłkarza wymaga się zarówno dużej siły i szybkości kurczenia się mięśni dla ruchów związanych z grą. Przy czym należy pamiętać, aby ćwiczenia były wykonywane poprawnie, zwłaszcza gdy są stosowane tzw. „wolne ciężary”. Najczęstsze urazy w treningu siłowym dotyczą stawów, a występują one przy podnoszeniu dużych ciężarów lub gdy technika jest niepoprawna (Reilly, 2007).

Ćwiczenia mające na celu poprawę siły mięśni mają różne formy. Można wyróżnić trzy podstawowe. Ćwiczenia izometryczne to takie, w których ćwiczący mięsień nie zmienia swojej długości, podczas jego napięcia. Innymi słowy, skurcz zaangażowanego mięśnia występuje bez widocznego ruchu w stawie. Zazwyczaj ćwiczenia izometryczne są wykonywane przez

naśladowanie czynności pchania lub ciągnięcia. Ćwiczenia izotoniczne to takie podczas których podnoszony ciężar powoduje stałe napięcie mięśniowe, niezależnie od fazy wykonywanego ruchu lub prędkości podczas wykonywanego ćwiczenia. W porównaniu z innymi metodami treningu oporowego trening izotoniczny może być najbardziej korzystny dla poprawy siły ścięgien i więzadeł, w efekcie czego można poprawić stabilność ciała. Trzecią formą treningu siłowego są ćwiczenia izokinetyczne. Jest to najrzadziej stosowany typ treningu siłowego. W treningu izokinetycznym utrzymywana jest stała prędkość ruchu podczas całego ćwiczenia. Do wykonania tego treningu potrzebne są specjalistyczne maszyny znane jako dynamometry izokinetyczne (Brown, 2017).

Rozwój siły mięśni u młodych piłkarzy zależy od ich poziomu dojrzałości somatycznej. Siła zwiększa się w mniej więcej liniowej korelacji z wiekiem (Labsy i wsp., 2013). Trening wzmacniający mięśnie i wytrzymałość siłową może być praktykowany już w wieku 15 lat, nawet z małym obciążeniem zewnętrznym. Ten rodzaj szkolenia można rozpocząć stosunkowo wcześnie, ponieważ nauka techniki jest fundamentalna. Masa ciała zawodnika i lekki sprzęt (piłka lekarska, gumy fitness, opaski, sztangi, pasy), są często używane do wzmacniania mięśni w formie treningu obwodowego. W grupie wiekowej U-15, trening plyometryczny o niskiej intensywności może być bardzo przydatny w celu zwiększenia gęstości mineralnej kości (Labsy i wsp., 2013). Rozwijanie maksymalnej siły i siły eksplozywnej to jedne z priorytetów w szkoleniu piłkarskim. Fizyczny rozwój następuje wraz ze wzrostem poziomu testosteronu w organizmie, w połączeniu z progresywnym obciążeniem treningowym przyspiesza wzrost tkanek i komórek (Labsy i wsp., 2013).

Następną zdolnością motoryczną jest koordynacja. Jest to bardzo szerokie pojęcie, o wielu definicjach. W pracach Raczka (1992) można znaleźć opis koordynacji scharakteryzowanej jako umiejętność dokładnego wykonywania złożonych aktów ruchowych oraz dostosowania elementów ruchowych w celu wykonania narzuconego zadania ruchowego. Aktualnie, najbardziej powszechnymi definicjami wydają się być te, zaproponowane przez Starostę (2003, 2006), w których mowa jest o zdolności do wykonywania złożonych ruchów, dokładnie, szybko i w zmiennych warunkach, czy o zharmonizowaniu ruchów poszczególnych części ciała w czasie i przestrzeni. Według najnowszej wiedzy wyróżnić można jedenaście zdolności koordynacyjnych. Starosta (2006) wyróżnia: zdolność kinestetycznego różnicowania ruchów, zdolność zachowania równowagi, zdolność przejawiania szybkiej reakcji, zdolność orientacji czasowo-przestrzennej, zdolność rytmizacji ruchów, zdolność dostosowania ruchów, zdolność łączenia ruchów, zdolność symetryzacji ruchów, zdolność wyrazistości ruchów, zdolność rozluźnienia mięśni, zdolność współpracy.

Poziom zdolności koordynacyjnych człowieka uzależniony jest od stopnia rozwoju ośrodkowego i obwodowego układu nerwowego, układu czuciowo-ruchowego i analizatorów: wzrokowego, słuchowego, przedsionkowego i kinestetycznego. Harmonijna współpraca tego złożonego, fizjologicznego mechanizmu przejawia się w zdolności do dokładnego różnicowania siłowych, czasowych i przestrzennych parametrów ruchów człowieka. Za integralny miernik poziomu koordynacyjnych zdolności motorycznych (KZM) człowieka uznany jest wskaźnik szybkości uczenia się koordynacyjnie złożonych czynności motorycznych (Boraczyński i Zaporozhanov, 2011). Efektywność uczenia się złożonych koordynacyjnie czynności ruchowych, uwarunkowanych różnym wpływem poszczególnych zdolności koordynacyjnych jest bardzo zróżnicowana u poszczególnych osób. Międzyosobnicze zróżnicowanie efektywności wykonywania czynności ruchowych jest wynikiem złożonych współzależności pomiędzy poszczególnymi analizatorami – sensomotorycznym, wzrokowym, słuchowym i przedsionkowym oraz odmienną sprawnością do przetwarzania odbieranych bodźców w ośrodkowym układzie nerwowym. Jako wiodąca zdolność koordynacyjna postrzegana jest zdolność różnicowania ruchu, wyrażająca się w dokładnym wykonywaniu ruchów w trzech wymiarach – siłowym, przestrzennym i czasowym. W złożonych, dynamicznych ruchach, istotne znaczenie odgrywają również zdolność orientacji przestrzenno-czasowej oraz zdolność zachowania równowagi (Boraczyński i Zaporozhanov, 2011).

Kształtowanie koordynacji jest jednym z podstawowych i najważniejszych elementów treningu sportowego w piłce nożnej; dzięki niej poziom techniczny i fizyczny piłkarza ulega poprawie (Ljach i Witkowski 2010). W technicznych i skomplikowanych sportach, szkolenie koordynacyjne wymaga dokładnego nauczania i jest uważane za osobny aspekt procesu treningowego. Należy również pamiętać, że poziom zdolności koordynacyjnych u najbardziej wykwalifikowanych sportowców przejawiający się np. w strukturze ruchu, jego dokładności może służyć jako wzór „ideału” dla młodych piłkarzy na wstępnym etapie treningu sportowego. Jednocześnie warto zwrócić uwagę, że w rozwoju młodzieży ważne są również związane z wiekiem okresy sensorywne, podczas których dane zdolności koordynacyjne są najbardziej podatne na rozwój i kształtowanie. Okresy te związane są ze zmianami morfologicznymi, fizjologicznymi i biochemicznymi, zachodzącymi w rozwijającym się i dojrzewającym organizmie (Averyanov i wsp., 2020). Nauczanie elementu koordynacyjnego we właściwym okresie ma decydujące znaczenie dla poziomu zdolności przyszłego piłkarza. Po przekroczeniu tych okresów co raz trudniej oddziaływać na kształtowanie danej zdolności. Biorąc pod uwagę

niektóre elementy zdolności koordynacyjnych, można stwierdzić, że w przygotowaniach piłkarzy należy rozwinąć zdolność przystosowywania się do wysiłku; zdolność reakcji, zdolność orientacji, siłę mięśni oraz elastyczność (Stoica, 2014).

Proces treningu prowadzi do naprzemiennej pracy mięśni synergistycznych oraz ograniczenia aktywności mięśni zbędnych do wykonania danego ruchu. Prowadzi to do zmniejszenia kosztu energetycznego i ekonomizacji pracy. Zwiększa się precyzja wykonywanych ruchów wraz ze wzrostem ich szybkości. Rezultat takiego treningu to łatwość i lekkość, z jaką sportowcy wykonują zadania ruchowe, oraz harmonijność i precyzja (Laursen i Buchheit, 2019). Niewątpliwie trening poprawiający koordynację ruchów wiąże się ze zmianami czynności sieci neuronalnej i proces ten toczy się na wielu szczeblach ośrodkowego układu nerwowego. W nauczaniu ruchów ważny jest proces zapamiętywania i przypominania wzorców aktywacji poszczególnych grup mięśniowych oraz wrażeń (pochodzących z receptorów) doznawanych podczas wykonywania nauczanego ruchu. Szybciej następuje nauczanie ruchów o niskim stopniu złożoności niż czynności zaawansowane złożonych, które wymagają czasami wieloletniej praktyki (Górski 2006). Z badań Tessitore i wsp. (2011) wynika, że przedsezonowe szkolenie piłkarskie obejmujące ćwiczenia doskonalące koordynację, pozytywnie wpływa na zdolności strzeleckie zawodników oraz zsynchronizowane zadania koordynacyjne między kończynami.

Zawodowi piłkarze nożni mają stosunkowo krótkie okresy przygotowawcze, zazwyczaj obejmujące 4 - 6 tygodni (Ozen i wsp., 2020). Jest to bardzo ograniczony czas na kształtowanie i poprawę wydolności, stąd też stale poszukuje się skutecznych, efektywnych i przede wszystkim optymalnych czasowo strategii treningowych, w warunkach najbardziej zbliżonych do warunków startowych. Dlatego też przeprowadzone w rozprawie doktorskiej badania w oparciu o dotychczasową wiedzę przyczynią się do bardziej efektywnego kształtowania wydolności fizycznej oraz zoptymalizowania procesu treningowego. Badania te pozwolą na głębsze zrozumienie potrzeby indywidualizacji treningu i różnic międzypersonalnych występujących w grach zespołowych. Przyczynią się również do poznania interakcji między fizycznymi wymaganiami treningu, jego efektywnością a powstającym zmęczeniem.

W niniejszej rozprawie doktorskiej kształtowanie wydolności fizycznej przeprowadzono za pomocą dwóch typów treningów: treningu interwałowego o wysokiej intensywności (HIIT) oraz treningu opartego na „małych grach” (SSG).



### **1.3. Trening interwałowy o wysokiej intensywności - HIIT (High Intensity Interval Training)**

Trening HIIT jest zwykle definiowany jako ćwiczenie składające się z powtarzających się wysiłków o wysokiej intensywności wykonywanych powyżej progu anaerobowego, przeplatanych okresami niepełnej restytucji o niskiej intensywności lub niepełnego biernego odpoczynku (Laursen i Buchheit, 2019). HIIT i jego efekty są złożone. Zasadniczo podstawy naukowe treningu typu HIIT mają na celu wytworzenie bodźca o wysokiej intensywności, zwiększającego zdolności fizjologiczne odpowiednich systemów, ważnych dla danej dyscypliny sportu. HIIT jest dobrze znaną, efektywną metodą treningową poprawiającą funkcje sercowo-oddechowe i metaboliczne. Dużą zaletą tego treningu jest możliwość wysokiej indywidualizacji obciążenia, łatwej kontroli i monitoringu. Jest również metodą, którą można wyizolować kształtowanie pożądanego poziomu zdolności, pozostawiając wystarczająco dużo czasu na doskonalenie umiejętności sportowych, jak technika i taktyka (Rabbani i wsp., 2019). Wadą takiego rodzaju szkolenia w piłce nożnej jest brak specyfiki gry oraz duże obciążenie układu nerwowego, co może prowadzić do przetrenowania, przy nieodpowiedniej kontroli (Rabbani i wsp., 2019). HIIT wymaga również wysokiego poziomu motywacji i pewności siebie, aby utrzymać wysoką intensywność. Główny akcent tego rodzaju treningu jest na podnoszenie formy sportowej w kontekście fizjologicznym, ale pomijając charakter gry, więc może być świetnym elementem uzupełniającym trening. Zaleca się, żeby HIIT przeprowadzać na końcu jednostki treningowej, ponieważ po tym treningu zaangażowanie zawodników znacząco spada (Engel i wsp., 2018).

Każda sesja treningowa stanowi wyzwanie dla różnych zawodników na różnym poziomie wytrenowania. Należy zaplanować odpowiednie obciążenie w odniesieniu do założonego celu treningu, uwzględniając zarówno układ metaboliczny, nerwowo-mięśniowy i mięśniowo-szkieletowy zawodników (Vuorimaa i wsp., 2000; Buchheit i wsp., 2012). Układ metaboliczny odnosi się do trzech odrębnych, ściśle powiązanych, zintegrowanych procesów; fosfagenowego (trifosforan adenozyliny i fosfokreatyna); anaerobowego glikolitycznego (wykorzystanie glikogenu w warunkach beztlenowych); oraz aerobowego (spalanie węglowodanów i tłuszczów w obecności tlenu - metabolizm oksydacyjny) (Laursen i Buchheit, 2019; Dolci i wsp., 2020). Czynniki, które należy wziąć pod uwagę przy wyborze sesji HIIT, to wymagania dotyczące gry podczas meczu, pozycja zawodnika, pożądanego długoterminowe adaptacje i periodyzacja. Razem czynniki te determinują pożądanego typu docelowej odpowiedzi

fizjologicznej. Zmiennymi, którymi można manipulować w treningu HIIT są: intensywność wysiłku; czas trwania wysiłku; dynamika restytucji; czas trwania okresu restytucji; liczba interwałów lub czas trwania serii; liczba serii interwałów; czas trwania restytucji pomiędzy seriami i jej intensywność; całkowita wykonana praca (Laursen i Buchheit, 2019). Pozostałymi czynnikami odgrywającymi dużą rolę w fizjologicznym ujęciu są: rodzaj ćwiczeń i powierzchnia, na której wykonywany jest trening; środowisko klimatyczne (temperatura, wilgotność i wysokość n.p.m.); oraz praktyki żywieniowe sportowca na krótko przed (<24 h) i podczas interwencji. HIIT zalecany jest dla piłkarzy każdego szczebla rozgrywek, grających na różnych pozycjach na boisku, potrzebujących poprawić konkretną zdolność w krótkim czasie. Z kolei zawodnicy, którzy doświadczyli przetrenowania i mają problemy z regeneracją lub są kontuzjowani powinni unikać tego rodzaju treningu ze względu na duże obciążenie całościowe organizmu (Buchheit i Laursen, 2013).

Trening interwałowy o wysokiej intensywności wykazuje ogromny potencjał w zakresie poprawy wielu aspektów wytrzymałości młodych piłkarzy. Z badań wynika, że poprawie ulegają takie parametry wytrzymałościowe, jak:  $VO_2$  max, maksymalna wydajność biegu oraz wydajność biegu na progu przemian beztlenowych (Badin i wsp., 2016). Wykazano, że trening HIIT jest skuteczną i oszczędną czasowo metodą poprawiającą wydolność fizyczną piłkarzy (Helgerud i wsp., 2001; Impellizzeri i wsp., 2006; Buchheit i Rabbani, 2014; Rabbani i wsp., 2019), nieco efektywniej kształtując poziom  $VO_2$ , w porównaniu z SSG (Badin i wsp., 2016). Ponadto badania na młodych zawodnikach ujawniły duży pozytywny wpływ na wydolność sercowo – oddechową i  $VO_2$  max w porównaniu z alternatywnymi programami treningowymi (Costigan i wsp., 2015; García-Hermoso i wsp., 2016; Eddolls i wsp., 2017; Engel i wsp., 2018; Thivel i wsp., 2018). Może to zwiększyć tolerancję ćwiczeń o wysokiej intensywności. Ponadto zakładana intensywność tego rodzaju treningu obejmuje porównywalne obciążenia fizjologiczne do tych napotkanych w oficjalnym meczu piłki nożnej (Kunz i wsp., 2019).

Trening HIIT ma również wyraźny, pozytywny wpływ na wydajność sprintu i skoczności. Najlepsze efekty stwierdzono w badaniach z wykorzystaniem krótkich (15–30 s) interwencji HIIT (Faude i wsp., 2013; 2014), co wskazuje, że dla poprawy sprintu interwały około 15 s wysiłku, mogą być bardziej korzystne, w przeciwieństwie do dłuższych programów treningowych. Trening HIIT poprawia siłę kończyn dolnych oraz siłę eksplozywną, zwłaszcza przy zastosowaniu krótkich odcinków o maksymalnej intensywności biegu. Ponadto ma również pozytywny wpływ na zwinność (Laursen i Buchheit 2019). Arslan i wsp. (2020) badając zdolność do powtarzanego sprintu (RSA), stwierdzili znaczną poprawę tej zdolności,

co może wskazywać na wzrost siły i rozwój mięśni po tej interwencji. Ponadto Owen i wsp. (2012) wskazuje, że w ujęciu czasowym, na trening HIIT potrzeba tylko 63% całkowitego czasu szkolenia SSG. W krótkich odstępach czasu HIIT jest bardziej użyteczny dla poszczególnych graczy, np. w procesie rehabilitacji lub u zawodników rezerwowych, dla których wspólne treningi oparte na „małych grach” mogą nie być wystarczające (Laursen i Buchheit, 2019).

Odpowiedni wariant treningu HIIT może poprawiać również zdolności koordynacyjne, np. przy zastosowaniu startów z różnych pozycji bądź na konkretny bodziec wzrokowy lub dźwiękowy. Trening HIIT ukierunkowany na KZM można też wykonać, przy pomocy toru przeszkód ze zróżnicowanymi zadaniami, o ściśle określonym czasie wysiłku i przerw wypoczynkowych (Laursen i Buchheit, 2019). Aby maksymalizować efekty można urozmaicić trening HIIT o drabinki zwinnosci, skoki oraz ćwiczenia obwodowe. Ćwiczenia koordynacyjne z piłką dla bardziej szczegółowych umiejętności motorycznych obejmują ruch do przodu, do tyłu, sugerowane lub wymuszone zmiany tempa, za pomocą różnych rodzajów informacji, np. wizualnych i dźwiękowych.

W piłce nożnej na wysokim poziomie harmonogramy rozgrywek są ściśle ustalone. Z tego powodu najczęściej wybieranym i zarazem najkrótszym czasem trwania mezocyklu dla treningu HIIT są 4-5 tygodni (Kunz i wsp., 2019; Arslan i wsp., 2020). Okres ten wydaje się być zarówno możliwy do zrealizowania, jak i jest wystarczający na osiągnięcie pożądanej adaptacji. Średnia długość eksperymentu to od 6 – 7 tygodni (Hill-Haas i wsp., 2009; Los Arcos i wsp., 2015), natomiast długi czas eksperymentu to od 8 do 10 tygodni (Siegler i wsp., 2003; Impellizzeri i wsp., 2006). Natomiast według Wen i wsp. (2019), 2 tygodniowy trening HIIT uznano za wystarczający, by uzyskać adaptacje tlenowe. Należy jednak wziąć pod uwagę bardzo istotną kwestię, iż w tej publikacji były uwzględnione badania na ludziach w wieku 19-47 lat, zarówno osobach uprawiających sport, jak i nie trenujących. Ponadto autor podzielił czas trwania okresów interwencji na: krótkotrwały ( $\leq 4$  tygodnie), umiarkowany (5-11 tygodni) oraz długotrwały ( $\geq 12$  tygodni), przy czym dłuższy mezocykl wykazał dodatkowe, dalsze korzystne efekty. Jednak zazwyczaj stosowane są interwencje nie dłuższe niż 8 tygodni, ponieważ w okresie startowym trenerzy w obawie o zmęczenie zawodników i pogorszenie wyników, rzadko stosują tego rodzaju trening (Faude i wsp., 2014). W mikrocyklu tygodniowym stosowane są 2 do 5 jednostek treningowych, w zależności od tego, czy jest to okres przygotowawczy, czy okres startowy. W pojedynczej jednostce treningowej, HIIT w większości badań zajmował od 15 do 30 minut, a restytucja od 3 do 10 minut, natomiast

intensywność wysiłku była >90% maksymalnej częstości skurczów serca (HR max) (Sperlich i wsp., 2011; Faude i wsp., 2014; Los Arcos i wsp., 2015).

Podsumowując HIIT ma duży, pozytywny wpływ na wydolność tlenową; krążeniowo-oddechową; poprawia  $VO_2$  max oraz na wydolność beztlenową; zdolność do powtarzanych sprintów, szybkość pojedynczego sprintu, wysokość wyskoku i jest on często wykorzystywany w treningu piłkarskim (Engel i wsp., 2018; Kunz i wsp., 2019).

#### 1.4. Trening „małe gry” - SSG (Small Sided Games)

„Małe gry” są zmodyfikowaną formą gry w piłkę nożną. Rozgrywane na obszarach o zmniejszonym boisku, często z wykorzystaniem specjalnie dostosowanych zasad, z udziałem mniejszej liczby graczy niż w tradycyjnych meczach piłki nożnej. Sformalizowane SSG, takie jak te wdrażane w klubach piłkarskich na całym świecie, które stanowią podstawę wielu programów rozwoju piłki nożnej juniorów, wydają się ewoluować z nieformalnych, niestrukturalnych gier w piłkę nożną (Hill-Haas i wsp., 2011). Główne korzyści płynące z SSG polegają na tym, że replikują one wymagania ruchowe, intensywność fizjologiczną i wymagania techniczne gry meczowej, jednocześnie wymagając od graczy podejmowania decyzji pod presją i zmęczeniem. Odtwarzają specyfikę wysiłku z krótszym czasem na analizowanie sytuacji; wszystko dzieje się jak w normalnej grze, tylko intensywniej, szybciej, z większą częstością wykonywanych działań ruchowych. Sugeruje się również, że SSG ułatwiają rozwój umiejętności technicznych i świadomości taktycznej w odpowiednim kontekście gry (Little 2009; Dellal i wsp., 2012). Mają jednak one ograniczenie, a mianowicie występowanie różnic międzyosobniczych wśród zawodników, co znacznie utrudnia indywidualizację szkolenia (Rabbani i wsp., 2019).

Większość badań dotyczących SSG, donosi o zwiększonej odpowiedzi częstości skurczów serca (HR), oceny postrzeganego wysiłku (RPE) i stężenia mleczanu we krwi ( $La^-$ ) wraz ze wzrostem powierzchni pola gry, przy tej samej liczbie zawodników. Podobną reakcję organizmu wywołują SSG, w których uczestniczy mniejsza liczba graczy - wyższe HR, RPE i stężenie mleczanu we krwi (Owen i wsp., 2014). Zmienność stężenia mleczanu we krwi z powodu różnych rozmiarów boiska sugeruje, że ćwiczenia wykonywane na większym boisku skutkują większą aktywnością tlenową (Tessitore i wsp., 2006; Rampinini i wsp., 2007; Aguiar i wsp., 2012). W porównaniu z tradycyjnymi sesjami treningowymi, SSG są uważane za zwiększające podatność na zaangażowanie i motywację zawodników, ze względu na rywalizację podobną do meczowej. Wreszcie, SSG są uważane za bardziej wydajne pod względem czasu, ponieważ wydajność fizyczna, umiejętności techniczne i świadomość taktyczna mogą być rozwijane jednocześnie. Jednak realizacja tych korzyści zależy od formy gry. Różne wymiary i formaty mogą wywołać różne aktywności ruchowe, reakcje fizjologiczne i percepcyjne (Hill-Haas i wsp., 2011; Aguiar i wsp., 2012). Niektórzy autorzy sugerują, że SSG może skutecznie identyfikować graczy, pod względem pozycji i zadań na boisku, powielanych podczas pełnowymiarowych gier (Unnithan i wsp., 2012). Ponadto inni twierdzili, że SSG

może zapewnić odpowiednie warunki do opracowania technicznych rozwiązań, związanych z grą (Arruda i wsp., 2015; Moreira i wsp., 2016). Z badań Aguiar i wsp. (2015), wynika, że formaty SSG 4-ro i 5-cio osobowe są minimalnymi formatami wymaganymi do analizy zachowania taktycznego zespołu. Wykazano też, że bezpośredni nadzór i motywowanie zawodników przez trenera zwiększają intensywność treningu i wskaźniki wydajności. HR, stężenie mleczanu we krwi i RPE są wyższe, gdy trenerzy dostarczają stałej zachęty podczas SSG (Asci, 2016). SSG stosowane są w różnych wariantach pod względem wymiarów pola gry, zasad i liczby graczy, od wariantu 1 x 1 do 10 x 10, z bramkarzami lub bez lub z dodatkowym zawodnikiem grającym w jednej drużynie, w zależności od posiadania piłki. Mała liczba graczy uznawana jest do 4 na drużynę, średnia 5-8, duża 9-10 (Sarmiento i wsp., 2018). Przy czym gry 10 x 10 rozgrywane są na pełnowymiarowym boisku i są najrzadziej stosowane. Jednocześnie wzrost liczby graczy i względnej powierzchni boiska na gracza wywołuje mniejszą intensywność gry (Hill-Haas i wsp., 2011). Potwierdzają to m.in. Rampinini i wsp. (2007) oraz Jones i Drust (2007), którzy zbadali efekty jednoczesnego zwiększania liczby zawodników i powierzchni boiska na HR, mleczan we krwi i RPE. Głównym wnioskiem tego badania było to, że intensywność ćwiczeń we wszystkich formatach zmniejszyła się. Przy małej liczbie graczy wymiary boiska wynoszą najczęściej pomiędzy 20-25 x 30-35m, przy średniej liczbie graczy 40-45 x 60-65 m, natomiast przy dużych formatach 50-65 x 70-105 m (Sarmiento i wsp., 2018). Interwencje eksperymentalne trwają podobnie jak w przypadku HIIT od 4 do 10 tygodni w zależności od okresu, od 2 do 5 jednostek treningowych tygodniowo, choć najczęściej stosowane są dwie. Czas pojedynczej interwencji wynosi od 20-35 min (3-4 serie od 3-6 min, z przerwami 2-4 min) (Sarmiento, 2018; Kunz i wsp., 2019).

Z dotychczasowych badań wynika, że podobnie jak HIIT, SSG również poprawia parametry wytrzymałościowe takie, jak:  $VO_2$  max, maksymalną wydajność biegu oraz wydajność biegu na progu przemian beztlenowych (Badin i wsp., 2016). Co więcej, korzystne reakcje fizjologiczne wywołane tą metodą treningu wskazują na jej przydatność w treningu piłkarskim u zawodowych piłkarzy (Dellal i wsp., 2011), amatorów (Clemente i wsp., 2014), oraz w grupach młodzieżowych (Clemente i wsp., 2015; Koklu i wsp., 2015a), w celu poprawy zarówno wydolności tlenowej, jak i beztlenowej (Owen i wsp., 2014; Arslan i wsp., 2017). Little (2009) stwierdził, że SSG, w których biorą udział zespoły 5-8 osobowe, mogą być wykorzystane do kształtowania progu beztlenowego (85% – 90% HR max), podczas, gdy gry 3 i 4-ro osobowe mogą być zastosowane w celu zwiększenia maksymalnego poboru tlenu.

Należy jednak zaznaczyć, że intensywność wysiłku jest bardzo zależna od zaangażowania gracza i jego motywacji oraz wymienności pozycji (Asci, 2016).

Ten rodzaj treningu może oferować dodatkowe korzyści, poprawiające podstawowe umiejętności neuromięśniowe i poznawcze, takie jak antycypacja, czas reakcji, szybkość podejmowania decyzji i szybkość zmiany kierunku oraz prędkość biegu (Chmura i wsp., 2010; Andrzejewski i wsp. 2011; Badin i wsp., 2016). Jest to bardzo dużą zaletą i przewagą nad treningiem HIIT, szczególnie w przypadku tak acyklicznej i złożonej gry, jaką jest piłka nożna. Zawodnicy mogą również doświadczyć większej motywacji i przyjemności podczas wykonywania SSG niż HIIT, który jest mniej specyficzny dla piłki nożnej (Badin i wsp., 2016). W badaniach Owen i wsp. (2012) ujawniono znaczną poprawę RSA po zastosowaniu SSG 3 x 3. W związku z tym, ważnym czynnikiem w kształtowaniu szybkości jest zasada specyficzności, czyli połączenie ćwiczeń z określonym zadaniem, charakterystycznym dla dyscypliny sportowej (Cissik, 2005). Gry z większą liczbą zawodników ( $\geq 7 \times 7$ ) lepiej kształtują zdolności szybkościowe, ponieważ występuje mniej kontaktów z piłką, tym samym gracze mogą spędzać więcej czasu na przemieszczaniu się do wolnych obszarów, aby otrzymać podania lub naciskać na przeciwników, co prowadzi do aktywności z większą prędkością (Owen i wsp., 2014).

„Małe gry” również mogą przyczyniać się do poprawy siły kończyn dolnych oraz siły eksplozywnej, poprzez zrywne starty do piłki na małym polu gry, krótkie przyśpieszenia i nagłe wyhamowania. Podobnie jak w przypadku HIIT, Arslan i wsp. (2020) wykazał pozytywny efekt stosowania SSG na RSA oraz zwinność, co również może świadczyć o wzroście siły i rozwoju mięśni. W dotychczasowej literaturze nie poświęcono zbyt wiele uwagi na temat wpływu treningu HIIT i SSG na zdolności siłowe, może być to interesujący obszar badań w przyszłości.

SSG rozwijają również zdolności koordynacyjne, ze względu na odzwierciedlane wymagania ruchowe podczas meczu, które są potrzebne podczas zawodów (Hill – Haas i wsp., 2011). Wykonywanie szybkich ruchów zwiększa aktywność motoneuronów i ich plastyczność, która powoduje rozwój koordynacji oraz doskonalenie złożonych umiejętności motorycznych oraz zdolności uczenia się. Ćwicząc koordynację, młodzi piłkarze zdobywają umiejętności ruchowe i poprawiają skuteczność ruchów. Wskaźniki wydajności, takie jak zwinność i umiejętności techniczne, które wymagają zarówno przyśpieszenia, jak i umiejętności technicznych związanych z piłką nożną, są znacznie lepiej kształtowane w SSG niż w HIIT, podobnie jak zdolność dryblingu, która obejmuje bieganie i elementy specyficzne dla piłki

nożnej, jest poprawiana znacznie lepiej za pomocą SSG (Sperlich i wsp., 2011; Arslan i wsp., 2020).



## 1.5. Kontrola i monitoring treningu w piłce nożnej

Aby uzyskać pożądane adaptacje treningowe, wymagana jest równowaga, pomiędzy treningiem, a regeneracją (Matveyev, 1981). W procesie treningowym powinno uwzględniać się indywidualizację. Na każdym etapie szkolenia należy stworzyć warunki i wyznaczyć cele, które zawodnik powinien realizować w konkretnym cyklu szkoleniowym. Cele treningowe powinny uwzględniać wiek, potencjał zawodników oraz możliwości organizacyjno-finansowe klubu. Warto wprowadzić bloki treningowe ukierunkowane na konkretne działania na boisku. Dzięki takiemu podejściu zawodnicy mogą wielokrotnie, świadomie powtarzać dany element w różnych warunkach, a całość powinna być objęta permanentnym monitoringiem i kontrolą (Coutts i wsp., 2018; Impellizzeri i wsp., 2019).

Trening to najważniejszy aspekt maksymalizujący wyniki sportowe, jednak musi on być odpowiednio zoptymalizowany, aby uniknąć przetrenowania i kontuzji, które zaburzają proces adaptacji. Kontrola treningu, zarówno bieżąca, jak i cykliczny monitoring w treningu sportowym są ważnymi elementami, zapobiegającymi negatywnym skutkom, jakie mogą wystąpić w cyklu treningowym, ale również pozwalającymi na określenie wydolności zawodników (Akubat i wsp., 2018). Dokładne monitorowanie obciążenia treningowego może zdiagnozować również niedotrenowanie i pomóc trenerom w lepszym przygotowaniu zawodników do wysiłku startowego. Ważne jest, aby umożliwić wystarczającą regenerację między sesjami treningowymi a zawodami. Nierównowaga między obciążeniem treningowym, startowym, a regeneracją może w dłuższym okresie przyczynić się do potencjalnie długoterminowych skutków osłabiających organizm związanych z przetrenowaniem (Thorpe i wsp., 2016; Chmura i wsp., 2019).

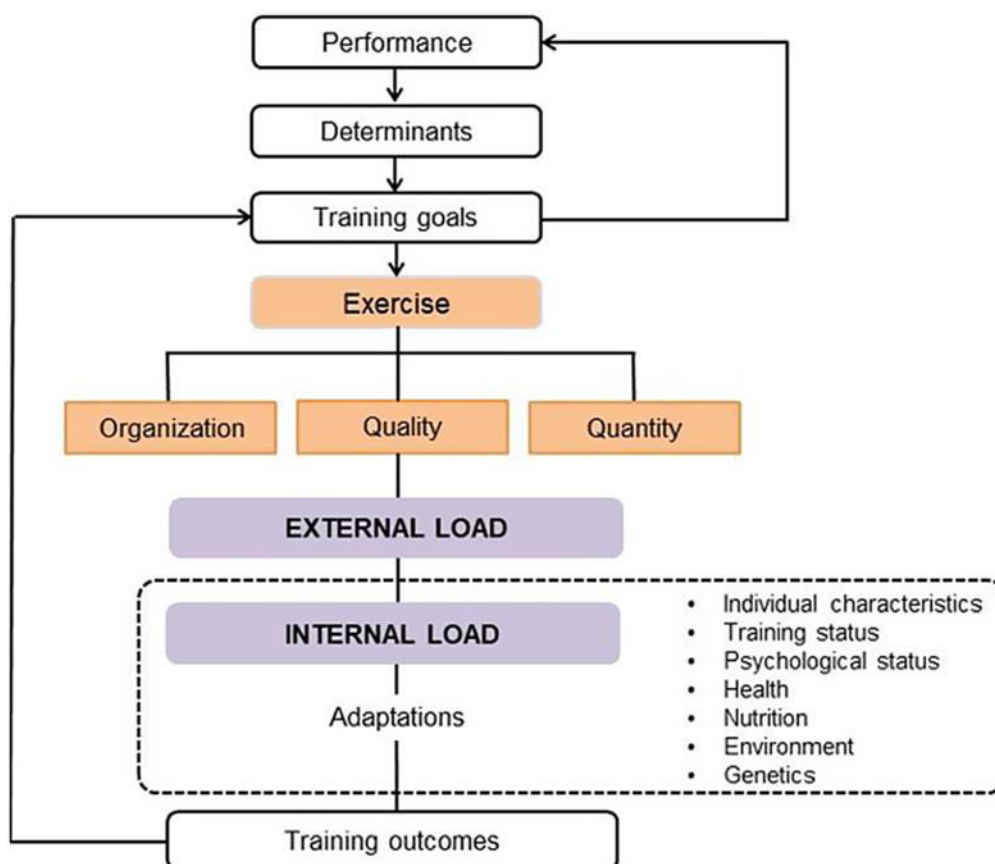
Źle dobrane obciążenia treningowe w stosunku do okresów regeneracji czy możliwości wysiłkowych zawodników mogą przyczynić się do rozwinięcia się syndromu przetrenowania. Badania wskazują tu zarówno na przyczyny psychologiczne i fizjologiczne (Alves i wsp., 2006). Przetrenowanie może powstawać na skutek nagromadzenia obciążenia treningowego, tzn. zbyt dużych obciążeń przez długi czas, często dodatkowo połączonych z innym stresem, jak np. zawody, jednocześnie bez zapewnienia optymalnego czasu na regenerację. Wywołuje to wiele negatywnych skutków, które wpływają nie tylko na wyniki sportowe, ale również na zdrowie. Przetrenowanie ma wpływ na układ nerwowy, zmiany neurohormonalne. W skrajnych przypadkach może doprowadzić do rozwinięcia się stanów depresyjnych (Kreher i Schwartz, 2012). Charakter przetrenowania i jego objawy w dużej mierze zależą od charakteru

stosowanych bodźców wysiłkowych: trening oporowy, beztlenowy i aerobowy. Wszyscy sportowcy odczuwają pewien stopień zmęczenia podczas powtarzających się dni i tygodni treningowych, więc nie wszystkie sytuacje powodujące zmęczenie można sklasyfikować jako przetrenowanie. Przetrenowanie charakteryzuje się nagłym spadkiem wydolności, którego nie można odwrócić w ciągu kilku dni, poprzez ograniczenie treningu, odpoczynek lub interwencję dietetyczną (Kenney i wsp., 2015).

Istnieje również pojęcie niedotrenowania, które definiuje się jako częściową lub całkowitą utratę adaptacji wywołanej treningiem, jako skutek zaprzestania treningu lub znacznego zmniejszenia obciążenia treningowego. Zgodnie z zasadą odwracalności procesu adaptacji, adaptacje wywołane treningiem są przejściowe i dlatego mogą zaniknąć, gdy obciążenie treningowe jest niewystarczające lub całkowicie wyeliminowane (Kenney i wsp., 2015; Haff i Triplett, 2016). Profesjonalni piłkarze często są niedotrenowani, bo trenerzy boją się przeciążyć zawodników (Modric i wsp., 2021). Jest to dobrze widoczne w polskiej „Ekstraklasie”, gdzie obserwuje się „syndrom niskiej intensywności” w treningu, efektem czego zawodnicy w drugiej części meczu doświadczają wysokiego poziomu zmęczenia oraz obniżenia skuteczności działań technicznych z piłką. Zachowanie równowagi pomiędzy treningiem a regeneracją stanowi duże wyzwanie dla trenerów i sportowców. W związku z tym monitorowanie obciążenia, zarówno podczas treningu, jak i zawodów jest kluczowe w dostarczaniu informacji o stanie organizmu i samopoczuciu zawodnika, trenerom (Wallace i wsp., 2013; Bartlett i wsp., 2016).

Stosując miary obciążenia treningowego można stale modyfikować trening, aby osiągnąć jak najlepszą optymalizację, a ich podział rozgraniczamy na wewnętrzne i zewnętrzne – rycina 1 (Impellizzeri i wsp., 2019). Wewnętrzne obciążenia treningowe są definiowane jako reakcje organizmu (zarówno fizjologiczne, jak i psychologiczne), na bodziec treningowy, narzucany sportowcowi podczas treningu lub zawodów (Bourdon i wsp., 2017). Miary takie jak: częstość skurczów serca, stężenie mleczanu we krwi, pobór tlenu, kwestionariusz wellness i ocena postrzeganego wysiłku (RPE), są powszechnie używane do oceny tego obciążenia. Natomiast obciążenie zewnętrzne opiera się na wzajemnych zależnościach; objętości, intensywności i częstości bodźca treningowego. Obciążenie zewnętrzne wywołuje fizjologiczne oraz psychologiczne adaptacje, które następują w wyniku programu treningowego (Fanchini i wsp., 2015; Bourdon i wsp., 2017). Zewnętrzne obciążenia treningowe są obiektywnymi miarami pracy wykonywanej przez sportowca podczas treningu lub zawodów i są oceniane niezależnie od wewnętrznego obciążenia pracą (Ryc. 1). Typowe miary obciążenia zewnętrznego obejmują prędkość, przyspieszenie, czas i pokonany dystans

(parametry globalnego systemu pozycjonowania – GPS i parametry pochodzące z akcelerometru) (Coutts i Duffield, 2010). Obecne technologie analityczne obejmują półautomatyczne systemy oparte na wielu kamerach, takie jak ProZone i Amisco Pro oraz systemy monitorowania sportowców wykorzystujące GPS, takie jak Catapult Sports, GPSports i STATSports) (Delves i wsp., 2021). Najczęściej wykorzystywane parametry, rejestrowane przez te systemy to dystans całkowity, dystans pokonany w różnych zakresach intensywności, liczba sprintów i prędkość maksymalna (Chmura i wsp., 2018). Ta ewolucja analizy ruchu pozwala na rejestrowanie ruchu z prędkością 100 razy na sekundę, co daje ogromne możliwości w procesie optymalizowania treningu (Cummins i wsp., 2013; Castellano i wsp., 2014).



Rycina 1. Teoretyczne ramy procesu treningowego. Przedruk z Impellizzeri i wsp. (2019).

Legenda: Performance – wydajność, Determinants – uwarunkowania, Training goals – cele treningowe, Exercise – wysiłek, Organization – organizacja, Quality – jakość, Quantity -ilość, External Load – obciążenie zewnętrzne, Internal Load – obciążenie wewnętrzne, Adaptations – adaptacje, individual characteristics – cechy indywidualne, Training status – status treningowy, Psychological status – status psychiczny, Health – zdrowie, Nutrition – odżywianie, Environment – środowisko, Genetics – genetyka, Training outcomes – wynik procesu treningowego

Ważne jest również zintegrowane podejście do obciążenia treningowego, z tego powodu wewnętrzne i zewnętrzne obciążenia treningowe powinny być monitorowane w połączeniu, aby zapewnić lepszą kontrolę szkolenia (Fanchini i wsp., 2015; Coutts i wsp., 2018). Zastosowanie tego samego obciążenia zewnętrznego nie zawsze skutkuje tą samą reakcją fizjologiczną i psychologiczną. Na przykład sportowcy powtarzający dokładnie tę samą sesję w różne dni mogą utrzymać tę samą moc maksymalną, ten sam czas trwania (tj. to samo obciążenie zewnętrzne), ale osiągać całkiem różne obciążenie wewnętrzne (częstość skurczów serca, stężenie mleczanu we krwi, RPE itp.), w zależności od stanu zmęczenia, nastroju emocjonalnego lub choroby (Impellizzeri i wsp., 2019). Wewnętrzne reakcje na trening są indywidualną funkcją każdego sportowca w odpowiedzi na zastosowane obciążenie zewnętrzne. Aby ocenić efektywność zastosowanych obciążeń, mających prowadzić do adaptacji, należy stosować specyficzną dla dyscypliny kontrolę.

Sozański i wsp. (1999) wyróżniają trzy rodzaje kontroli; bieżącą, operacyjną i okresową. Kontrola bieżąca (efekty bezpośrednie) oceniane na podstawie bezpośredniej analizy danych pomiarowych i odniesienie ich do wskaźników charakteryzujących dotychczasowe reakcje na dane obciążenie. Dzięki kontroli bieżącej można korygować rodzaj, intensywność, objętość i jakość ćwiczeń realizowanych podczas jednostki treningowej. Kolejny rodzaj to kontrola operacyjna (efekty przedłużone) określana jest poprzez analizę wskaźników charakteryzujących reaktywność ustroju w stosunku do planowanej krzywej obciążeń w mikrocyklu i w mezocyklu. W wyniku tej kontroli można dokonywać modyfikacji struktury i wielkości obciążeń w ramach wyżej wymienionych cykli. Trzecim rodzajem kontroli jest kontrola okresowa (efekty kumulatywne) oceniane są w wybranych miejscach makrocyklu, odpowiednio do przyjętych celów treningu i planowanych zadań szkoleniowych. Na podstawie tej kontroli można uzyskać informacje do korekt długofalowego programu treningowego. W niniejszej rozprawie doktorskiej skoncentrowano się na kompleksowym podejściu do kontroli i monitoringu treningu, obejmującym wszystkie trzy powyższe rodzaje kontroli.

W realizowanym projekcie badawczym, podczas kontroli bieżącej zmierzona została częstość skurczów serca i zanotowana ocena postrzeganego wysiłku (RPE). Dzięki stałej kontroli częstości skurczów serca można na bieżąco wprowadzać korekty w jednostce treningowej – w przypadku nieosiągnięcia pożądanej intensywności wysiłku, można zmienić bodziec treningowy lub zwiększyć motywację zawodników poprzez zachętę trenera. Można również ocenić, czy przerwa wypoczynkowa jest wystarczająca, czy należy ją zmienić lub w przypadku zbyt wysokiej intensywności, zmienić obciążenie. Indywidualne traktowanie

każdego zawodnika jest możliwe dzięki kontroli częstości skurczów serca, rozmowie z zawodnikiem oraz RPE. Wykorzystanie metody opartej na ocenie postrzeganego wysiłku (RPE) zostało w dużej mierze uznane za praktyczną, efektywną kosztowo i właściwą metodę określania ilościowego obciążenia wewnętrznego w piłce nożnej. Ponadto ta metoda pozwala na określenie obciążenia doraźnego, jak i okresowego, co pozwala trenerom na dokładne monitorowanie programu szkoleniowego. Praktycy i naukowcy często wykorzystują sesję RPE (sRPE) w sporcie. Wyniki badań wykazały, że połączenie HR i stężenia mleczanu we krwi pozwala przewidzieć RPE lepiej, niż same pomiary HR lub stężenia mleczanu we krwi. Dlatego zasugerowano, że RPE może być ważniejszym markerem globalnej intensywności ćwiczeń niż jakiegokolwiek niezależne pomiary fizjologiczne (Coutts i wsp., 2009; Hill-Haas i wsp., 2011).

W kontroli operacyjnej użyty został kwestionariusz wellness za pomocą, którego można ocenić status gracza po względem, m.in. zmęczenia i wypoczynku, co również pozwala na ocenę obciążenia treningowego. Dzięki temu można zdiagnozować stan organizmu zawodnika - czy trening jest optymalny, czy prowadzi do przemęczenia lub przetrenowania, czy sportowiec jest niedotrenowany. Użycie kwestionariuszy wellness jest powszechną praktyką monitorowania stanu fizjologicznego i psychicznego sportowców. W kwestionariuszach wellness zazwyczaj zawarte są informacje na temat postrzegania jakości snu, poziomu stresu, zmęczenia i ogólnej bolesności mięśni, dzięki temu można ocenić wpływ obciążenia treningiem lub meczem na samopoczucie zawodników (Fessi i Moalla, 2018; Fessi i wsp., 2016).

Podczas kontroli wydłużonych efektów treningowych wykorzystywana jest również ocena współczynnika skuteczności restytucji (WSR). Według Naglaka (1999), za bardzo obiektywne kryterium adaptacji wysiłkowej uważa się relację, jaka zachodzi między możliwościami wysiłkowymi i procesem restytucji organizmu człowieka. Zatoń (1998) twierdzi, że współczynnik skuteczności restytucji kształtuje się proporcjonalnie do poziomu wydolności ogólnej i jest tym wyższy im głębszy i rozleglejszy jest proces adaptacji wysiłkowej. Istnieje możliwość wykorzystania współczynnika skuteczności restytucji nie tylko do oceny poziomu zdolności wysiłkowej, ale również do określenia wielkości obciążenia pracą oraz określenia poziomu zmęczenia (Zatoń, 1998; Naglak, 1999; Fortuna, 2008; Sozański i wsp., 2015).

W trakcie realizacji procesu treningowego stosowane są obecnie różnorodne testy laboratoryjne i terenowe w celu oceny sprawności fizycznej. Przeprowadzane są testy wydolnościowe, poprzez które można ocenić parametry wydolności beztlenowej, takie jak: moc maksymalna, moc minimalna, moc średnia, wskaźnik spadku mocy, maksymalne stężenie mleczanu we krwi, próg przemian beztlenowych oraz parametry wydolności tlenowej, takie

jak: maksymalny pobór tlenu, wentylacja minutowa płuc, wydalanie dwutlenku węgla, objętość oddechowa, współczynnik oddechowy, maksymalna częstość skurczów serca (Laursen i Buchheit, 2019; Engel i wsp., 2018).

Podczas kontroli okresowej zostały zastosowane poniższe testy wydolnościowe – test progresywny w laboratorium oraz testy terenowe: Yo-Yo IR1 - Intermittent Recovery Test Level 1, test RAST – Running - based Anaerobic Sprint Test i test szybkości na 30 m. Testy te wykorzystywane są do oceny wydolności tlenowej i beztlenowej zawodnika. Laboratoryjny test progresywny wykonywany jest na bieżni mechanicznej, w celu określenia maksymalnego poboru tlenu ( $VO_2$  max). Obciążenie pracą jest systematycznie zwiększane aż do momentu odmowy kontynuacji wysiłku przez zawodnika lub spadku intensywności. Test progresywny jest najdokładniejszą formą wyznaczenia  $VO_2$  max, podczas którego wyznaczane są również inne parametry krążeniowo – oddechowe oraz progi przemian metabolicznych, dzięki temu można monitorować efektywność treningów w kolejnych mezocyklach. Powinien być on nieodłączną częścią programu testowego wraz z testami terenowymi, co daje możliwość odniesienia się do wyników z testów wykonywanych w innym środowisku (Laursen i Buchheit, 2019; Radziński i wsp., 2013).

Yo-Yo, test terenowy uważany jest za najbardziej odpowiedni miernik kondycji aerobowej w sporcie, takim jak piłka nożna, z dodatkową zaletą, że przeprowadzenie testu wymaga minimalnego wyposażenia i nie wymaga zaawansowanej technologii laboratoryjnej. Yo-Yo może być wykorzystywany do oceny wydolności tlenowej u piłkarzy i zapewnia silną korelację z  $VO_2$  max i wysoką niezawodność u osób o różnym poziomie wytrenowania (Howard i Stavrianeas 2017). Ponadto z badań wynika, że test jest skorelowany z intensywną aktywnością wykonywaną podczas meczu. Na jego podstawie trener może rozróżnić poziomy rywalizacji, pozycje do gry i zmiany wydolności zawodników w trakcie sezonu (Bradley i wsp., 2011; Fanchini i wsp., 2014).

Test RAST obejmuje sekwencję powtarzanych sprintów, wywołując reakcje metaboliczne i krążeniowo-oddechowe podobne do tych, występujących w najbardziej wymagających okresach meczów. Wskaźniki wydajności pochodzące z tego testu są istotnie związane z kluczowymi determinantami wyniku sportowego, takimi jak siła eksplozywna, moc maksymalna, spadek mocy, maksymalny pobór tlenu. Z tych powodów test RAST jest szeroko stosowany do oceny wydolności beztlenowej u piłkarzy nożnych. Test pomaga również ocenić przydatność gracza do danej pozycji na boisku oraz wykryć adaptacje wywołane treningiem (Barbero - Alvarez i wsp., 2013; Andrade i wsp., 2015).

Test szybkości na 30 metrów ma za zadanie sprawdzić wydajność sprintu, który jest podstawowym elementem interwencji szkoleniowych mających na celu symulowanie warunków startowych w odniesieniu do wielu indywidualnych i drużynowych sportów. W teście zazwyczaj oceniany jest czas biegu, przyśpieszenie oraz prędkość. Wydajność sprintu jest jednym z głównych wyznaczników poziomu sportowego w piłce nożnej, dlatego też jest to bardzo często stosowany test, wchodzący w skład badań okresowych (Buchheit i wsp., 2010; Comfort i wsp., 2013).

Ponadto przeprowadzono również badania biochemiczne na boisku, w których przeanalizowano dynamikę restytucji powysiłkowej, na podstawie stężenia mleczanu we krwi. Mleczan jest produktem ubocznym beztlenowej glikolizy, jest szeroko stosowany jako wskaźnik intensywności podczas ćwiczeń. Jest efektem udziału przemian glikolitycznych w wysiłku fizycznym (Hill - Haas i wsp., 2011).

Podsumowując, największą wartością, jaką trener może uzyskać z dokładnej kontroli i monitorowania obciążenia treningowego, jest lepsze zrozumienie tolerancji każdego sportowca na obciążenie fizyczne stosowane w każdym treningu. Bardziej precyzyjne zarządzanie obciążeniami fizycznymi, co powinno przekładać się na większe efekty treningowe i wyższą formę sportową.

## 1.6. Zmęczenie

Zwykle terminu "zmęczenie" używa się w odniesieniu do spadku wydajności mięśni przy kontynuowanym wysiłku, któremu towarzyszy ogólne uczucie zmęczenia. Alternatywną definicją jest niezdolność do utrzymania wymaganej mocy wyjściowej, do kontynuowania pracy mięśniowej o danej intensywności (Fortuna, 2008; Kenney i wsp., 2015; Rannou i wsp., 2019). Aby odróżnić zmęczenie od osłabienia lub uszkodzenia mięśni, można myśleć o zmęczeniu, iż jest to zjawisko odwracalne, a dzieje się tak przez odpoczynek. Zmęczenie jest zjawiskiem niezwykle złożonym. Większość prób mających na celu opisanie przyczyn i miejsc powstawania zmęczenia koncentrowała się na zmniejszonym tempie dostarczania energii (ATP – PCr, glikoliza beztlenowa i metabolizm akumulacji ubocznych produktów przemiany materii, takich jak mleczan i  $H^+$ ; uszkodzenie mechanizmu kurczliwości włókna mięśniowego; oraz zmiany w neuronalnej kontroli skurczu mięśnia). Pierwsze trzy przyczyny występują w samym mięśniu i są często określane jako zmęczenie obwodowe. Oprócz zmian na poziomie jednostki motorycznej, zmiany w mózgu lub ośrodkowym układzie nerwowym mogą również powodować zmęczenie - ośrodkowe (Kozłowski i Nazar, 1999). Mechanizmy zmęczenia zależą od rodzaju i intensywności ćwiczenia, rodzaju włókien mięśniowych, poziomu wytrenowania osoby badanej, a nawet jej diety. Wiele pytań na temat zmęczenia pozostaje bez odpowiedzi, zwłaszcza na temat komórkowych miejsc powstawania zmęczenia we włóknach mięśniowych. Należy pamiętać, że zmęczenie rzadko jest powodowane przez jeden czynnik, ale zazwyczaj przez wiele czynników działających w wielu miejscach (Fortuna, 2008; Boyas i wsp., 2011; Kenney i wsp., 2015; Wan i wsp., 2017).

Najczęściej wymieniane fizjologiczne przyczyny rozwoju zmęczenia obwodowego:

- zmniejszenie zdolności do skurczów włókien mięśniowych związane z upośledzeniem mechanizmów pobudzania komórek, sprzężenia elektromechanicznego, upośledzenie funkcji samego aparatu kurczliwego i wyczerpanie substratów energetycznych
- wzrost stężenia jonów wodorowych - obniżanie się pH śródkomórkowego w mięśniach
- spadek tempa glikolizy i upośledzenie resyntezy ATP - spowolnienie rozprzestrzeniania się pobudzenia wzdłuż włókien mięśniowych
- niedotlenienie pracujących mięśni lub utrudnienie odpływu z nich krwi żyłnej
- wzrost temperatury mięśni



- wyczerpywanie glikogenu z komórek mięśniowych
- przesunięcie wody w strukturach zewnątrz i wewnątrz komórkowych
- zmniejszenie się objętości sarkoplazmy oraz obrzmienie mitochondriów
- obniżenie zawartości potasu w organizmie, obniżenie zawartości magnezu w mięśniach szkieletowych i zwiększenie stężenia sodu.

Wielkość zmian zmęczeniowych w mięśniach zależy nie tylko od intensywności i czasu trwania wysiłku, ale również od stanu wytrenowania i wieku badanych osób (Kozłowski, Nazar, 1999; Fortuna, 2008; Wan i wsp., 2017)

Najczęściej wymieniane przyczyny rozwoju zmęczenia ośrodkowego:

- w wyniku integracji impulsów docierających podczas pracy do ośrodkowego układu nerwowego powstaje odczucie ciężkości pracy. Jeśli przekroczy ono pewien poziom staje się czynnikiem zmniejszającym motywację do kontynuowania wysiłku i zwiększania jego intensywności - zmiany humoralne występujące w trakcie wysiłku
- ból mięśni szkieletowych - duszność (w warunkach hiperwentylacji), stwierdza się zależność pomiędzy poziomem aktywacji ośrodkowego układu nerwowego, a sprawnością wielu funkcji układu nerwowego m. in. kontrolą ruchu, koncentracją uwagi, kojarzeniem, zapamiętywaniem itp.
- hipoglikemia
- wzrost stężenia neuroprzekazników w mózgu (np. serotonina)

(Kozłowski; Nazar, 1999; Fortuna 2008; Chmura, 2014; Wan i wsp., 2017).

Istnieje wiele różnych metod klasyfikacji zmęczenia. Ze względu na czas trwania, zmęczenie można podzielić na ostre i przewlekłe. Ostre zmęczenie może być szybko złagodzone przez odpoczynek lub zmianę stylu życia, natomiast zmęczenie przewlekłe jest stanem definiowanym jako uporczywe zmęczenie trwające kilka miesięcy, które nie ustępuje pod wpływem odpoczynku (Silverman i wsp., 2010; Norheim i wsp., 2011). Zmęczenie może być również klasyfikowane jako zmęczenie psychiczne, które odnosi się do poznawczych lub percepcyjnych aspektów zmęczenia, oraz zmęczenie fizyczne, które odnosi się do sprawności układu ruchowego (Wan i wsp., 2017). Zmęczenie psychiczne opisano jako stwierdzenie

psychobiologiczne charakteryzujące się ostrym wzrostem subiektywnych ocen zmęczenia psychicznego i wysiłku psychicznego oraz zaburzeń poznawczych, w zdolności do utrzymywania koncentracji i uwagi, identyfikowania i wykorzystywania wskazówek wizualnych oraz oceny i dostosowania działania, które wynikają z długich okresów wymagających aktywności poznawczej (Badin i wsp., 2016).

W piłce nożnej, zmęczenie definiuje się jako spadek zdolności do utrzymania pracy mięśniowej, który objawia się zmniejszeniem tempa pracy pod koniec meczu (Reilly i wsp., 2008). Spadek intensywności wysiłku w drugiej połowie jest konsekwentnie stwierdzany niezależnie od poziomu rywalizacji i sprawności fizycznej zawodników. Postuluje się, że zawodnicy mogą świadomie regulować tempo swojego wysiłku, aby utrzymać intensywność pracy przez cały czas trwania meczu, co sugeruje, że zawodnicy mogą podejmować wysiłek poniżej swoich możliwości fizycznych w pierwszej połowie jako technikę oszczędzania energii (Carling i wsp., 2008; Kołodziejczyk i wsp., 2021). Analiza ruchu podczas meczu wykazała, że zmęczenie występuje na trzech różnych etapach gry: (I) po krótkotrwałym okresie intensywnej gry; (II) w początkowej fazie drugiej połowy; oraz (III) pod koniec meczu (Oliva-Lozano i wsp., 2022). Zdolność do wykonywania intensywnych wysiłków jest znacznie ograniczona pod koniec meczu w piłce nożnej, o czym świadczy zmniejszenie intensywności biegu w ostatnich 15 minutach u dużej liczby (40%) zawodników podczas meczu na najwyższym poziomie. W konsekwencji ich zdolność do wykonywania powtarzanych sprintów pogarsza się (Rampinini i wsp., 2007). Zostało to dodatkowo potwierdzone wzrostem wysiłku o wysokiej intensywności (+65% sprintu; +25% biegu) u zawodników rezerwowych, którzy weszli na boisko w drugiej połowie meczu, w porównaniu z zawodnikami, którzy rozpoczęli grę, przy czym spadek wydajności był niezależny od pozycji zajmowanych przez zawodników w drużynie (Mohr i wsp., 2003; Kołodziejczyk i wsp., 2021). Inne czynniki, które mogą wywołać zmęczenie pod koniec meczu, to odwodnienie i hipertermia (Mohr i wsp., 2010). Wykazano, że zawodnicy tracą ponad 2 l płynów podczas meczu w umiarkowanym środowisku termicznym; w środowisku gorącym i wilgotnym utrata płynów szacowana jest na 4-5 l (Shirreffs i wsp., 2006). Umiarkowane pogorszenie stanu nawodnienia zawodników może mieć negatywny wpływ na wydolność, a utrata płynów na poziomie 1-2% masy ciała może zwiększać wzrost temperatury ciała. Stwierdzono, że średnia temperatura ciała u piłkarzy mieści się w zakresie 39-39,5°C, podczas wysiłku meczowego, a momentami przekracza 40°C, co może wywoływać zmęczenie ośrodkowe (Nybo i wsp., 2004; Maughan i wsp., 2010; Ozgunen i wsp., 2010). W związku z tym sugeruje się, że zarówno utrata płynów, jak i wzrost

temperatury wewnętrznej ciała są czynnikami warunkującymi zmniejszenie intensywności wysiłku fizycznego pod koniec meczu. Istotne obniżenie zdolności do sprintu o wysokiej intensywności obserwuje się już przy utracie płynów odpowiadającej 1% masy ciała (Krustrup i wsp., 2006). Przyczyny zmęczenia podczas gry w piłkę nożną pozostają niejednoznaczne, a na obniżenie wydolności fizycznej prawdopodobnie składa się wiele czynników, których względna rola jest zmienna osobniczo (Ament i wsp., 2009). Pomimo, że wiele badań wskazuje, że aktywność fizyczna odgrywa mniejszą rolę niż umiejętności techniczne, to zmęczony zawodnik w drugiej części gry lub po intensywnym okresie gry, słabiej wykorzystuje swój potencjał techniczny i podejmuje prostsze rozwiązania, co ma znaczenie dla końcowego wyniku gry (Bradley i wsp., 2009; Rampinini i wsp., 2011; Barte i wsp., 2017; Marqués-Jiménez i wsp., 2017).

## 1.7. Cele badań i uzasadnienie

W procesie treningowym nieustannie poszukuje się najbardziej efektywnych i optymalnych czasowo rozwiązań kształtujących zmiany adaptacyjne z uwzględnieniem wydolności tlenowej i beztlenowej sportowców (Bartlett i wsp., 2016). Często monitoring obciążeń fizycznych i kontrola efektów treningowych jest nieodpowiednia lub pomijana, szczególnie w drużynach młodzieżowych. Rzadko spotyka się permanentną kontrolę procesu treningowego, która jest wykonywana systematycznie. Taki stan spowodowany jest m.in. brakiem wystarczających środków finansowych na zakup odpowiedniego sprzętu oraz małą liczbą trenerów prowadzących treningi. Często trenerzy na poziomie drużyn młodzieżowych prowadzą nie jedną, lecz nawet kilka grup zawodników. Kontrola treningu jest niezmiernie istotnym aspektem całego procesu szkoleniowego, na bazie którego projektuje się poszczególne cykle treningowe. Dzięki temu można efektywniej kształtować wybrane zdolności oraz zapobiegać przetrenowaniu (Akubat i wsp., 2018). Dlatego też, **pierwszym celem przeprowadzonych badań było określenie zależności pomiędzy powstawaniem zmęczenia a wielkością obciążenia zawodnika podczas treningu interwałowego o wysokiej intensywności (HIIT) i treningu „Małe gry” (SSG). Drugim celem była holistyczna ocena efektywności treningu HIIT i treningu SSG w treningu piłkarzy nożnych.** Wyniki tych badań dostarczą trenerom piłki nożnej oraz trenerom przygotowania motorycznego dowodów empirycznych, uzasadniających wybór między metodami szkolenia SSG i HIIT. W pracy postawiono następujące pytania:

Pytania dotyczące pierwszego celu:

1. Który z typów treningów; trening interwałowy o wysokiej intensywności – HIIT, czy „Małe gry” – SSG, powoduje wyższą ocenę postrzeganego wysiłku (RPE)?

Hipoteza: Trening HIIT powoduje wyższe RPE.

*Narzędzie badawcze / parametr: skala RPE / ocena RPE.*

2. Jaka jest zależność pomiędzy oceną postrzeganego wysiłku a poziomem zmęczenia w treningu HIIT i SSG?

Hipoteza: Wyższe RPE, powoduje wyższy poziom zmęczenia.

*Narzędzie badawcze / parametr: skala RPE i arkusz wellness / ocena RPE i „zmęczenie”.*

3. W którym z treningów, HIIT, czy SSG, szybciej zachodzi restytucja powysiłkowa, na podstawie „wskaźnika restytucji”?

Hipoteza: W treningu SSG szybciej zachodzi restytucja powysiłkowa.

Narzędzie badawcze / parametr: system „Catapult Sports” / WSR.

4. Jaka jest zależność pomiędzy obciążeniem wewnętrznym i zewnętrznym zawodnika, a zmęczeniem i bólem mięśniowym w dniu potreningowym?

Hipoteza: Większe obciążenie wewnętrzne i zewnętrzne, powoduje większe zmęczenie i ból mięśniowy.

Narzędzie badawcze / parametr: system “Catapult Sports” i arkusz wellness / HRE i PL, “zmęczenie” i “ból mięśniowy”.

5. Który z treningów, HIIT, czy SSG powoduje większe obciążenie wewnętrzne i zewnętrzne?

Hipoteza: Trening HIIT powoduje większe obciążenie wewnętrzne i zewnętrzne.

Narzędzie badawcze / parametr: system “Catapult Sports” / HRE i PL.

Pytania dotyczące drugiego celu:

6. Który z treningów, HIIT, czy SSG, powoduje większe korzyści adaptacyjne wydolności beztlenowej i tlenowej.

Hipoteza: Trening HIIT powoduje większe korzyści adaptacyjne wydolności beztlenowej i tlenowej.

Narzędzie badawcze / parametr: Testy: progresywny, Yo-Yo IR1, szybkość 30 m i RAST /  $VO_2$  max, HR max, PPB,  $La^-$  max, pokonany dystans, estymowane  $VO_2$  max, czas, Moc max, Moc max/kg, Fi.

7. Jak zmieniła się dynamika restytucji powysiłkowej w treningu HIIT i SSG, po eksperymencie, na podstawie stężenia mleczanu we krwi?

Hipoteza: Wzrost dynamiki restytucji powysiłkowej w treningu HIIT i SSG.

Narzędzie badawcze / parametr: analizator krwi /  $La^-$  max.

## 2. Metody badawcze

### 2.1. Osoby badane

W badaniach wzięło udział 36 piłkarzy nożnych z dwóch drużyn młodzieżowych U-18 (średnia wieku  $17,5 \pm 0,52$ ), jednego z wiodących klubów piłkarskich z Wrocławia, biorących udział w rozgrywkach ligi makroregionalnej i wojewódzkiej. Średnia stażu treningowego zawodników wyniosła  $8,13 \pm 1,5$  roku. Drużyny trenowały razem, w tym samym czasie, 5 razy w tygodniu na boisku ze sztuczną nawierzchnią, a mecze ligowe rozgrywane były w soboty lub niedziele. Czas pojedynczego treningu wynosił 90-120 minut. Drużyny prezentowały podobny poziom wydolności fizycznej, co zostało stwierdzone podczas badań pilotażowych poprzez testy laboratoryjne (test progresywny) i terenowe (YoYo IR1, szybkość 30 m i RAST). Pierwsza drużyna została podzielona za pomocą metody randomizacji na dwie grupy wykonujące dodatkowy trening motoryczny (Kukowska i wsp., 2005; Los Arcos i wsp., 2015). Do pierwszej drużyny w celu ujednoczenia liczby zawodników w grupach eksperymentalnych, 6 zawodników z drugiej drużyny zostało losowo przydzielonych do treningów eksperymentalnych.

- 1 grupa (12 osób) zrealizowała program zawierający dwie jednostki motoryczne w tygodniu zawierające serię małych gier (SSG);

- 2 grupa (12 osób) zrealizowała program zawierający dwie jednostki motoryczne w tygodniu zawierające serię treningu interwałowego o wysokiej intensywności (HIIT);

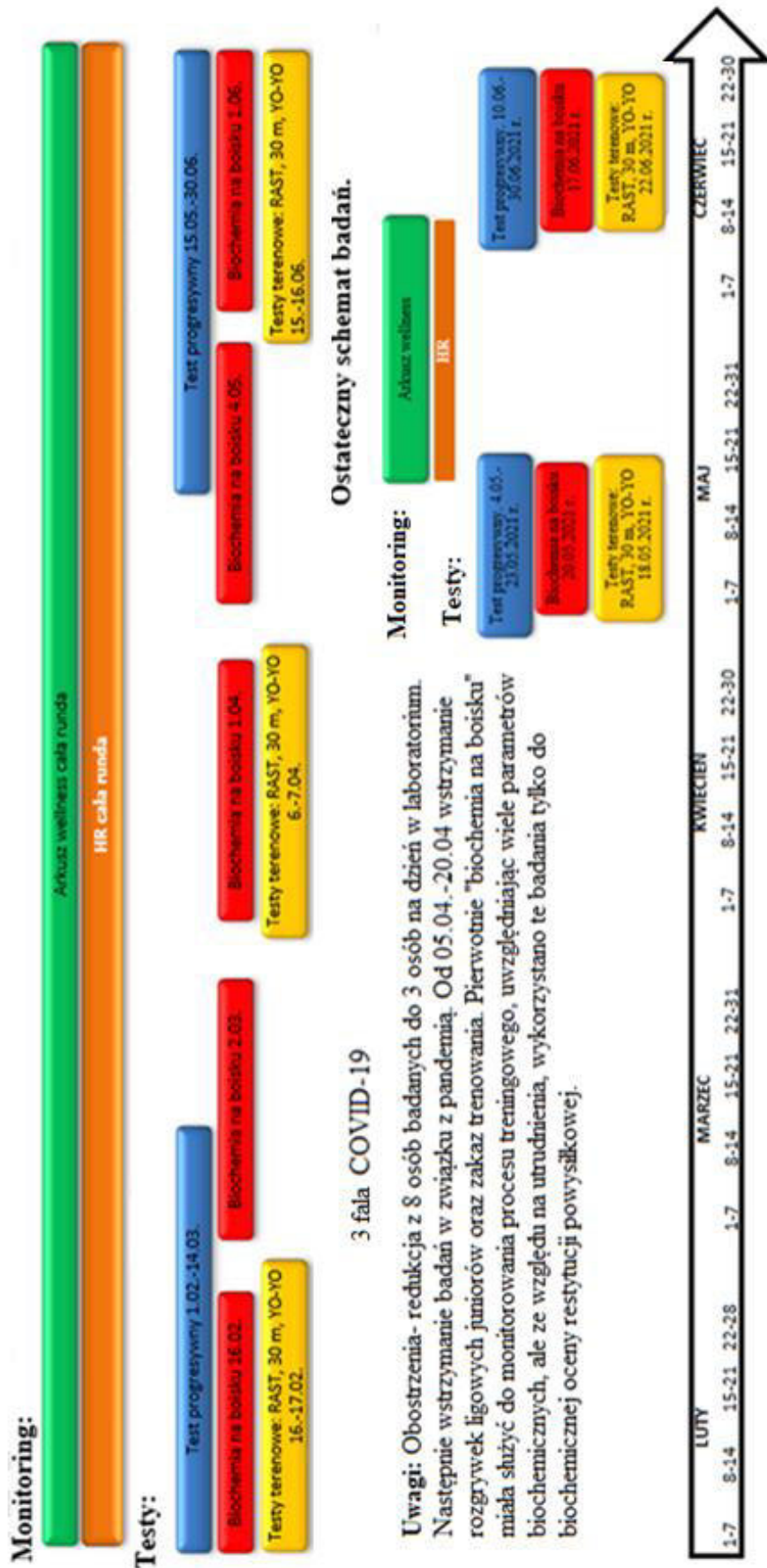
Druga drużyna (12 osób) została w projekcie badawczym przydzielona jako grupa kontrolna i zrealizowała standardowy trening piłkarski.

Pierwotnie w badaniach wzięło udział 42 zawodników, ale ze względu na sytuacje losowe: kontuzje, absencje i również te związane z pandemią COVID-19, ostateczna liczba badanych została zredukowana do 36. Kryteria włączenia: staż treningowy – min. 8 lat, liczba treningów – 5 w tygodniu, zgoda rodzica/opiekuna prawnego do udziału w badaniach. Kryteria wyłączenia: pozycja bramkarza nie była brana do analizy, choroby przewlekłe, regularna absencja na treningach (tj. min. 2 absencje tygodniowo), kontuzja co najmniej 2 tygodnie w czasie trwania eksperymentu. Badani zostali poinformowani o celu i przebiegu badań, na które wyrazili zgodę oraz uzyskano zgodę od ich rodziców, bądź opiekunów prawnych. Uzyskano zgodę na badania od senackiej Komisji ds. Etyki Badań Naukowych AWF Wrocław (nr zgody 17/2020).

## **2.2. Procedury badawcze**

Przed badaniami zapoznano badanych i trenerów o procedurach całego projektu badawczego. Projekt badawczy rozpoczęto podczas pierwszej fali COVID-19 (lipiec – październik 2020 r.) i podjęto kontynuację podczas drugiej fali (luty – kwiecień 2021 r.). Niestety ze względu na obostrzenia i bardzo dużą ilość brakujących danych, potraktowano wyżej wymienione badania jako pilotażowe. Trzecia próba realizacji projektu została przesunięta w czasie i ukończono ją podczas trzeciej fali COVID-19 (maj – czerwiec 2021 r.). Ze względu na pandemię i obostrzenia jakie zostały nałożone w Polsce i w Europie, schemat badawczy uległ modyfikacji. Finalnie monitoring i testy odbywały się w okresie startowym przez 8 tygodni (w tym 4 tygodnie treningów eksperymentalnych), w końcowej fazie sezonu (Ryc. 2).

## Planowany projekt badań



Rycina 2. Schemat badawczy, zaplanowany na całą rundę wiosenną sezonu 2020/21 oraz ostatecznie zrealizowany.



Przed przystąpieniem do eksperymentu odbyły się pomiary antropometryczne zawodników, w których zarejestrowano następujące parametry: BMI, wysokość ciała, masę ciała, poziom tkanki tłuszczowej. Pomiary przeprowadzono przy pomocy analizatora składu ciała „InBody 230” (Seul, Korea) (Tab. 1).

Tabela 1. Pomiary antropometryczne badanych grup. 1 – przed eksperymentem, 2 – po eksperymencie.

<b>Grupa</b>	<b>BMI (Body Mass Index)</b>	<b>wysokość ciała [cm]</b>	<b>masa ciała [kg]</b>	<b>tkanka tłuszczowa [%]</b>
HIIT 1	21,97±2,01	172,25±4,33	65,26±7,84	11,83±3,05
HIIT 2	21,85±1,99	172,48±4,11	66,14±8,21	11,35±2,88
SSG 1	22,74±2,15	179,45±3,47	73,20±6,39	14,36±2,64
SSG 2	22,68±2,64	179,67±3,51	73,84±5,91	14,22±2,74
KON 1	22,61±1,41	179,07±3,93	72,57±5,32	14,98±2,65
KON 2	22,56±1,81	179,13±3,84	73,42±5,31	14,78±2,69

Tygodniowy mikrocykl treningowy badanych piłkarzy w grupach eksperymentalnych składał się z 5-ciu treningów i był zaplanowany w następujący sposób:

- poniedziałek: dzień regeneracyjny – ćwiczenia w basenie lub wolne; dla zawodników, którzy grali poniżej 30 min w meczu lub w ogóle zastosowano interwałowy trening wyrównawczy w postaci toru przeszkód, przy wykorzystaniu piłki, płotków, pachołków i drabinki koordynacyjnej. Zakres intensywności 50-60% HR max.

- wtorek: trening motoryczny realizowany za pomocą HIIT i SSG, ćwiczenia z piłką bez przeciwnika (tj. ćwiczenia techniczno-taktyczne) – faza rozwinięcia gry, budowanie akcji w bocznym sektorze boiska. Wymiana podań zakończona uderzeniem na bramkę. Zakres intensywności 90-100% HR max.

- środa: ćwiczenia z piłką, z przeciwnikiem - rozegranie fragmentu gry w przewadze liczbowej 3 x 2, po skróceniu pola gry przez obrońców. Faza pierwsza to przygotowanie ataku pozycyjnego przez pomocników zakończonego dośrodkowaniem oraz przesuwaniem linii obrony w stosunku do piłki i skróceniem pola gry po wybiciu jej z pola karnego. Faza druga to rozegranie sytuacji 3 x 2 przez dwóch pomocników i napastnika na 1/4 boiska po skróceniu pola gry przez obrońców. Zakres intensywności 70-80% HR max.

- czwartek: trening motoryczny realizowany za pomocą HIIT i SSG, ćwiczenia koordynacyjno-techniczne, z wykorzystaniem przyborów, takich jak: drabinka koordynacyjna, pacholki treningowe i „talerze treningowe”, ćwiczenia uderzeń na bramkę z różnych odległości, po wykonaniu „dryblingu”. Zakres intensywności 90-100% HR max.

- piątek: strategia przedmeczowa – fragmenty gry, przesuwanie formacji obronnej, przejście z obrony do ataku, rozegranie ataku i wykończenie akcji. Rozgrywanie różnych wariantów taktycznych. Zakres intensywności 70-80% HR max.

- sobota lub niedziela: mecz.

Mikrocykl grupy kontrolnej był podobny, o zbliżonych wartościach intensywności. Założenia treningowe i akcenty motoryczne były rozłożone w podobny sposób, jak mikrocyklu grup eksperymentalnych; HIIT i SSG.

Eksperyment polegał na wprowadzeniu dodatkowych wstawek motorycznych: HIIT i SSG, które odbywały się 2 razy w tygodniu, we wtorki i czwartki, między godzinami 15:00 - 17:00. Dokładny program każdej sesji treningowej HIIT i SSG był realizowany na początku każdego treningu, po standardowej rozgrzewce, trwającej 15 min, do osiągnięcia intensywności 150-160 sk/min. Oprócz realizowania programów HIIT i SSG, wszyscy zawodnicy, w tym grupa kontrolna brali udział w swoich „zwykłych” sesjach treningowych i oficjalnych meczach. Oba typy treningów miały taką samą objętość i założenia intensywności, a utrzymywanie pożądanej intensywności uzyskiwano poprzez werbalną motywację trenerów.

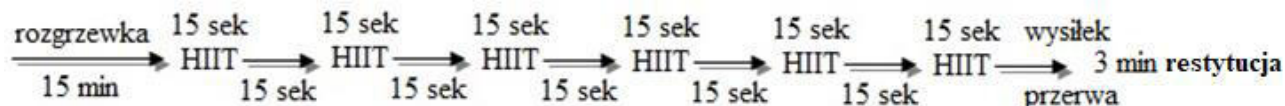
#### **Założenia eksperymentalnych treningów:**

##### *Trening interwałowy o wysokiej intensywności (High Intensity Interval Training) - HIIT*

- 3 serie
- 6 x (15s / 15s) wysiłek / 3 min restytucji po każdej serii (Ryc. 3)
- Bieg wahadłowy na dystansie 35 m (od pola bramkowego do połowy boiska)
- Intensywność 90-100% HR max

Tabela 2. Rzeczywista częstość skurczów serca w grupie HIIT.

Grupa	HR (% HR max)
HIIT	93±2,93



Rycina 3. Schemat przebiegu jednej serii treningu HIIT

Badany protokół był realizowany m.in. przez następujących autorów (Brocherie i wsp., 2014; Faude i wsp., 2014; Dellal i wsp., 2015; Selmi i wsp., 2018; Rabbani i wsp., 2019).

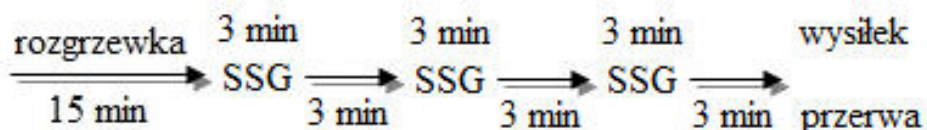
Trening „Male gry” (Small Sided Games) – SSG – 3 x 3 + bramkarz + „neutralny”\*

- 3 serie
- (3 min wysiłek – jedna seria/3 min restytucja, po każdej serii) (Ryc. 4)
- Wymiary boiska 30 x 25 m
- Intensywność 90-100% HR max

Tabela 3. Rzeczywista częstość skurczów serca w grupie SSG.

Grupa	HR (% HR max)
SSG	89±3,36

\*„neutralny” – dodatkowy zawodnik grający z drużyną posiadającą piłkę, w celu zwiększenia intensywności gry (wyłączony z analizy wyników badań).



Rycina 4. Schemat przebiegu treningu SSG

Zastosowany protokół był realizowany m.in. przez następujących autorów (Koklu, 2011; Owen i wsp., 2012; Koklu i wsp., 2013; Radziński i wsp., 2013; Faude i wsp., 2014; Eniseler i wsp., 2017; Arslan i wsp., 2017; Rabbani i wsp., 2019).

## **Monitoring – kontrola bieżąca i operacyjna**

### Ocena postrzeganego wysiłku (RPE)

Ocenę postrzeganego wysiłku (RPE), opartą na skali CR-10 Borga, zmodyfikowaną przez Fostera, zebrano od każdego badanego, po każdym treningu eksperymentalnym (Foster i wsp., 2001). W każdy wtorek i czwartek trwania projektu badawczego (sumarycznie zebrano osiem arkuszy RPE od każdego zawodnika). Bezpośrednio po zakończeniu części motorycznej HIIT i SSG zawodnicy przychodzili do wcześniej wyznaczonego miejsca. Każdy piłkarz podawał ocenę na osobności, w celu uniknięcia wpływu innych badanych na ocenę własną. Upřednio zawodnicy zostali dokładnie zaznajomieni ze skalą oraz otrzymali ją do indywidualnego wglądu. RPE była realizowana m.in. przez następujących autorów (Coutts i wsp., 2009; Hammouda 2013; Koklu i wsp., 2013; Selmi i wsp., 2018; Fanchini 2015; Arslan i wsp., 2017; Rabbani i wsp., 2018; Rabbani i wsp., 2019) (Tab. 4, Ryc. 5).

Tabela 4. Ocena postrzeganego wysiłku (RPE).

0	Odpoczynek
1	Bardzo lekki
2	Lekki
3	Umiarkowany
4	
5	Ciężki
6	
7	Bardzo ciężki
8	

9	
10	Maksymalny

Charakterystyka poszczególnych ocen skali RPE:

- 0 – brak wysiłku, zmęczenie nieodczuwalne, duszność nie występuje;
- 1 – zmęczenie bardzo małe, duszność słabo odczuwalna / prawie żaden wysiłek, ale większy niż sen czy oglądanie TV;
- 2 – zmęczenie małe, duszność niewielka / możliwość utrzymania przez wiele godzin, łatwość w oddychaniu i rozmowie;
- 3 – zmęczenie średniego stopnia, duszność umiarkowana / możliwość utrzymania przez wiele godzin, łatwość w oddychaniu i rozmowie;
- 4 – zmęczenie dość duże, duszność stosunkowo ciężka / cięższy oddech pozwala tylko na krótką rozmowę, jest coraz trudniej, ale wciąż stosunkowo komfortowo;
- 5, 6 – zmęczenie duże, duszność ciężka / cięższy oddech pozwala tylko na krótką rozmowę, jest coraz trudniej, ale wciąż stosunkowo komfortowo;
- 7, 8 – zmęczenie bardzo duże, duszność bardzo ciężka; granica komfortu – dyskomfortu, ciężki oddech pozwalający wypowiedzieć jedynie pojedyncze zdanie;
- 9 – zmęczenie bardzo, bardzo duże, duszność prawie maksymalna / bardzo trudna do utrzymania intensywność, oddycha się z trudem i możliwością wypowiedzenia pojedynczych słów;
- 10 – zmęczenie maksymalne, duszność nie do wytrzymania / niemal niemożliwe jest kontynuowanie wysiłku, brak zdolności do rozmowy, można utrzymać bardzo krótko.

<b>SKALA RPE</b>	<b>STREFA INTENSYWNOŚCI</b> GŁÓWNY SYSTEM ENERGETYCZNY	<b>% HR max</b>
<b>10</b> <b>Maksymalny Wysiętek</b> Kompletnie pozbawiony tchu Rozmawianie jest niemożliwe	<b>Strefa 1</b> ATP-PC	<b>94-100%</b>
<b>9</b> <b>Ciężki Wysiętek</b> Ledwo łapie oddech i może wypowiadać pojedyncze słowa	<b>Strefa 2</b> ATP-PC i szybka glikoliza	<b>89-94%</b>
<b>7/8</b> <b>Mocny Wysiętek</b> Szybki i płytki oddech, ale może wypowiadać pełne zdania	<b>Strefa 3</b> Szybka i wolna glikoliza	<b>82-89%</b>
<b>4/6</b> <b>Średni Wysiętek</b> Oddychanie jest ciężkie ale jest w stanie prowadzić rozmowę	<b>Strefa 4</b> Wolny glikolityczny i tlenowy	<b>75-82%</b>
<b>2/3</b> <b>Lekki wysiętek</b> Łatwo jest oddychać i prowadzić rozmowę. Nie odczuwa zmęczenia	<b>Strefa 5</b> Tlenowy	<b>65-75%</b>
<b>1</b> <b>Bardzo Lekka Aktywność</b> Spacer z psem po parku	<b>Strefa 6</b> Tlenowy	<b>60-65%</b>

Rycina 5. Skala RPE Źródło [www.przygotowaniemotoryczne.com/](http://www.przygotowaniemotoryczne.com/)

### Arkusz Wellness

Badani zostali dokładnie zaznajomieni ze skalą i poinstruowani, w jaki sposób wypełnić arkusz wellness (Tab. 5). Zawodnicy otrzymali również skalę wraz z opisem do indywidualnego wglądu. Każdego dnia, 30 min po przebudzeniu, sportowcy wypełniali arkusz wellness. Badani przesyłali arkusze pod koniec tygodnia, po meczu, który kończył mikrocykl, na dedykowany adres e-mail. Do analizy wzięto średnie arytmetyczne z dni treningowych i dni potreningowych.

Tabela 5. Skala arkusza wellness.

<b>OCENA</b>	<b>1 (bardzo zła)</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10 (bardzo dobra)</b>
<b>SEN</b>	Bezsenna	Niespokojny		Trudności z zasypianiem		Dobry	Dobry			Bardzo wypoczęty
<b>STRES</b>	Bardzo zestresowany		Lekki stres		Neutralnie		Zrelaksowany			Bardzo zrelaksowany
<b>ZMĘCZENIE</b>	Stale zmęczony		Zmęczony bardziej niż zwykle		Neutralnie		Czuję się "świeży"			Czuję się bardzo "świeży"
<b>BÓL MIĘŚNIOWY</b>	Bardzo duży		Lekka bolesność		Neutralnie		Odczucie „świeżych” mięśni			Bardzo wysoka „świeżość” mięśni
<b>NASTRÓJ</b>	Bardzo zirytowany		Rozdrażniony			Dobry	Dobry			Bardzo pozytywny

Arkusze wellness były realizowane m.in. przez następujących autorów (Hooper i Mackinnon, 1995; Fessi i wsp., 2016; Gallo i wsp., 2016; Owen i wsp., 2018). W badaniach wykorzystano modyfikację Owena i wsp. (2018), rozszerzoną do 10 stopniowej skali.

### Wskaźnik restytucji

Podczas kontroli wydłużonych efektów treningowych wykorzystywana była ocena współczynnika skuteczności restytucji (WSR). Współczynnik skuteczności restytucji, według Klonowicza wyraża się wzorem:  $WSR = C2 - C3 / C2 - C1 \times 100\%$ , gdzie: C1 – jest to częstość skurczów serca przed wysiłkiem; C2 – częstość skurczów serca mierzona w pierwszej minucie po wysiłku; C3 – częstość skurczów serca 5 minut po wysiłku. Dane częstości skurczów serca zostały zebrane za pomocą nadajników „Catapult Sports” umieszczonych w specjalnych kamizelkach, które zawodnicy mieli założone w czasie trwania całego treningu (od momentu wejścia na boisko, aż do zakończenia treningu). Następnie dane te zostały wydzielone w odpowiednich minutach tj.: przed wysiłkiem, w pierwszej minucie po wysiłku i w 5 minucie po wysiłku, potrzebnych do wyliczenia WSR, w dedykowanym oprogramowaniu „OpenField 3.4.0” (Melbourne, Australia). WSR był mierzony tuż po jednostce motorycznej HIIT i SSG, po której zawodnicy przechodzili do biernej restytucji, w pozycji stojącej. Wynik WSR można interpretować następująco; obciążenie: za małe 60-100%, optymalne 50-60%, za duże poniżej 50% (Zatoń, 1998; Naglak, 1999; Chmura i wsp., 2007; Fortuna, 2008; Sozański i wsp., 2015).

### Obciążenie zewnętrzne i wewnętrzne

Poprzez obciążenie zewnętrzne wyrażone przez parametr: Player Load (PL) i obciążenie wewnętrzne, wyrażone poprzez „Heart Rate Exertion” (HRE) można stwierdzić jak dużo pracy wykonał zawodnik podczas sesji treningowej lub meczu. Jest to miara objętości. Sama liczba jest jednostką arbitralną, co oznacza, że jest używana jako współczynnik skalujący do porównania całkowitej ilości wykonanej pracy (Catapult Sports, Melbourne, Australia).

Player Load (PL), jest sumą przyspieszeń we wszystkich osiach wewnętrznego akcelerometru trójosiowego podczas ruchu. Uwzględnia on chwilową szybkość zmian przyspieszenia i dzieli ją przez współczynnik skalowania (podzielony przez 100). Współczynnik skalowania jest wykorzystywany do zmniejszenia całkowitej wartości skumulowanego obciążenia gracza, co ułatwia pracę z nim podczas analizy (Catapult Sports, Melbourne, Australia).



Formuła algorytmu, gdzie  $ax_i$ ,  $ay_i$ , oraz  $az_i$  są wartościami przyspieszenia odpowiednio w kierunkach x, y oraz z (www.catapultsports.com).

$$\sum_{i=1}^n \sqrt{(ax_i - ax_{i-1})^2 + (ay_i - ay_{i-1})^2 + (az_i - az_{i-1})^2}$$

Heart Rate Exertion (HRE), to parametr służący do oceny obciążenia układu sercowo-naczyniowego. Mnoży on czas spędzony w kolejnych zakresach częstości skurczów serca przez współczynnik wagowy, gdzie czas spędzony w wyższych zakresach częstości skurczów serca jest mnożony przez wyższy współczynnik wagowy. Współczynnik skalowania: Pasma 1 – 1; Pasma 2 - 1,122; Pasma 3 - 1,322; Pasma 4 - 1,554; Pasma 5 - 2,037; Pasma 6 - 3,252 (Catapult Sports, Melbourne, Australia).

Zbieranie danych dotyczących obciążenia zewnętrznego (Player Load - PL) i wewnętrznego (Heart Rate Exertion - HRE), odbywało się za pomocą urządzenia Catapult Vector 7, zawierającego odbiornik GPS 10 Hz i czujniki inercyjne 100 Hz (trójosiowy akcelerometr, żyroskop i magnetometr), połączone bezprzewodowo z systemem ClearSky LPS (Catapult Sports, Melbourne, Australia). Obecnie jest to najnowsza wersja systemu monitorującego aktywność sportowców opierających się na GPS. Wszyscy zawodnicy zostali wyposażeni w nadajnik Catapult Vector 7, znajdujący się w dopasowanej kieszonce wbudowanej w kamizelkę sportową (górną część pleców), aby zapewnić przyległe dopasowanie czujników i swobodę ruchów sportowców.

### **Testy wysiłkowe – kontrola okresowa**

Każdy test został przeprowadzony 2 razy: przed eksperymentem i po eksperymencie (4 tygodnie później).

#### Testy laboratoryjne:

##### *Test progresywny*

Test przeprowadzony na bieżni mechanicznej InSPORTline IN 2440, z narastającym obciążeniem, do odmowy zawodnika spowodowanej subiektywnym maksymalnym zmęczeniem. Badani podczas trwania testu i przez czas restytucji oddychali przez maskę a powietrze wydychane z każdego oddechu kierowane było do analizatora oddechowego

Cosmed Quark CPET. Do pomiaru częstości skurczów serca wykorzystano sport-tester „Polar H7”.

- Obciążenie startowe – 6 km/h, zwiększane o 2 km/h, co 3 minuty, do odmowy badanej osoby.
- Parametry mierzone w teście: pobór tlenu ( $VO_2$ ), wentylacja minutowa płuc (VE), wydalanie dwutlenku węgla ( $VCO_2$ ), objętość oddechowa (VT), współczynnik oddechowy (RQ), częstość skurczów serca (HR), stężenie mleczanu ( $La^-$ ), morfologia krwi, równowaga kwasowo-zasadowa oraz wyznaczenie maksymalnych wartości powyższych parametrów.
- Wyznaczenie progu przemian beztlenowych. Metodą ekwiwalentów oddechowych  $VE / VCO_2$ ,  $VE / VO_2$ . Kryterium: Płaska lub obniżająca się krzywa  $VE / VO_2$  zaczyna się unosić, podczas gdy krzywa  $VE / VCO_2$  również się unosi (Beaver i wsp., 1986).

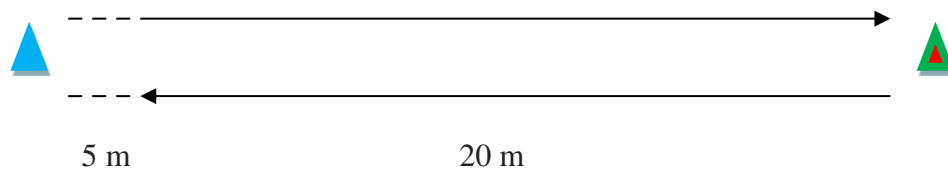
W piśmiennictwie można znaleźć wiele odniesień dotyczących stosowania tego typu testu (Hoff, 2002; Bravo i wsp., 2008; Szmit i wsp., 2009; Radziwiński i wsp., 2013; Faude i wsp., 2014; Ascii, 2016; Engel i wsp., 2018; Laursen i Buchheit, 2019).

#### Testy terenowe wykonywane na boisku:

Testy przed eksperymentem zostały przeprowadzone w temperaturze ok. 23°C i wietrze ok. 20 km/h, bez opadów deszczu, po eksperymencie w temperaturze ok. 25°C i wietrze ok. 19 km/h, bez opadów deszczu. Warunki pogodowe pobierano ze strony [www.accuweather.com](http://www.accuweather.com), z dnia oraz godziny rozpoczęcia treningu. Test szybkości i test RAST odbyły się w ten sam dzień (wtorek), a w kolejny dzień przeprowadzony został test Yo-Yo IR1 (środa).

#### *Test Yo-Yo IR1*

Zawodnicy wykonywali bieg wahadłowy 2x20 m zainicjowane sygnałem dźwiękowym, z wykorzystaniem mobilnego głośnika. Po każdym wahadle następowała 10-sekundowa aktywna przerwa; marsz 2x5 m (Ryc. 6). Intensywność wysiłku stopniowo się zwiększała, aż do momentu, kiedy badany nie był w stanie kontynuować testu lub gdy 2 razy nie zmieścił się w przedziałach czasowych dla danego powtórzenia. Test służy do oceny wytrzymałości o charakterze interwałowym i zdolności do powtarzanych wysiłków aerobowych o wysokiej intensywności. Wynikiem testu był pokonany dystans i estymowany  $VO_2$  max. Parametr  $VO_2$  max ( $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ ) estymowano ze wzoru: pokonany dystans  $\times 0.0136 + 45.3$  (Krustrup i wsp., 2006).

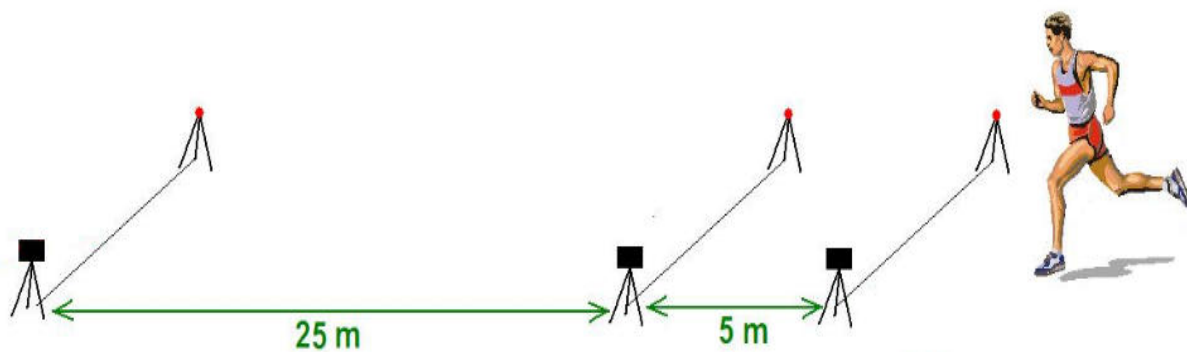


Rycina 6. Schemat przebiegu testu Yo-Yo IR1.

W niniejszych badaniach zastosowano poziom IR1 dedykowany dla grup młodzieżowych. Test Yo-Yo był realizowany m. in. przez następujących autorów (Koklu, 2011; Fanchini i wsp., 2014; Arslan i wsp., 2017; Eniseler i wsp., 2017; Howard i Stavrianeas, 2017).

*Test szybkości na 30 m*

Zawodnik wykonywał 30 metrowy bieg z maksymalną intensywnością, podczas którego został zmierzony czas pokonanego dystansu (s) (Ryc. 7). Sportowcy wykonali po dwie próby, zapisany został lepszy wynik. Zawodnik startował z pozycji stojącej, noga wykroczna była ustawiona 10 cm przed linią startu, w momencie przebiegnięcia pomiędzy pierwszą parą fotokomórek, automatycznie zaczynał być naliczany czas, w momencie przebiegnięcia pomiędzy ostatnią parą fotokomórek, czas przestawał być naliczany. Test został przeprowadzony przy użyciu fotokomórek „Fusion Sport Smart Speed” (Reading, United Kingdom, 2010) oraz aplikacji mobilnej. Test szybkości był realizowany m. in. przez następujących autorów (Buchheit i wsp., 2010; Comfort i wsp., 2013; Chmura i wsp., 2018).



Rycina 7. Schemat przebiegu testu szybkości na 30 m.

## Test RAST

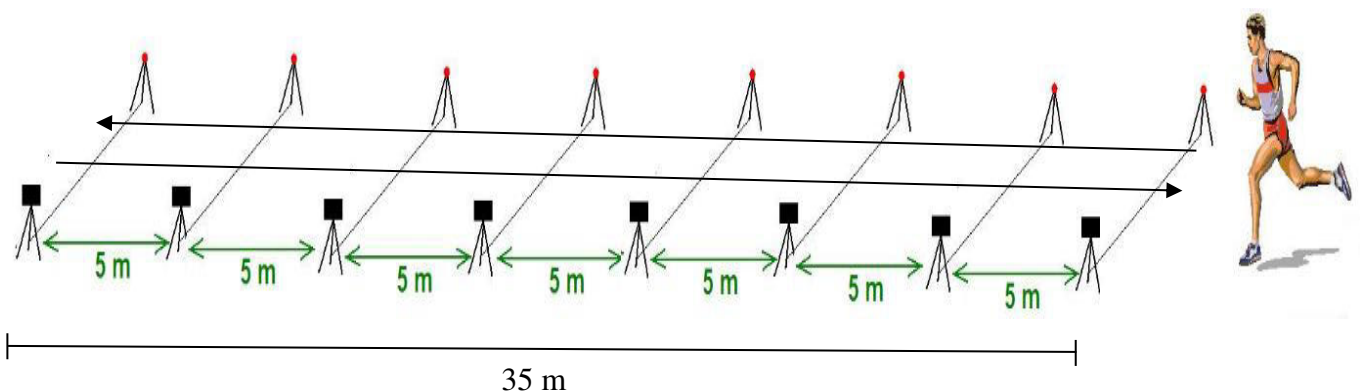
Zawodnik wykonywał sześć 35-metrowych biegów, z maksymalną intensywnością, z 10 sekundami przerwy pomiędzy powtórzeniami (Ryc. 8). Zawodnik startował z pozycji stojącej, noga wykrocza była ustawiona 10 cm przed linią startu, w momencie przebiegnięcia pomiędzy pierwszą parą fotokomórek, automatycznie zaczynał być naliczany czas, w momencie przebiegnięcia pomiędzy ostatnią parą fotokomórek, czas przestawał być naliczany. W teście zmierzono czas pokonanego dystansu i wyznaczono: moc maksymalną ( $P_{\max}$ ), moc średnią ( $P_{\text{mean}}$ ), moc minimalną ( $P_{\min}$ ), wskaźnik spadku mocy (FI). Test został przeprowadzony przy użyciu fotokomórek „Fusion Sport Smart Speed” (Reading, United Kingdom, 2010) oraz aplikacji mobilnej.

$$P_{\max} [\text{W}] = \text{masa ciała} \times \text{dystans}^2 (\text{m}) / \text{czas}^3 (\text{s})$$

$$P_{\text{mean}} [\text{W}] = \text{suma wszystkich wartości} / 6$$

$$\text{FI} [\text{W/s}] = (P_{\max} - P_{\min}) / \text{suma czasów 6 powtórzeń (s)}$$

Test RAST był realizowany m.in. przez następujących autorów (Buchheit i wsp., 2010; Cipryan i Gajda, 2011; Andrade i wsp., 2014; Brocherie i wsp., 2014; Faude i wsp., 2014; Andrade i wsp., 2015).



Rycina 8. Schemat przebiegu testu RAST.

## Biochemia na boisku – rejestracja dynamiki restytucji powysiłkowej, na podstawie stężenia mleczanu we krwi

W celu oznaczenia stężenia mleczanu we krwi, materiał biologiczny został pobrany przez wykwalifikowany, profesjonalny personel laboratoryjny. Wszystkie zasady

bezpieczeństwa były ściśle przestrzegane podczas pobierania krwi. Pobranie krwi przed eksperymentem zostało przeprowadzone w temperaturze ok. 22°C i wietrze ok. 18,5 km/h, bez opadów deszczu, po eksperymencie w temperaturze ok. 24°C i wietrze ok. 21 km/h, bez opadów deszczu. Warunki pogodowe rejestrowano ze strony [www.accuweather.com](http://www.accuweather.com). Krew kapilarną pobierano z opuszki palca, niedominującej ręki za pomocą jednorazowego nakłuwacza do pobierania próbek krwi; Medlance R Red (HTL-Zone, Niemcy), o ostrzu 1,5 mm i głębokości penetracji 2,0 mm. 65 µl krwi pobierano bezpośrednio do heparynizowanej kapilary. Następnie próbkę krwi natychmiast po pobraniu przetransportowano do analizatora gazów Cobas b 123 firmy Roche Diagnostics. Krew została pobrana przed treningiem, w 1 min, w 5 min i 10 min po części motorycznej HIIT i SSG oraz po całym treningu grupy kontrolnej, w pozycji siedzącej. Zawodnicy mieli wyznaczone specjalne miejsce do pobierania krwi, pod zadaszeniem, usytuowane tuż przy boisku. Badani schodzili z boiska po 6 osób, po to, by zapewnić każdemu ten sam czas pobrania krwi. Do pobierania krwi było zaangażowanych 5 osób; 1 osoba przygotowywała palec do pobrania krwi z opuszki (dezynfekcja, przetarcie wacikiem), 2 osoba nakłuwała po kolei 6-ciu zawodnikom opuszki palca, pozostałe 3 osoby pobierały próbki krwi od maksymalnie dwóch kolejnych zawodników, w celu ograniczenia opóźnienia w pobraniu krwi. Następnie 1-sza i 2-ga osoba odbierały kapilary z krwią i opatrywały palce badanych. Procedura rozpoczynała się 15 sek. przed czasem właściwym pobrania krwi i kończyła się 15 sek. po wyznaczonym punkcie czasowym ostatniego pobrania krwi (Podgórski i wsp., 2021).

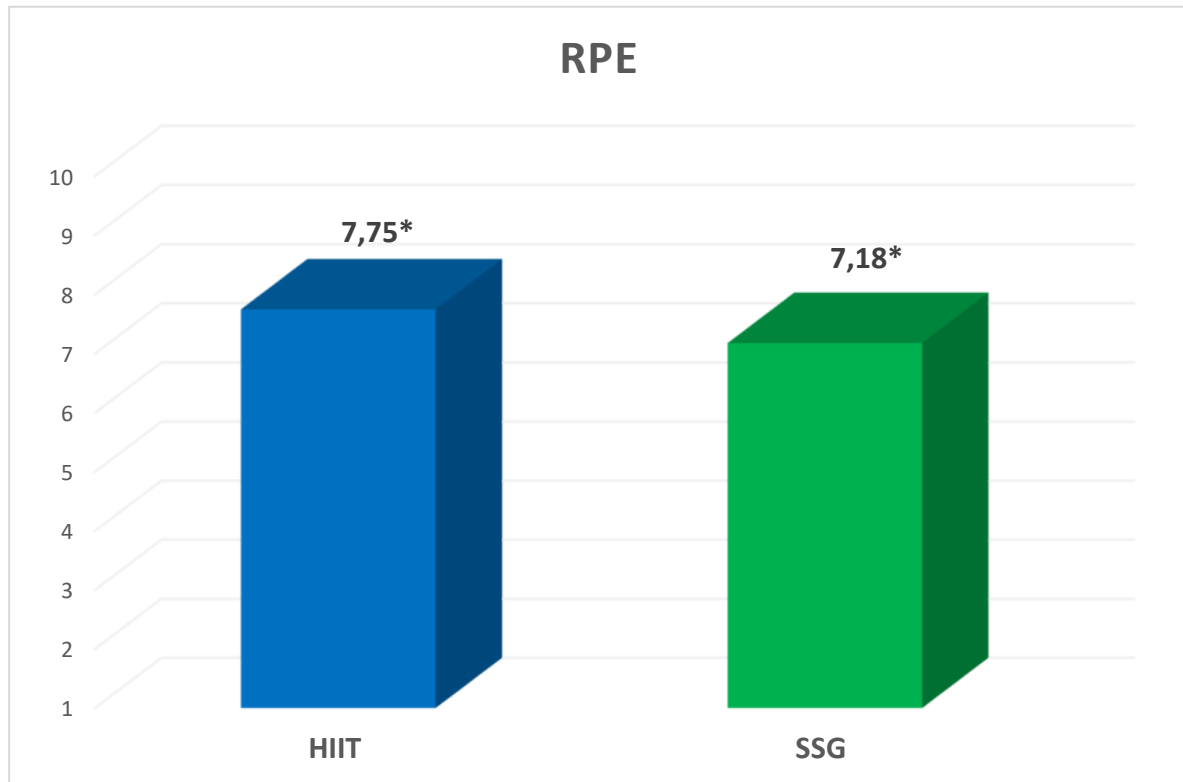
### 2.3. Analiza statystyczna

Przy pomocy programu G\*Power 3.1.9.4, ustalono minimalną, niezbędną liczebność grup na poziomie 10 osób badanych, przy wielkości efektu (ES), na poziomie 0,85 (f Cohena) i mocy 0,8. (Faul i wsp. 2007; Cohen 1988;). Wyniki badań poddano analizie matematyczno-statystycznej, w której wyliczono średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe. Testem Shapiro - Wilka sprawdzono normalność rozkładu. Następnie badane wskaźniki psychofizyczne (RPE, arkusz wellness), kinematyczne: (PL); fizjologiczne: (VO<sub>2</sub> max, HR, HRE); biochemiczne: (La<sup>-</sup>) i poddano analizie wariancji za pomocą testu t-studenta (gdy występował rozkład normalny) lub Manna - Whitneya (gdy rozkład normalny nie występował). Pod względem monitoringu dokonano porównania pomiędzy dwoma grupami eksperymentalnymi (HIIT i SSG). Ponadto dokonano porównania badanych parametrów pomiędzy pierwszym i drugim badaniem, pod względem efektywności treningów w obrębie poszczególnych grup (HIIT, SSG oraz grupa kontrolna). Do zweryfikowania siły związku pomiędzy badanymi parami zmiennych posłużono się korelacją rang Spearmana ze względu na charakter zmiennych; zmienne uporządkowano ze względu na ich „siłę” (Sobczyk, 2022). W badaniach uwzględniono poziom ufności na poziomie  $\alpha = 0,05$ . Do wyliczeń statystycznych posłużono się językiem programowania „R”, wykresy i korelacje zostały stworzone w programie „Microsoft Excel 10” i programie „R Studio”. W celu przejrzystego przedstawienia wyników, w pracy zostały uwzględnione tylko korelacje przeciętne, wysokie, bardzo wysokie i prawie pełne, wg. klasyfikacji J. Guilford'a:  $r = 0$  zmienne nie są skorelowane,  $0 < r < 0,1$  korelacja nikła,  $0,1 \leq r < 0,3$  korelacja słaba,  $0,3 \leq r < 0,5$  korelacja przeciętna,  $0,5 \leq r < 0,7$  korelacja wysoka,  $0,7 \leq r < 0,9$  korelacja bardzo wysoka,  $0,9 \leq r < 1$  korelacja prawie pełna.

### 3. Wyniki

#### 3.1. Monitoring – kontrola bieżąca i operacyjna

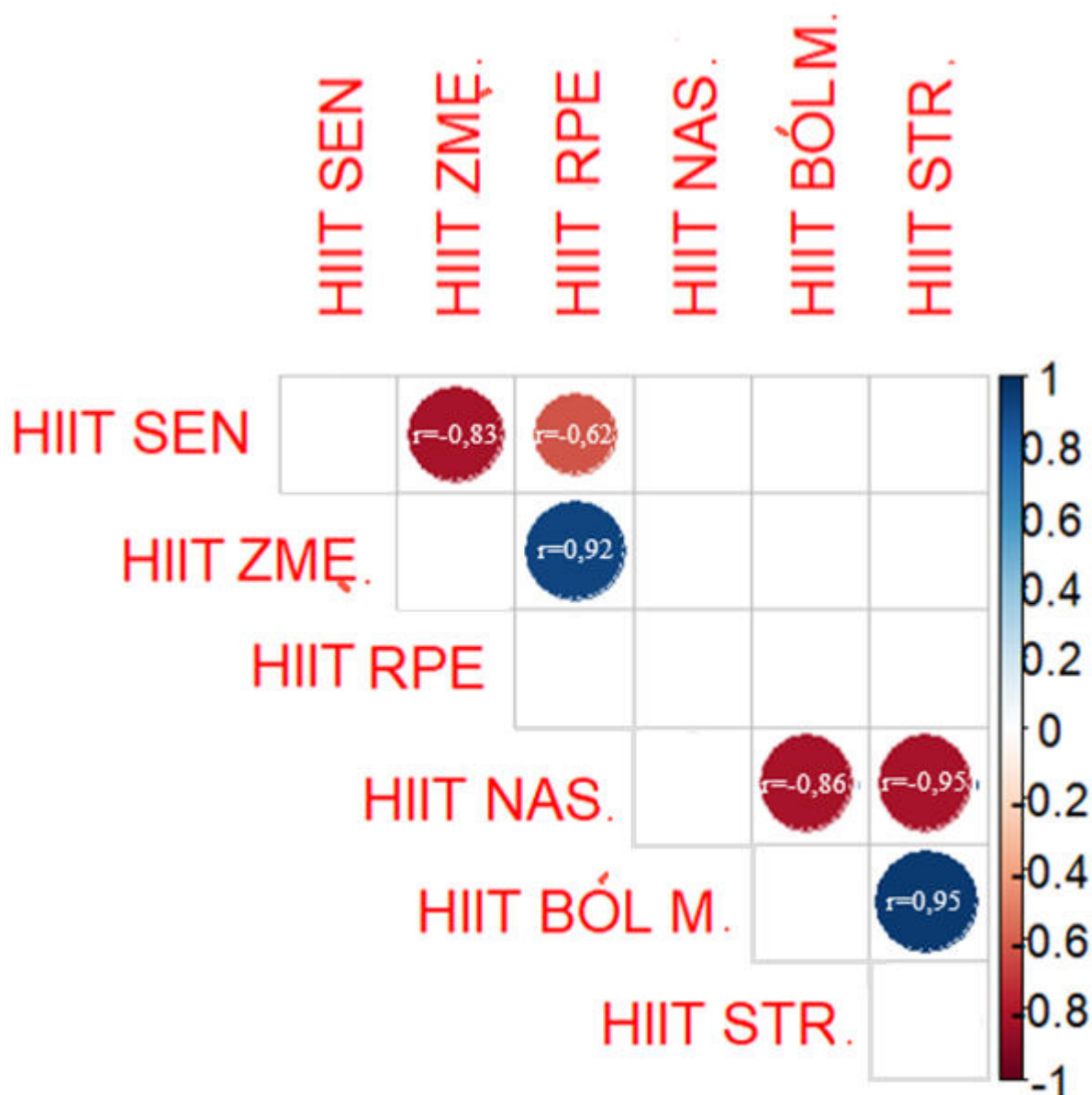
##### 3.1.1. RPE – ocena postrzeganego wysiłku



Rycina 9. Porównanie RPE pomiędzy grupami HIIT i SSG, średnie ze wszystkich jednostek treningowych.

Porównując obie grupy eksperymentalne stwierdzono, że w grupie HIIT średnia wartość RPE wyniosła  $7,75 \pm 0,33$  (au), a w grupie SSG  $7,18 \pm 0,53$  (au). \*Różnica istotna statystycznie między grupami ( $p \leq 0,01$ ) (Ryc. 9).

3.1.2. Arkusz Wellness – dzień potreningowy i RPE – dzień treningowy



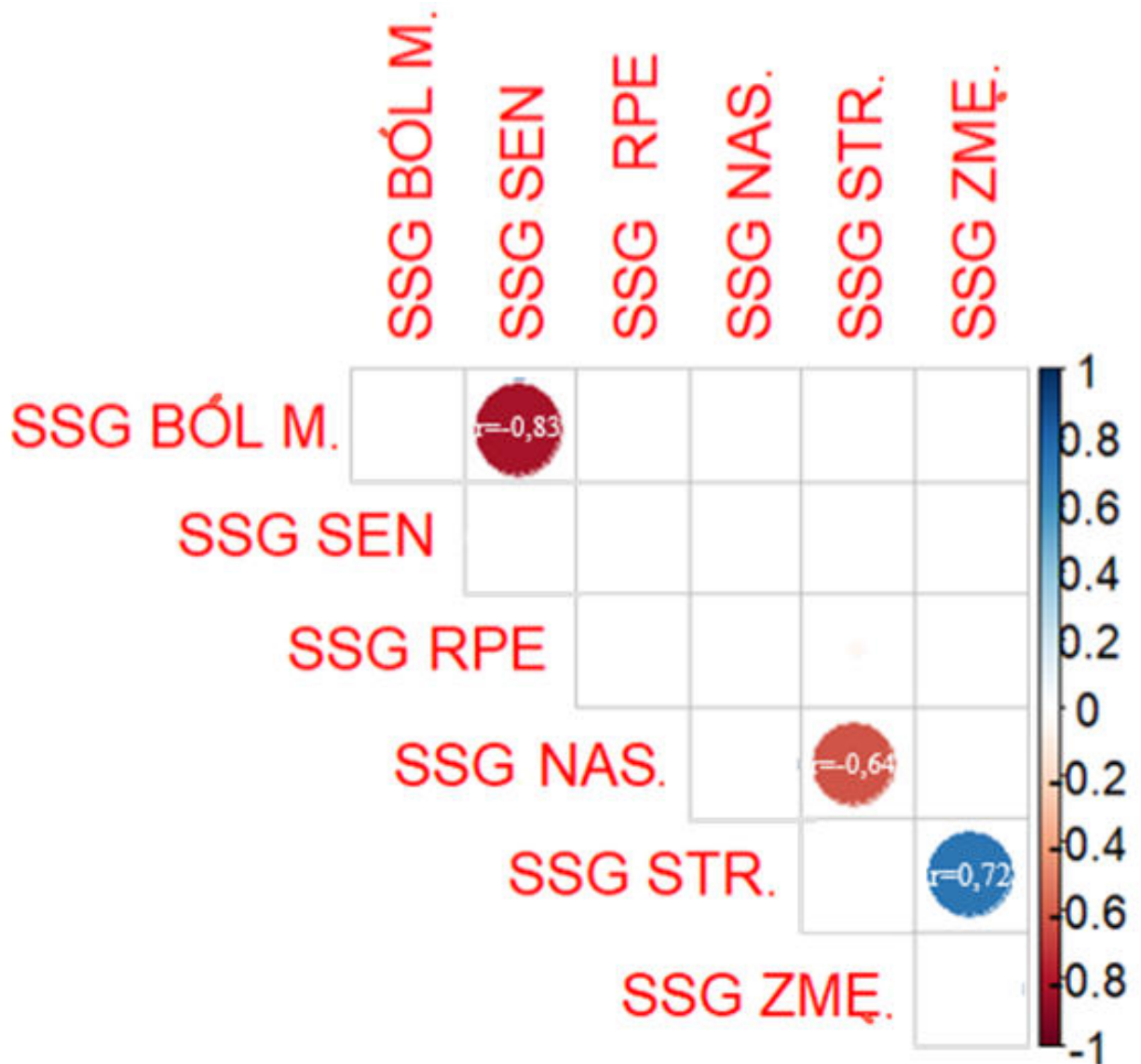
Rycina 10. Korelacje parametrów z arkusza wellness i RPE, w grupie HIIT, średnie ze wszystkich jednostek treningowych.

Legenda: HIIT – grupa badawcza, wykonująca trening HIIT, sen – odczucie jakości snu, zmę. – odczucie zmęczenia, RPE – ocena postrzeganego wysiłku, nas. – odczucie nastroju, ból m. – odczucie bólu mięśniowego, str. – odczucie stresu

W grupie HIIT w dniu potreningowym zarejestrowano dodatnią prawie pełną korelację pomiędzy wielkością zmęczenia i RPE ( $r=0,92$ ). Ponadto wykazano dodatnią prawie pełną korelację pomiędzy poziomem stresu i bólem mięśniowym ( $r=0,95$ ); ujemną prawie pełną korelację pomiędzy poziomem stresu i nastrojem ( $r=-0,95$ ); oraz ujemną bardzo wysoką korelację pomiędzy bólem mięśniowym i nastrojem ( $r=-0,86$ ); ujemną, bardzo wysoką



korelację pomiędzy jakością snu i zmęczeniem ( $r=-0,83$ ); ujemną wysoką korelację pomiędzy jakością snu i RPE ( $r=-0,62$ ) (Ryc. 10).



Rycina 11. Korelacje parametrów z arkusza wellness i RPE, w grupie SSG, średnie ze wszystkich jednostek treningowych.

Legenda: SSG – grupa badawcza, wykonująca trening SSG, ból m. – odczucie bólu mięśniowego, sen – odczucie jakości snu, RPE – ocena postrzeganego wysiłku, nas. – odczucie nastroju, str. – odczucie stresu, zmę. – odczucie zmęczenia

W grupie SSG w dniu potreniingowym zarejestrowano ujemną bardzo wysoką korelację pomiędzy jakością snu i bólem mięśniowym ( $r=-0,83$ ). Ponadto zarejestrowano dodatnią bardzo wysoką korelację pomiędzy wielkością zmęczenia i stresu ( $r=0,72$ ) oraz ujemną wysoką korelację pomiędzy poziomem stresu i nastrojem ( $r=-0,64$ ) (Ryc. 11).

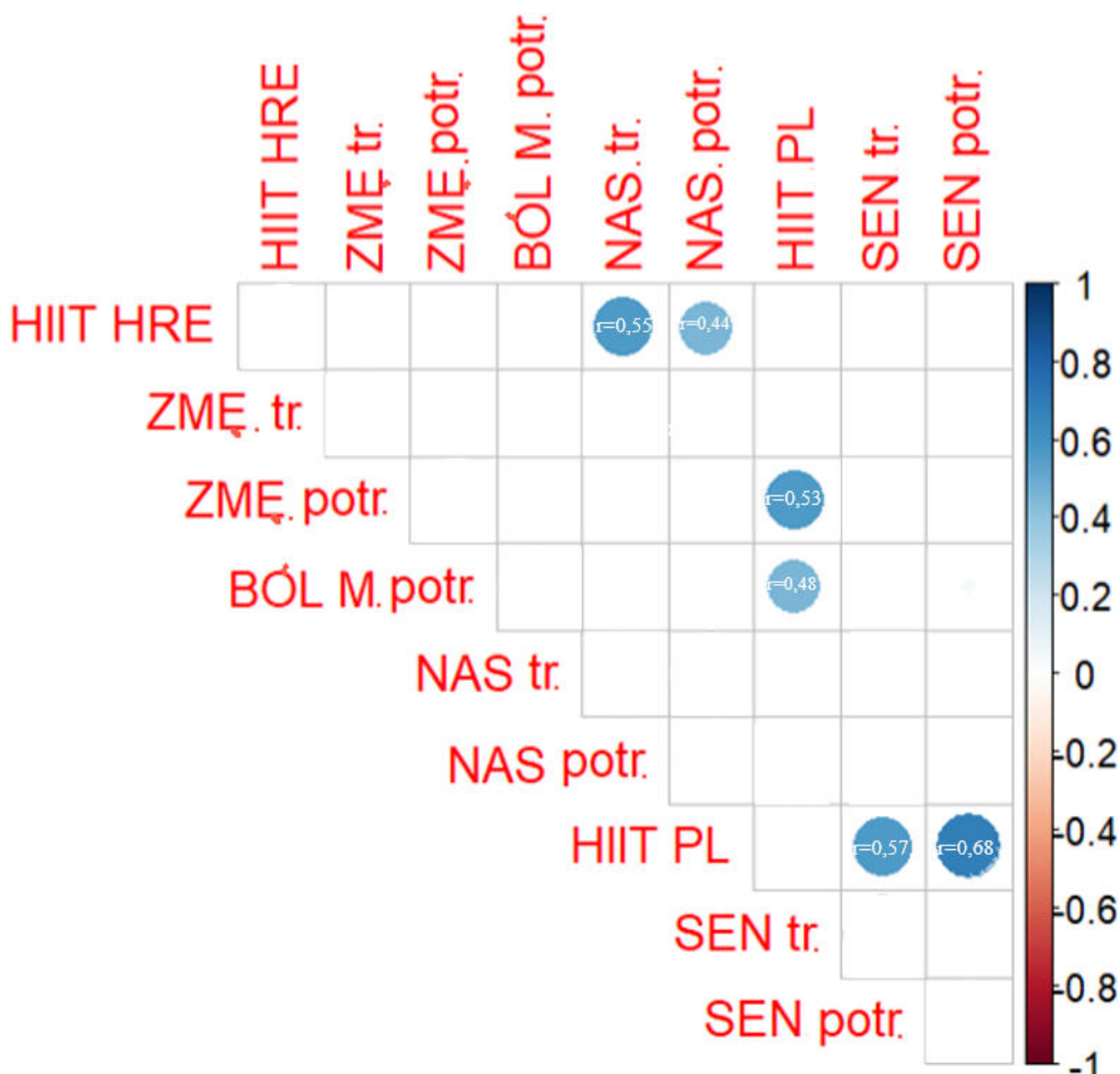
### 3.1.3. WSR – współczynnik restytucji



Rycina 12. Porównanie WSR pomiędzy grupami HIIT i SSG, średnie ze wszystkich jednostek treningowych.

Porównując obie grupy eksperymentalne stwierdzono, że w grupie HIIT zarejestrowano WSR na poziomie  $61,39\% \pm 5,46$ , natomiast w grupie SSG na poziomie  $55,68\% \pm 5,26$ . \*Różnica istotna statystycznie między grupami ( $p \leq 0,01$ ) (Ryc. 12).

### 3.1.4. Arkusz wellness i obciążenie treningowe: PL i HRE

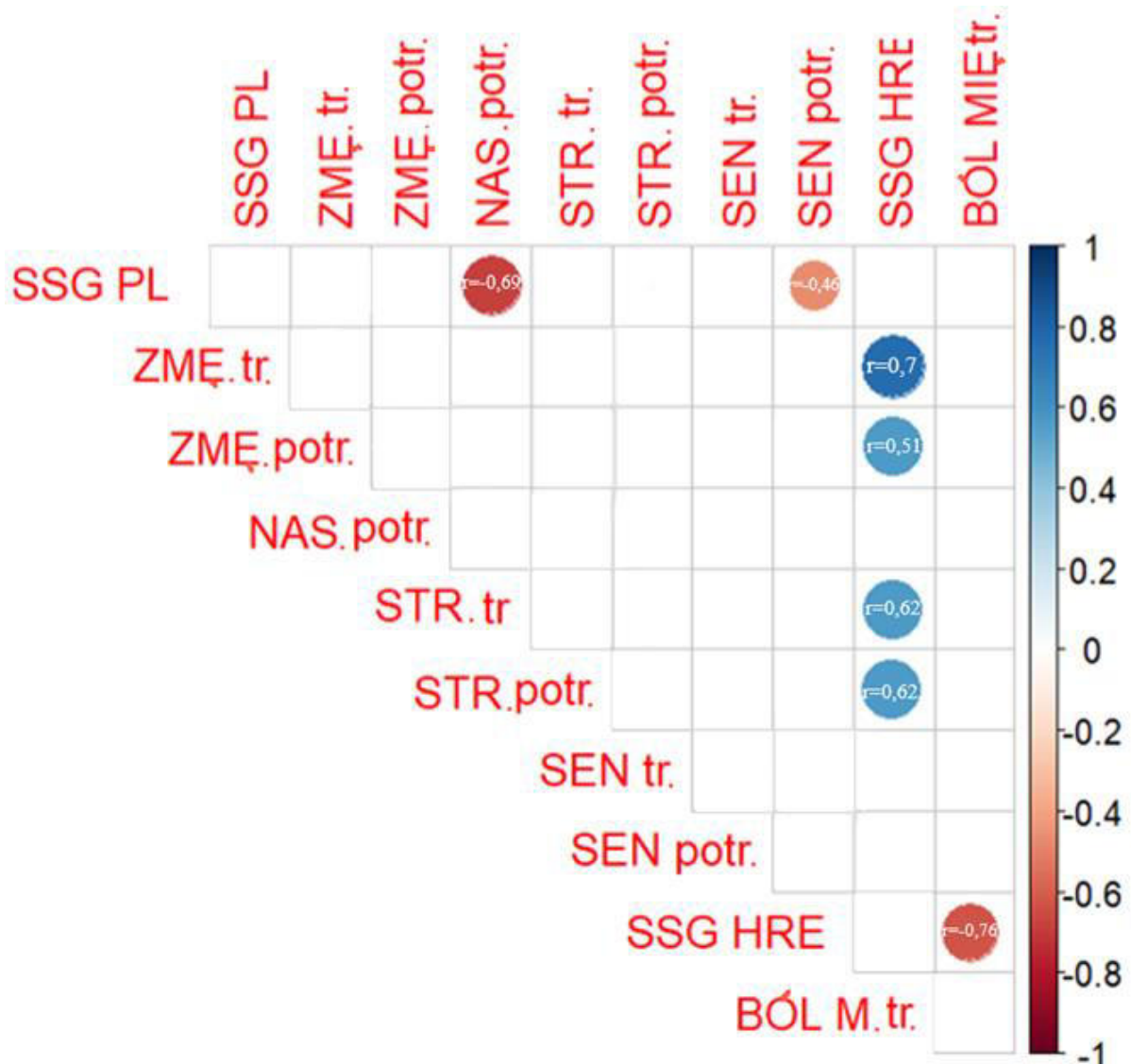


Rycina 13. Korelacje parametrów z arkusza wellness i HRE (obciążenie wewnętrzne) i PL (obciążenie zewnętrzne), w grupie HIIT, średnie ze wszystkich jednostek treningowych.

Legenda: HIIT – grupa badawcza, wykonująca trening HIIT, tr. – dzień treningowy, potr. – dzień potreningowy, HRE – „Heart Rate Exertion” – obciążenie wewnętrzne, zmę. – odczucie zmęczenia, ból m. – odczucie bólu mięśniowego, nas. – odczucie nastroju, PL – „Player Load” – obciążenie zewnętrzne, sen – odczucie jakości snu

W grupie HIIT zarejestrowano: dodatnią, wysoką korelację pomiędzy PL i zmęczeniem ( $r=0,53$ ), w dniu potreningowym; dodatnią, przeciętną korelację pomiędzy PL i bólem mięśniowym ( $r=0,48$ ), w dniu potreningowym. Ponadto zarejestrowano dodatnią, wysoką korelację pomiędzy PL i jakością snu ( $r=0,68$ ), w dniu potreningowym; dodatnią, wysoką

korelację pomiędzy PL i jakością snu ( $r=0,57$ ), w dniu treningowym; dodatnią, wysoką korelację pomiędzy HRE i nastrojem ( $r=0,55$ ), w dniu treningowym; dodatnią, przeciętną korelację pomiędzy HRE i nastrojem ( $r=0,44$ ), w dniu potreningowym (Ryc. 13).



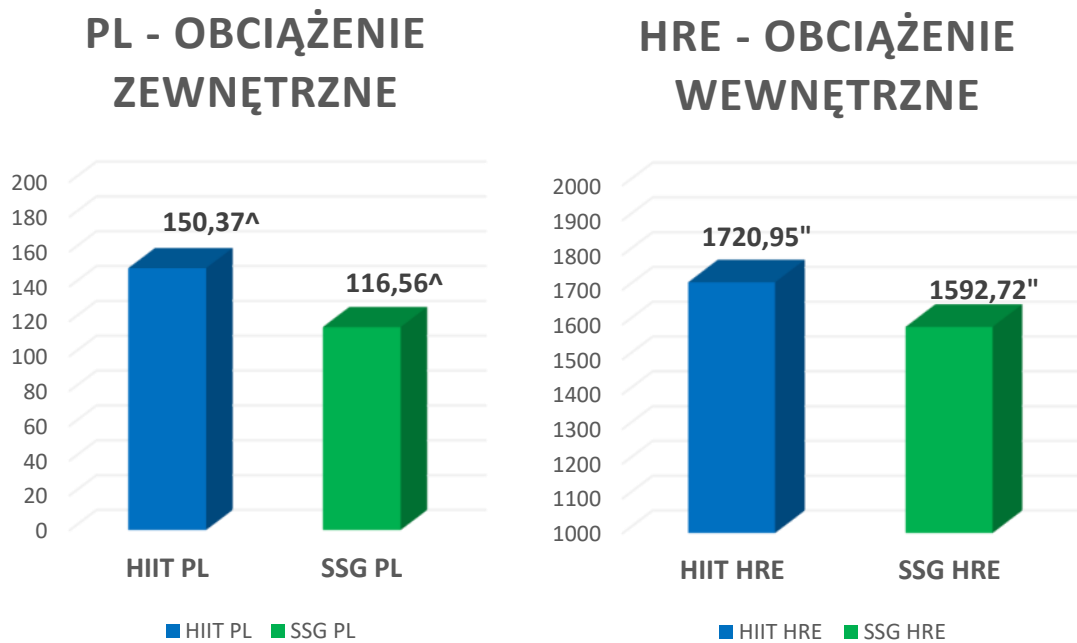
Rycina 14. Korelacje parametrów z arkusza wellness i HRE (obciążenie wewnętrzne) i PL (obciążenie zewnętrzne), w grupie SSG, średnie ze wszystkich jednostek treningowych.

Legenda: SSG – grupa badawcza, wykonująca trening SSG, tr. – dzień treningowy, potr. – dzień potreningowy, PL – „Player Load” – obciążenie zewnętrzne, zmę. – odczucie zmęczenia, nas – odczucie nastroju, str. – odczucie stresu, sen – odczucie jakości snu, HRE – „Heart Rate Exertion” – obciążenie wewnętrzne, ból m. – odczucie bólu mięśniowego

W grupie SSG zarejestrowano dodatnią, wysoką korelację pomiędzy HRE i zmęczeniem ( $r=0,51$ ), w dniu potreningowym. Ponadto zarejestrowano ujemną, bardzo wysoką korelację

pomiędzy HRE i bólem mięśniowym ( $r=-0,76$ ), w dniu treningowym; dodatnią bardzo wysoką korelację pomiędzy HRE i wielkością zmęczenia ( $r=0,7$ ), w dniu treningowym; ujemną, wysoką korelację pomiędzy PL i nastrojem ( $r=-0,69$ ), w dniu potreniingowym; dodatnią, wysoką korelację pomiędzy HRE i poziomem stresu ( $r=0,62$ ), w dniu treningowym; dodatnią, wysoką korelację pomiędzy HRE i poziomem stresu ( $r=0,62$ ), w dniu potreniingowym; ujemną, przeciętną korelację pomiędzy; PL i jakością snu ( $r=-0,46$ ), w dniu potreniingowym (Ryc. 14).

3.1.5. PL – obciążenie zewnętrzne i HRE – obciążenie wewnętrzne.



Rycina 15. Porównanie PL i HRE pomiędzy grupami HIIT i SSG, średnie ze wszystkich jednostek treningowych.

Porównując obie grupy eksperymentalne stwierdzono, że w grupie HIIT zarejestrowano PL na poziomie  $150,37 \pm 30,25$  (au), w grupie SSG na poziomie  $116,56 \pm 37,37$  (au). <sup>^</sup>Różnica istotna statystycznie między grupami ( $p \leq 0,001$ ). Natomiast analizując HRE, w grupie HIIT wyniosło  $1720,95 \pm 352,59$  (au), a w grupie SSG  $1592,72 \pm 439,27$  (au). <sup>''</sup>Różnica istotna statystycznie między grupami ( $p \leq 0,03$ ) (Ryc. 15).

## 3.2. Testy wysiłkowe – kontrola okresowa

### 3.2.1. Test progresywny w laboratorium

Tabela 6. Wyniki testu progresywnego wykonanego w laboratorium, na początku i na końcu badań właściwych.

Parametr	VO <sub>2</sub> max		HR max		PPB (HR)		La <sup>-</sup> max	
	[ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]		[sk/min]		[sk/min]		[mmol/l]	
grupa/badanie	1	2	1	2	1	2	1	2
HIIT	53,08	55,02	190	188	176	178	8,58	8,47
	±4,82	±3,81	±10	±10	±7	±7	±1,87	±2,13
SSG	53,42	52,84	192	189	179	180	8,72	8,59
	±5,52	±5,86	±9	±9	±7	±7	±1,66	±2
KON	51,54	50,13	194	191	178	178	7,21	6,98
	±3,09	±2,66	±7	±6	±5	±5	±1,53	±1,4

Legenda: VO<sub>2</sub> max [ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>] – maksymalny pobór tlenu, HR max [sk/min] – maksymalna częstość skurczów serca, PPB [sk/min] – próg przemian beztlenowych, La<sup>-</sup> max – maksymalne stężenie mleczanu we krwi, HIIT – grupa eksperymentalna wykonująca trening interwałowy o wysokiej intensywności, SSG - grupa eksperymentalna wykonująca trening „małe gry”, KON – grupa kontrolna, 1 – badanie pierwsze; przed eksperymentem, 2 – badanie drugie; po eksperymentcie.

W testach progresywnych nie odnotowano istotnej różnicy statystycznej pomiędzy pierwszym a drugim badaniem, w żadnej z badanych grup (Tab. 6).



## Testy terenowe:

### 3.2.2. Yo-Yo IRI

Tabela 7. Test Yo-Yo IRI.

Parametr	Całkowity pokonany dystans [m]		VO <sub>2</sub> max [ml·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup> ]	
	1	2	1	2
HIIT	1980	2225	52,02	55,09
	±554	±674	±4,65	±5,66
SSG	2020	2155	53,40	54,85
	±455	±528	±3,82	±4,17
KON	945	1060	44,48	45,37
	±270	±284	±2,38	±2,38

**Legenda:** dystans [m] – dystans pokonany podczas testu, VO<sub>2</sub> max [ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>] – estymowany maksymalny pobór tlenu podczas testu. 1 – oznacza badanie pierwsze; przed eksperymentem, 2 – oznacza badanie drugie; po eksperymentcie.

W teście Yo-Yo nie odnotowano istotnej różnicy statystycznej pomiędzy pierwszym a drugim badaniem, w żadnej z badanych grup (Tab. 7).

### 3.2.3. Test szybkości

Tabela 8. Test szybkości.

Parametr	Szybkość 0-5 m [s]		Szybkość 0-30 m [s]	
	1	2	1	2
HIIT	0,94	0,96	4,16	4,19
	±0,04	±0,04	±0,12	±0,14
SSG	0,98	0,98	4,10	4,15
	±0,03	±0,03	±0,13	±0,16
KON	0,97	0,98	4,19	4,21
	±0,07	±0,06	±0,15	±0,16

**Legenda:** Test szybkości: szybkość 0-5 m [s] – czas biegu uzyskany na odcinku 0-5 m, szybkość 0-30 m [s] – czas biegu uzyskany na odcinku 0-30 m. 1 – oznacza badanie pierwsze; przed eksperymentem, 2 – oznacza badanie drugie; po eksperymentcie.

Nie odnotowano istotnej różnicy statystycznej pomiędzy pierwszym a drugim badaniem, w żadnej z badanych grup (Tab. 8).

### 3.2.4. Test RAST

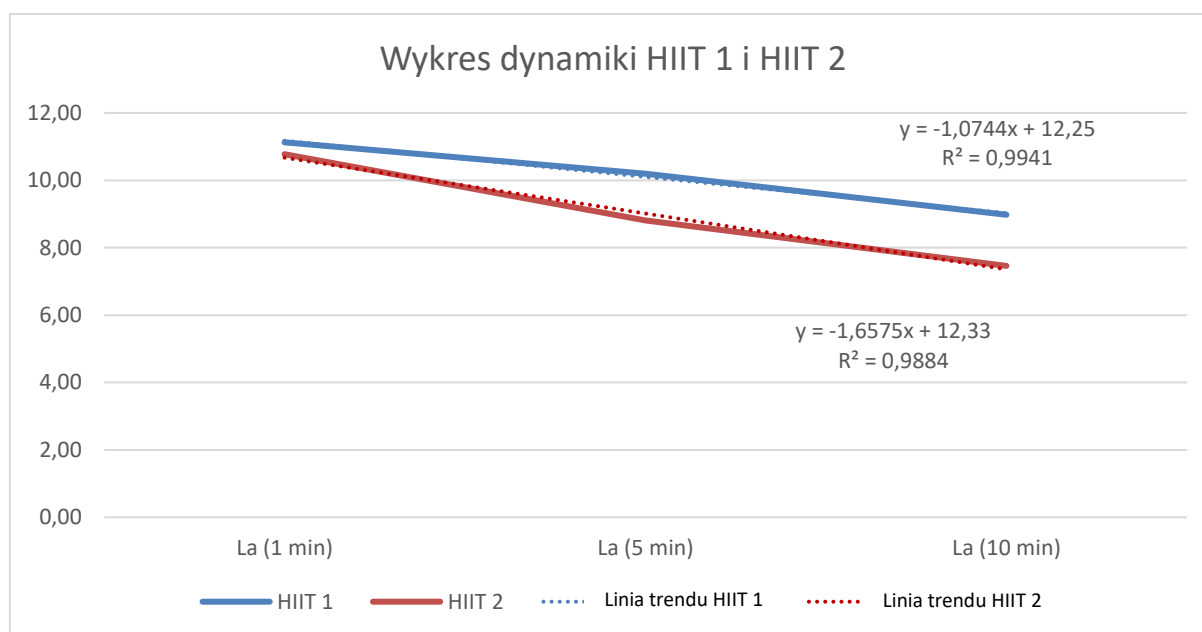
Tabela 9. Test RAST.

Parametr	P max [W]		P max/kg [W]		FI [W/s]	
	1	2	1	2	1	2
HIIT	651,1	666,92	9,76	9,98	6,88	6,63
	±98,43	±102,58	±1,07	±1,03	±2,12	±1,69
SSG	713	715,14	10,32	10,33	6,82	6,97
	±73,66	±69,55	±1,58	±1,46	±2,06	±1,79
KON	699,05	653,55	9,58	8,95	7,18	7,42
	±73,22	±163,06	±0,75	±2,13	±1,73	±1,72

Legenda: Moc max [W] – moc maksymalna uzyskana podczas testu, Moc max/kg [W] – moc maksymalna uzyskana podczas testu, w przeliczeniu na kilogram masy ciała, FI [W/s] – wskaźnik spadku mocy podczas testu. 1 – oznacza badanie pierwsze; przed eksperymentem, 2 – oznacza badanie drugie; po eksperymentcie.

Nie odnotowano istotnej różnicy statystycznej pomiędzy pierwszym a drugim badaniem, w żadnej z badanych grup (Tab. 9).

### 3.2.5. Dynamika restytucji powysiłkowej, na podstawie stężenia mleczanu we krwi.

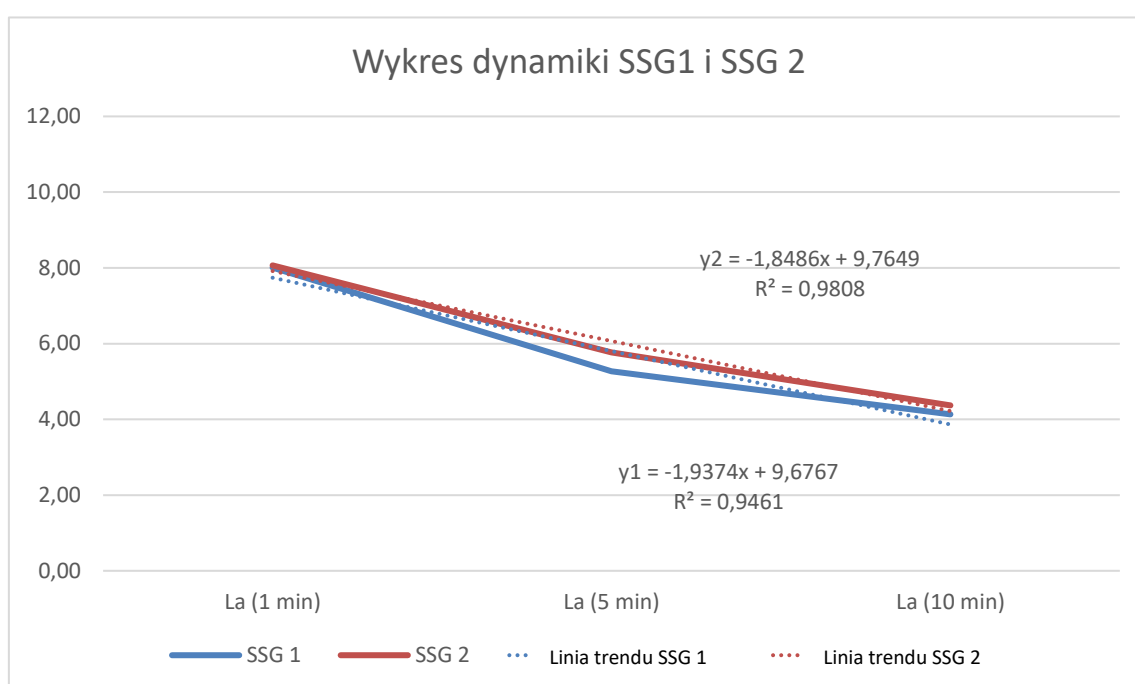


Rycina 16. Porównanie dynamiki restytucji powysiłkowej na podstawie stężenia mleczanu we krwi pomiędzy pierwszym i drugim badaniem w grupie HIIT.

Tabela 10. Wartości stężenia mleczanu we krwi w grupie HIIT.

Czas pomiaru La <sup>-</sup> (mmol/l)	Wartość spoczynkowa	1 min	5 min	10 min
1 badanie	1,49 ±0,35	11,13 ±1,83	10,20 ±2,37	8,98 ±2,31
2 badanie	1,85 ±0,29	10,78 ±2,92	8,81 ±2,29	7,46 ±2,49

Po eksperymencie badawczym, w grupie HIIT zaobserwowano szybszy spadek stężenia mleczanu we krwi, w porównaniu do badania pierwszego (Ryc. 16).

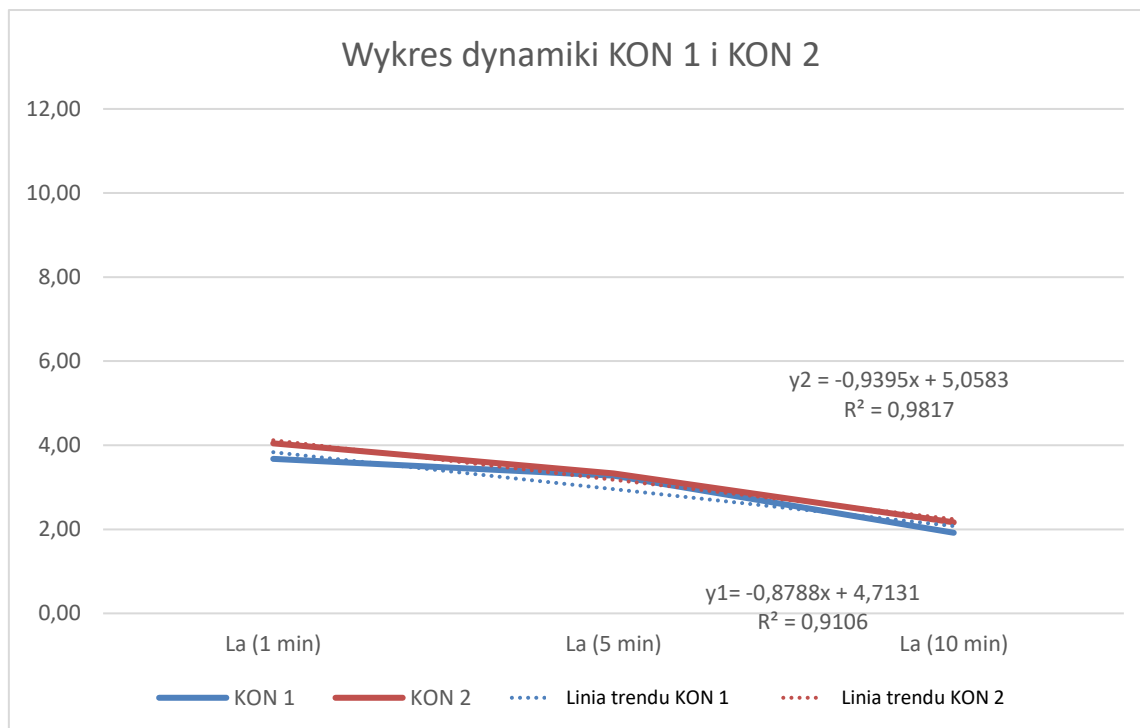


Rycina 17. Porównanie dynamiki restytucji powysiłkowej na podstawie stężenia mleczanu we krwi pomiędzy pierwszym i drugim badaniem w grupie SSG.

Tabela 11. Wartości stężenia mleczanu we krwi w grupie SSG.

Czas pomiaru La <sup>-</sup> (mmol/l)	Wartość spoczynkowa	1 min	5 min	10 min
1 badanie	1,31 ±0,31	8,01 ±3,44	5,27 ±3,10	4,13 ±2,44
2 badanie	1,67 ±0,33	8,07 ±3,31	5,77 ±2,36	4,37 ±1,90

Po eksperymencie badawczym, w grupie SSG nie zaobserwowano znaczących różnic pomiędzy badaniami, w spadku stężenia mleczanu we krwi (Ryc. 17).



Rycina 18. Porównanie dynamiki restytucji powysiłkowej na podstawie stężenia mleczanu we krwi pomiędzy pierwszym i drugim badaniem w grupie KON.

Tabela 12. Wartości stężenia mleczanu we krwi w grupie KON.

<b>Czas pomiaru La<sup>-</sup> (mmol/l)</b>	<b>Wartość spoczynkowa</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>
1 badanie	2,1 ±0,52	3,7 ±1,09	3,3 ±1,12	1,9 ±1,24
2 badanie	2,0 ±0,37	4,0 ±1,20	3,3 ±1,60	2,2 ±1,21

W grupie KON nie zaobserwowano znaczących różnic pomiędzy badaniami, w spadku stężenia mleczanu we krwi (Ryc. 18).

## 4. Dyskusja

Pierwszym celem niniejszego badania było określenie zależności pomiędzy powstawaniem zmęczenia, a wielkością obciążenia zawodnika podczas treningu interwałowego o wysokiej intensywności (HIIT) i treningu „Małe gry” (SSG). Natomiast drugim celem była holistyczna ocena efektywności treningu SSG i treningu HIIT w treningu piłkarzy nożnych. Jest to pierwsze badanie, które obejmuje holistyczny monitoring procesu treningowego, uwzględniając parametry psychofizyczne, kinematyczne, fizjologiczne, oraz biochemiczne, w połączeniu z oceną efektywności; laboratoryjną i terenową. W treningu interwałowym o wysokiej intensywności (HIIT), najważniejszą obserwacją było wykazanie, że obciążenie zewnętrzne (PL), uzyskało wysoką i dodatnią korelację ( $r=0,53$ ), z odczuciem zmęczenia w dniu potreningowym. Natomiast w treningu „małe gry” (SSG), zarejestrowano dodatnią, wysoką korelację ( $r=0,51$ ), pomiędzy obciążeniem wewnętrznym (HRE) i odczuciem zmęczenia w dniu potreningowym. Ponadto w grupie badawczej wykonującej HIIT wykazano istotnie wyższe wartości w każdym z parametrów obciążenia treningowego, tj.: PL, HRE i RPE, niż w grupie SSG. Wykazano również, że 4 – tygodniowy mezocykl pod koniec sezonu, obejmujący 2 treningi HIIT lub SSG w tygodniu, nie przyniósł znaczącej poprawy wydolności organizmu.

Podjmując próbę odpowiedzi na pierwsze pytanie – *Który z typów treningów: trening interwałowy o wysokiej intensywności – HIIT, czy „Małe gry” – SSG, powoduje wyższą ocenę postrzeganego wysiłku (RPE)?* – podjęto analizę wyników własnych z badaniami innych autorów. Dzięki RPE trener może monitorować intensywność oraz obciążenia nałożone na piłkarzy podczas treningu, dla różnych typów treningów, w tym SSG i HIIT (Alexiou i wsp., 2008; Coutts i wsp., 2009; Lockie i wsp., 2012; Fanchini i wsp., 2014). RPE odzwierciedla świadome odczucie, jak trudne, ciężkie i męczące jest ćwiczenie, w odniesieniu do stresu fizjologicznego, czynników biomechanicznych i psychologicznych, wywołanych podczas wysiłku (Laursen i Buchheit, 2018). Na podstawie analizy piśmiennictwa stwierdzono, że trening HIIT u zawodników powoduje istotnie wyższą ocenę postrzeganego wysiłku (RPE), niż trening SSG. Na przykład, Arslan i wsp. (2020), wykazali znaczące różnice pomiędzy tymi grupami, ze wskazaniem wyższych wartości w grupie HIIT ( $p \leq 0,05$ ). Podobne wyniki zarejestrowano w badaniach własnych, gdzie również wykazano znaczące różnice pomiędzy oboma typami treningów analizując RPE, przy większej wartości w treningu HIIT ( $p \leq 0,01$ ). Natomiast Selmi i wsp. (2020) oraz Rabbani i wsp. (2019) wykazali bardzo zbliżone do siebie

wyniki, w obu typach treningów. W innym badaniu Selmi i wsp. (2018) wykazali, że wartości RPE były porównywalne między treningiem HIIT i SSG (4 x 4), o takim samym czasie trwania (4 x 4 min) z zastosowaniem 3 min przerw wypoczynkowych. Wynik ten wskazuje, że oba rodzaje treningu były podobnie postrzegane jako "bardzo trudne" (RPE 7 au). Również Rampinini i wsp. (2007), stwierdzili, że RPE związane z SSG 3 x 3 wyniosło 7,2 (au), podczas gdy Dellal i wsp. (2012) wykazali, że SSG 4 x 4 z określonymi warunkami (tj. zasada 2 kontaktów z piłką), wywołuje średnie RPE wynoszące 7,9 (au). W badaniach Dellal i wsp. (2008) wykazali, również, że przy takim samym stosunku pracy i czasu odpoczynku, obciążenia w HIIT były niemal identyczne z tymi obserwowanymi w SSG. Co więcej, wykazali, że gry SSG, w formacie 4 x 4 wywołały również podobne wartości HR jak w przypadku HIIT 15s - 15s (jedno powtórzenie), przy 110% VO<sub>2</sub> max i 30s - 30 s, przy 100% VO<sub>2</sub> max. Z kolei, Hill-Haas i wsp. (2009c) w swoim badaniu zauważyli, że SSG, bez przerw w grze spowodowanych np. brakiem piłki lub faulami, wywołało znacząco wyższą odpowiedź RPE w porównaniu z SSG, w którym występowały przerwy podczas gry. Wyniki te sugerują, że wyższe wartości RPE mogą być związane z bardzo krótkimi przerwami lub ich brakiem w grze. Aby zapewnić nieprzerwaną grę należy uwzględnić, werbalną motywację zawodników przez trenera oraz osoby, które będą stale dostarczać piłkę na boisko, gdy ta je opuści. Pomimo iż w badaniach własnych zapewniono stałe dostarczanie piłki, przerwy w grze mogły trwać od natychmiastowego wprowadzenia piłki na boisko, do kilku sekund i dlatego RPE, jak i rzeczywista intensywność treningu mogła być niższa w SSG (89±3,36% HR max) niż w HIIT (93±2,93% HR max). Ponadto Clemente (2018) wykazał, że RPE było silnie skorelowane z dystansem pokonanym sprintem i liczbą przyspieszeń. Dowody te sugerują, że RPE i jego powiązanie z obciążeniem zewnętrznym może zależeć od rodzaju wykonywanego ćwiczenia. Warto również wspomnieć, że na RPE nie ma wpływu czas pomiaru po wysiłku (Fanchini i wsp., 2015), natomiast zastosowanie aktywnej przerwy wypoczynkowej może przyczynić się do niższej wartości RPE, względem pasywnej przerwy (Arslan i wsp., 2017). Chociaż wykazano, że RPE dokładnie odzwierciedla intensywność ćwiczeń, możliwe jest, że zawodnicy mogą postrzegać ten sam bodziec fizjologiczny w różny sposób, co jest konsekwencją ich indywidualnego stanu psychicznego i poziomu wytrenowania (Morgan, 1973). Podsumowując, trening HIIT spowodował wyższą wartość RPE niż trening SSG, dlatego też trenerzy powinni zapewnić zawodnikom odpowiedni czas regeneracji, szczególnie po treningu HIIT. Ponadto RPE jest rzetelnym narzędziem pomiarowym do śledzenia obciążeń wewnętrznych, przy użyciu tanich i łatwo dostępnych procedur, co powinno zachęcić trenerów do sięgania po ten rodzaj monitoringu treningu.

W nawiązaniu do drugiego pytania, sportowcy powinni również kontrolować zewnętrzne stresory psychologiczne (oprócz tych spowodowanych treningiem), takie jak presja rodzinna i zawodowa, częste lub bardzo długie wyjazdy, presja sponsora i klubu oraz inne rutynowe wydarzenia. W przypadku, gdy zewnętrzne stresory osobiste stają się wysokie lub gdy ich kontrola jest niewystarczająca, należy ograniczyć liczbę treningów (Gallo i wsp., 2016). Do regularnego monitorowania powyższych zmiennych w sporcie, wykorzystuje się m.in. arkusze wellness. W zarejestrowanych badaniach, w grupie HIIT wykazano dodatnią, prawie pełną korelację pomiędzy wielkością zmęczenia w dniu potreningowym i RPE z dnia treningowego ( $r=0,92$ ). Natomiast w grupie SSG nie wykazano zależności pomiędzy wielkością zmęczenia i RPE. W badaniach Clemente (2018), który przeprowadził eksperyment podczas treningu SSG, korelacje zmęczenia i RPE uznano za niejednoznaczne. Również Haddad i wsp. (2013) oraz Selmi i wsp. (2018) nie wykazali zależności pomiędzy RPE i parametrami z arkusza wellness. W obu powyższych przypadkach bardzo istotna jest informacja, że pomiary dotyczyły tylko dnia treningowego. Podobne obserwacje zarejestrowano we własnym projekcie badawczym, w dniu treningowym. Natomiast według najlepszej wiedzy autora, w niniejszej pracy po raz pierwszy zbadano parametry arkusza wellness dzień po treningu HIIT i SSG. Z praktycznego punktu widzenia jest to ważne w kontekście przygotowań do wysiłku startowego, tak aby zapewnić odpowiednią regenerację po treningu i superkompensację. W tym projekcie badawczym zarejestrowano również inne korelacje dodatnie oraz ujemne, w dniu potreningowym; wysokie, bardzo wysokie i prawie pełne, zarówno w grupie HIIT i SSG, choć zaistniały one pomiędzy innymi parametrami arkusza wellness. Podczas analizy dotychczasowego piśmiennictwa, nie znaleziono badań, w których konfrontowano parametry z arkusza wellness, z dnia potreningowego, z RPE z dnia treningowego, w treningach HIIT i SSG. Skupiono się jedynie na analizie parametrów samopoczucia przed jednostką treningową i RPE po treningu. W wynikach badań przeprowadzonych przez Selmi i wsp. (2019) wykazano, że reakcje fizjologiczne podczas SSG (średnia HR, HR max i  $La^-$ ) nie miały wpływu na ocenę jakości snu, stresu, zmęczenia, bólu mięśniowego i ocenę w skali regeneracji (TQR). Dowodzi to, że obiektywne miary intensywności sesji treningowej nie były związane z ocenami wskaźników z arkusza wellness i TQR mierzonymi przed sesjami treningowymi – t.j. w dniu treningowym. Co więcej, wartości częstości skurczów serca podczas SSG przekraczały 85,5% HR max, a stężenie mleczanu we krwi przekraczało 4,53 mmol/l, co wskazuje na wysiłek o wysokiej intensywności podczas wykonywania SSG, niezależnie od samopoczucia i jakości regeneracji (Dellal i wsp., 2012; Casamichana i wsp., 2013; Selmi i wsp., 2018). Badanie wykazało również, że na RPE nie

miały wpływu zmienne psychometryczne, takie jak w arkuszu wellness, co sugeruje, że subiektywna ocena intensywności nie ma związku z samopoczuciem i jakością regeneracji. Wynik ten jest zgodny z wynikami badań Selmi i wsp. (2019), którzy wykazali brak związku między wskaźnikami samopoczucia rejestrowanymi przed treningiem, a RPE po treningu. Wynik ten jest również zgodny z wynikami badań Haddad i wsp. (2013), którzy stwierdzili, że jakość snu, stres, poziom zmęczenia i ból mięśniowy nie mają większego wpływu na RPE podczas 10-cio minutowego submaksymalnego wysiłku fizycznego u młodych piłkarzy. Ogólnie rzecz biorąc, wydaje się, że dobre samopoczucie i jakość regeneracji nie mają istotnego wpływu na RPE.

Natomiast bardzo interesującym faktem, wynikającym z badań Selmi i wsp., (2019) jest to, że większe zmęczenie i ból mięśniowy zarejestrowane w dniu treningowym wiązały się z mniejszą liczbą udanych podań i przejęć piłki oraz większą liczbą podań straconych. Wyniki te wykazały dużą, ujemną korelację między odsetkiem udanych podań a zmęczeniem ( $r=-0,58$ ) i bólem mięśniowym ( $r=-0,55$ ), ale nie wykazały związku ze snem lub stresem, co wskazuje, że zmęczenie i ból mięśniowy mogą przyczyniać się do zaburzeń sprawności technicznej (Nedelec i wsp., 2012). Podobnie Hooper i Mackinnon (1995) wskazali, że wskaźniki dobrego samopoczucia są kluczowym czynnikiem w optymalizacji treningu, w celu maksymalizacji adaptacji i wyników. Ponadto są dobrymi parametrami, których monitorowanie może pomóc w uniknięciu potencjalnych niepożądanych fizycznych i psychologicznych skutków zmęczenia i osłabienia. Ferraz i wsp. (2012) wskazali, że zmęczenie może ograniczać wydajność i wpływać na zdolności motoryczne i percepcję, które są niezbędne do umiejętnego wykonywania zadań w trakcie gry. Ponadto w kilku badaniach stwierdzono, że zmęczenie psychiczne upośledzało specyficzne dla piłki nożnej bieganie, oraz podania i uderzenia do bramki (Brink i wsp., 2010; Coutinho i wsp., 2017, 2018). Również czynniki środowiskowe, takie jak: temperatura i wilgotność powietrza, stan nawierzchni mogą przyczyniać się do poziomu odczuwania zmęczenia i mają wpływ na zdolności techniczne oraz motoryczne (Konefał i wsp. 2020; Chmura i wsp., 2021). Dlatego też wskaźniki dobrego samopoczucia mogą być użyteczne w przewidywaniu zmian wyników technicznych. Wyższe wartości odczucia zmęczenia i bólu mięśniowego podczas treningu mogą wskazywać na spadek wydajności (Fessi i wsp., 2016; Moalla i wsp., 2016), co może przejawiać się obniżeniem techniki ruchów i wykonywanych zadań. Podsumowując, pozytywne samopoczucie i regeneracja mogą powodować wyższą efektywność podczas treningu, ale nie mają wpływu na jego intensywność. Dlatego też monitorowanie zmiennych



psychometrycznych za pomocą arkusza wellness może być przydatne w przewidywaniu zmian wyników technicznych i gotowości sportowców do wysiłku.

Próbując odpowiedzieć na trzecie pytanie należy zwrócić uwagę na interesujący fakt, iż pomimo uzyskanej wyższej wartości RPE w grupie badawczej HIIT oraz wyższego PL i HRE, odnotowano istotnie wyższy WSR, niż w grupie SSG. Nawiązując do tezy Zatonia (1998), może wynikać to z poziomu ogólnej wydolności fizycznej zawodników. Należy również nadmienić, że HR jest bardzo wrażliwym parametrem, również na czynniki środowiskowe oraz psychologiczne (Bara-Filho i wsp., 2013). A zatem dyspozycja dnia, sytuacja rodzinna lub losowa mogły mieć wpływ na ostateczny wynik WSR. Chociaż rejestracja HR jest często stosowaną metodą monitorowania intensywności ćwiczeń, ma ona pewne ograniczenia. Na przykład, podczas gdy HR może zawyżać koszt energetyczny ćwiczeń, może również zaniżać intensywność bardzo krótkich, przerywanych ćwiczeń, które charakteryzują HIIT i SSG (Hiil-Haas i wsp., 2011). Dlatego intensywność ćwiczeń ustala się nie tylko na podstawie pomiaru odpowiedzi HR zawodników podczas wysiłku, ale również na podstawie odpowiedzi RPE i stężenia mleczanu we krwi (Coumts i wsp., 2009; Koklu i wsp., 2016). Czasowy przebieg regeneracji układu autonomicznego serca odzwierciedla przywrócenie homeostazy układu sercowo-naczyniowego, która jest ważnym elementem ogólnej regeneracji (Stanley i wsp., 2013). Inni autorzy stosowali metody oparte na pomiarze zmienności rytmu serca (HRV – Heart Rate Variability). Uznano, że mogą być przydatne do monitorowania efektów treningu piłkarskiego, ponieważ są wrażliwe na okresy stresu i regeneracji (Bara-Filho i in., 2013). Wyniki badań Boullosa i wsp. (2012), przeprowadzonych z udziałem hiszpańskich piłkarzy płci męskiej i żeńskiej sugerują, że wyższa wyjściowa HRV może umożliwiać większe wykorzystanie zasobów autonomicznych w reakcjach piłkarzy na stres. Podobne wnioski stwierdzono również u piłkarzy nożnych w okresie przygotowawczym w badaniach Oliveira (2012). Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że zawodnicy wykazywali znaczne obciążenie układu sercowo - naczyniowego zarówno podczas HIIT (ok. 93% HR max), jaki i SSG (ok. 89% HR max). To znaczy, że „małe gry” pozwalają na wzrost HR do podobnego poziomu, co w krótkotrwałym biegu przerywanym i mogą być stosowane w celu urozmaicenia treningu, łącząc trening fizyczny, techniczny i taktyczny zbliżony do intensywności treningu HIIT. W badaniach z zastosowaniem SSG zaobserwowano niską HRV w okresie do 10 h regeneracji (Boullosa i wsp., 2013). Z kolei Seiler i wsp. (2007) w badaniu z udziałem wysoko wytrenowanych biegaczy zaobserwowali regenerację po około 120 min po wysiłku, niezależnie od intensywności treningu. Natomiast

Stanley i wsp. (2013) wykazują, że czas potrzebny do pełnej regeneracji układu krążenia po pojedynczej sesji treningu aerobowego wynosi do 24 h, po ćwiczeniach o niskiej intensywności, 24 - 48 h, po ćwiczeniach o umiarkowanej intensywności i co najmniej 48 - 72 h, po ćwiczeniach o wysokiej intensywności. Autorzy sugerują jednak, że osoby o wyższej wydolności fizycznej są bardziej odporne na stres treningowy i potrzebują mniej czasu na regenerację, ze względu na mniejszą zmienność częstości skurczów serca i szybszy powrót aktywności przywspółczulnej serca po wysiłku (Mascarin i wsp., 2018). W badaniu Mascarin i wsp. (2018), w treningu SSG o intensywności 92 – 95% HR max regeneracja układu sercowo-naczyniowego nastąpiła po 24 h. Reasumując, restytucja na podstawie WSR przebiegła szybciej w grupie HIIT, co może świadczyć o lepszej adaptacji bieżącej układu krążenia i oddechowego, niż w grupie SSG. Narzędzie to jest proste do regularnego stosowania oraz może dać trenerom odpowiedź, jak trudny jest to wysiłek dla zawodników, aby na tej podstawie modyfikować trening. Należy jednak pamiętać, aby dobrze przeszkolić zawodników, w jaki sposób zbadać częstość skurczów serca palpacyjnie, w innym przypadku trzeba dysponować odpowiednim sprzętem do rejestracji częstości skurczów serca.

Przechodząc do czwartego pytania, warto zaznaczyć, iż określenie ilościowe obciążeń fizycznych występujących podczas określonych ćwiczeń treningowych i zawodów jest ważne dla zrozumienia zależności między interwencją, a reakcją organizmu w procesie treningowym, w celu optymalizacji wyników sportowych (Weston, 2013). Dokładne i szczegółowe zrozumienie wymagań stawianych podczas zawodów może dostarczyć naukowcom i praktykom sportowym obiektywnych podstaw do zalecania optymalnej dawki treningowej (McLaren i wsp., 2016). W badaniach własnych, w grupie HIIT zarejestrowano dodatnią, wysoką korelację pomiędzy obciążeniem zewnętrznym (PL) i zmęczeniem, w dniu potreningowym. Ponadto wykazano dodatnią, przeciętną korelację pomiędzy PL i bólem mięśniowym w dniu potreningowym. Natomiast nie wykazano istotnych korelacji pomiędzy obciążeniem wewnętrznym (HRE) i zmęczeniem oraz bólem mięśniowym, dzień po treningu. W grupie SSG głównym ustaleniem była dodatnia, wysoka korelacja pomiędzy HRE i wielkością zmęczenia, w dzień potreningowy. Co ciekawe, nie odnotowano korelacji pomiędzy parametrami PL i wielkością zmęczenia i bólu mięśniowego, jak w przypadku grupy HIIT. Pomimo iż w SSG występuje duża liczba przyspieszeń i gwałtownych zmian kierunku, co może prowadzić do znacznych mikrouszkodzeń włókien mięśniowych, czego następstwem jest ból mięśniowy (Papanikolaou i wsp., 2021). Clemente (2018) wykazał następujące powiązania między parametrami z arkusza wellness a zmiennymi obciążenia; bardzo dużą,

ujemną korelację, pomiędzy bólem mięśniowym i PL podczas SSG o czasowym reżimie 6 x 3 min, również w przypadku reżimu czasowego 3 x 6 min, stwierdzono bardzo dużą ujemną korelację ( $r=-0,84$ ), pomiędzy tymi parametrami. Ciekawym spostrzeżeniem u Clemente (2018) był fakt, że podczas obu powyższych interwencji SSG ból mięśniowy w dużej mierze negatywnie wpłynął na średnią częstość skurczów serca, odpowiednio ( $r=-0,73$  i  $r=-0,61$ ). Ponadto autor ten wykazał dużą, ujemną korelację ( $r=-0,64$ ) między jakością snu a RPE podczas reżimu 6 x 3 min, w grach SSG. Natomiast korelacje zmęczenia z innymi parametrami uznano za niejednoznaczne w obu schematach gier. Wyniki tego eksperymentu ujawniły, że stan samopoczucia mierzony za pomocą parametrów arkusza wellness wpływa na wymagania fizyczne monitorowane przez systemy GPS. Ponadto ból mięśniowy był główną zmienną, która była odwrotnie i istotnie skorelowana z większością parametrów obciążenia zewnętrznego, co sugeruje negatywny wpływ bolesności mięśniowej na wydajność zawodników podczas wysiłku fizycznego. W innym badaniu Clemente i wsp. (2017), dokonali porównania bolesności mięśniowej z obciążeniem treningowym i również wykazali odwrotną zależność, potwierdzając szkodliwy wpływ tego czynnika na wydolność fizyczną zawodników podczas sesji treningowych. Ważną kwestią jest, iż w powyższych badaniach dane z arkusza wellness dotyczą tylko dnia treningowego, zbierane 30 min przed każdym treningiem. Natomiast w badaniach własnych nie odnotowano korelacji pomiędzy bólem mięśniowym a PL, w dniu treningowym, można to tłumaczyć rodzajem treningu w dniu poprzedzającym oraz zaangażowaniem zawodników.

Uzyskane wyniki dotyczące zależności między bólem mięśniowym, a zmiennymi obciążenia treningowego sugerują, że zawodnicy z większą bolesnością mięśniową będą doświadczać spadku PL i średniej HR podczas dłuższych treningów, ale nie będzie to miało tak dużego wpływu na dystans pokonywany przy różnych progach prędkości, podczas krótszych treningów. Fakt ten może być również wyjaśniony przez wyższy poziom intensywności (m/min), który może wystąpić podczas krótszych serii (Koklu i wsp., 2017). Dlatego też, indywidualne strefy intensywności mogą odgrywać istotną rolę, w optymalizacji procesu treningowego (Ruiz i wsp., 2015). Ponadto, niższa jakość snu w dużym stopniu miała negatywny wpływ na RPE – czyli obciążenie wewnętrzne i całkowite przyspieszenie, a większy stres przyczyniał się do wzrostu RPE, a także, do pokonanego mniejszego dystansu biegu. Biorąc pod uwagę zależności między zmiennymi obciążenia, stwierdzono, że RPE było w dużym stopniu skorelowane z dystansem sprintu i PL zawodnika podczas dłuższych treningów, a także z dystansem całkowitym oraz przyspieszeniem całkowitym podczas

krótszych treningów. Wyniki te sugerują, że wymagania czasowo - ruchowe są zależne od stanu samopoczucia sportowca i z tego powodu trenerzy powinni być świadomi znaczenia monitorowania zawodników w celu dostosowania intensywności i czasu obciążenia treningowego. Podsumowując, obciążenie zewnętrzne w treningu HIIT, koreluje ze zmęczeniem i bólem mięśniowym w dniu potreningowym, natomiast w treningu SSG obciążenie wewnętrzne koreluje ze zmęczeniem w dniu potreningowym. Dlatego można wnioskować, że wielokrotne przyspieszenia oraz ich liczba wykonywana w treningu HIIT, powoduje uczucie bólu mięśniowego, który jest spowodowany mikro uszkodzeniami włókien mięśniowych oraz przyczynia się do odczucia subiektywnego zmęczenia (Khan i wsp., 2016). Natomiast specyfika „małych gier”, duża acykliczność o wysokiej intensywności spowodowała obciążenie układu krążeniowo – oddechowego, co skutkowało odczuciem znacznego subiektywnego zmęczenia w grupie SSG.

Szukając odpowiedzi na piąte pytanie, należy zaznaczyć, że obciążenie fizyczne zawodników zależy od bezpośredniego zaangażowania w trening, umiejętności technicznych i ograniczeń taktycznych (Dalen i wsp. 2020). Na podstawie oceny postrzeganego wysiłku (RPE) w badaniach własnych można wywnioskować, że HIIT ( $7,75 \pm 0,33$  au) był istotnie bardziej obciążający wewnętrznie niż SSG ( $7,18 \pm 0,53$  au), potwierdzenie tego wyniku zaobserwowano również w parametrze HRE, opartym na strefach częstości skurczów serca, gdzie średnie wartości wyniosły odpowiednio 1720,95 (au) i 1592,72 (au). Co więcej PL również było większe w przypadku HIIT i wyniosło średnio 150,37 (au), przy czym PL podczas SSG 116,56 (au). Różnice mogą wynikać z wielu przyczyn: dyspozycji dnia i zmiennych, które zostały zmierzone poprzez arkusz wellness. Ponadto motywacja werbalna trenera, wewnętrzna motywacja, ale przede wszystkim charakter wysiłku, który w przypadku treningu HIIT jest ściśle określony, natomiast w SSG jest bardzo acykliczny. W badaniach de Dios-Alvarez i wsp. (2021), wykazano umiarkowane i wysokie korelacje RPE, ze zmiennymi obciążeniami zewnętrznego uzyskanymi z systemu GPS. Na podstawie RPE i arkusza wellness można oszacować obciążenie zewnętrzne zarówno podczas treningów, jak i meczów. Co więcej, sam charakter wysiłków (czas trwania, czas trwania restytucji, intensywność, założenia taktyczne) wydaje się mieć wyraźny wpływ na korelację między wskaźnikami opartymi na GPS a RPE. Interesujący wniosek wysnuli Alemdaroğlu (2020) oraz Rago i wsp. (2019), wraz ze wzrostem intensywności i liczby wykonywanych przyspieszeń, wyhamowań, sprintów, zmniejsza się związek pomiędzy miarami obciążenia zewnętrznego i wewnętrznego. Praktycy powinni być świadomi znaczenia RPE, ponieważ może on pomóc w uniknięciu niepożądanego zmęczenia

podczas dni regeneracyjnych i niekorzystnych efektów treningu (np. kontuzji) w perspektywie długoterminowej.

W odniesieniu do drugiego celu i szóstego pytania badawczego, przeprowadzono poniższą analizę. Optymalna ilość zarówno treningu o wysokiej intensywności, jak i ciągłego treningu o niskiej intensywności są kluczowymi składnikami niezbędnymi do maksymalizacji wydajności prawie wszystkich sportowców. Szczególnie w grach zespołowych, kiedy wymagane jest połączenie przedłużonej wytrzymałości i wysokiej intensywności, prędkości lub mocy utrzymywanej aż do końca gry (Burke 2011; Laursen i Buchheit 2019). Z powodu krótkich okresów przygotowawczych w piłce nożnej, bardziej skuteczne, w krótkim czasie, strategie treningowe; w tym interwały o wysokiej intensywności i interwencje oparte na grze, są szczególnie interesujące wśród praktyków sportowych (Dellal i wsp., 2012; Harrison i wsp., 2015; Rabbani i Buchheit, 2015; Campos-Vazquez i wsp., 2017; Rabbani i wsp. 2019). W przeprowadzonych interwencjach treningowych HIIT i SSG oraz w grupie kontrolnej, która również została poddana analizie, nie odnotowano istotnych różnic pomiędzy pierwszym i drugim badaniem, w żadnym z testów wydolności fizycznej. Nie potwierdzono spodziewanego efektu wykazanego w hipotezie przed badaniami. Warto jednak zaznaczyć, że był to okres pandemii COVID-19, który mógł mieć wpływ na osiągnięte wyniki. Wyniki badań wskazują, że wprowadzone restrykcje związane z COVID-19 istotnie zmniejszyły wydajność biegową w meczu u profesjonalnych piłkarzy występujących w polskiej Ekstraklasie (Radziemiński i wsp., 2021). Niektóre zmienne, takie jak dystans pokonany w biegu o wysokiej intensywności oraz liczba aktywności o wysokiej intensywności, również się zmniejszyły. Może to być spowodowane zaburzoną zdolnością regeneracji, która również jest związana z pojemnością tlenową. Natomiast redukcja wysiłków o wysokiej intensywności nie była jednakowa dla wszystkich pozycji. Dlatego też zindywidualizowane podejście w kształtowaniu zdolności do regeneracji pomiędzy działaniami o wysokiej intensywności powinno być stosowane przez trenerów podczas treningu domowego (Radziemiński i wsp., 2022). Ponadto czas potrzebny do kształtowania wydolności fizycznej lub powrotu do stanu sprzed choroby mógł ulec wydłużeniu po przebytych zakażeniu COVID-19. Ten aspekt nie był analizowany w tym projekcie badawczym i wymaga kolejnych badań. Po dokonaniu analizy piśmiennictwa zauważono, że w badaniach innych autorów mezocykl trwał od 5 do 12 tygodni, z dwoma lub trzema jednostkami treningowymi w mikrocyklu. Stąd też, 4 – tygodniowy mezocykl w badaniach własnych mógł okazać się zbyt krótki do poprawy wydolności fizycznej. Chociaż są badania, w których wykazano, że nawet dwutygodniowy okres

treningowy podnosi wydolność fizyczną sportowców, po interwencji RST, 3 razy w mikrocycyku (Taylor i wsp. 2016). Ponadto podczas obostrzeń zawodnicy nie wykonywali żadnych aktywności fizycznych. Dlatego też poziom wytrenowania badanych osób mógł znacząco i niekorzystnie się zmienić. Brak poprawy wydolności fizycznej może wiązać się również z brakiem indywidualizacji treningu, co jest szczególnie ważne w jej kształtowaniu i zarazem bardzo trudne w sportach zespołowych. Zwłaszcza w drużynach młodzieżowych, ze względu na ograniczony personel i możliwości finansowe.

Pomimo braku istotnych różnic w teście progresywnym, w grupie HIIT zauważono trend wzrostowy wartości  $VO_2$  max oraz PPB i trend spadkowy  $La^-$  max. Należy zaznaczyć, że brak istotnych różnic jest dość zaskakujący, ponieważ w piśmiennictwie wykazywane są wzrosty wydolności fizycznej po zastosowaniu treningów HIIT i SSG. W doniesieniach Arslana i wsp. (2020) oraz Boraczyńskiego i wsp. (2022) autorzy, udowodniają, że zarówno trening HIIT, jak i SSG są skuteczne w poprawie sprawności aerobowej i anaerobowej u młodych piłkarzy nożnych. Ponadto trening HIIT może być bardziej odpowiedni dla kształtowania zdolności szybkościowych u młodych piłkarzy (Laursen i Buchheit, 2019). W wielu badaniach zaobserwowano wzrost wartości  $VO_2$  max, po HIIT o różnej intensywności (>85% HR max) i czasie trwania mezocyklu (5-12 tygodni). Sporis i wsp. (2008) odnotowali wzrost  $VO_2$  max o 5,2% po treningu HIIT, wykonywanym przez okres 8 tygodni przed sezonem, w badaniach Helgerud i wsp. (2001)  $VO_2$  max wzrosło z 58,1  $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$  do 64,3  $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ , co wyniosło 11% poprawy po HIIT u 18-letnich elitarnych piłkarzy nożnych, w ciągu 8 tygodni. W innym badaniu wykazano, że  $VO_2$  max wzrosło o 9% po HIIT, u piłkarzy nożnych w wieku 17 lat stosowanym przez okres 10 tygodni (Iacono i wsp. 2015). W kolejnym badaniu, Sperlich i wsp. (2011) zaobserwowali, że  $VO_2$  max wzrosło o 7% po HIIT, wśród 14 - letnich zawodników w czasie 5 tygodni. Co więcej, poprawa wydolności tlenowej wiązała się z uzyskiwaniem krótszego czasu biegu na 1000 m (6,1%), zarówno w badaniach Arslan i wsp. (2020), jak i Sperlich i wsp. (2011) oraz na 300 jardów w badaniach Sporis i wsp. (2008).

W teście progresywnym wartości  $VO_2$  max, w grupie SSG nieznacznie spadły, podobnie jak  $La^-$  max, natomiast zauważono nieznaczny wzrost PPB. W kilku badaniach potwierdzono zmiany w parametrach wydolności tlenowej, u młodych piłkarzy, po przeprowadzeniu SSG z różną liczbą zawodników, różnymi wymiarami boiska i różnymi zasadami. Arslan i wsp. (2020) wykazali znaczącą poprawę  $VO_2$  max, po 5-cio tygodniowym programie obejmującym 2 interwencje SSG w mikrocycyku. Natomiast w innym badaniu nie

wykazano poprawy wartości  $VO_2$  max u 15-letnich piłkarzy po SSG trwającym 7 tygodni, w zakresie intensywności 90%-95% HR max (Hill-Haas i wsp. 2009). Impellizzeri i wsp. (2006) dwa razy w tygodniu stosowali SSG (4 x 4 min, 3 min aktywnej restytucji) i zauważyli poprawę  $VO_2$  max o 7,1%, po 12 – tygodniowym mezocyklu treningowym. Autorzy uwzględnili zarówno sezon przygotowawczy (4 tygodnie), jak i sezon startowy (8 tygodni), ale zmiany  $VO_2$  max w okresie startowym nie były istotne. Takie różnice pomiędzy efektywnością tego treningu można tłumaczyć czasem trwania treningu, intensywnością treningu oraz restytucją powysiłkową, okresem szkolenia, długością mezocyklu, wiekiem uczestników i procesem regeneracji. Jastrzębski i wsp. (2014) stwierdzili podobny wzrost maksymalnego poboru tlenu, jak u Impellizzeri i wsp. (2006), który wyniósł 8,6% po 8 tygodniach treningu. Podobne badania przeprowadzili Chamari i wsp. (2005) (dwa razy w tygodniu 4 x 4 min, 3 min aktywnej restytucji). Istniała jednak różnica w stosowanym reżimie. Zawodnicy dryblowali piłką wzdłuż trasy zaprojektowanej przez Hoffa i wsp. (2002) we wtorki, a w środy realizowali w „małe gry”. Po 8 tygodniach takiego treningu w okresie startowym, zawodnicy uzyskali bardzo wysokie wartości maksymalnego poboru tlenu (powyżej 70 ml/kg/min, co stanowi wzrost o 7,5%). Ponadto odnotowano poprawę umiejętności piłkarskich o 9,6% w teście Hoffa, co było wartością większą od obserwowanej w grupach u Jastrzębski i wsp. (2014). Na taki wynik mógł wpłynąć fakt, że poziom umiejętności oceniano za pomocą testu, który zawodnicy wykonywali co tydzień przez 16 min.

W badaniach własnych, w teście Yo-Yo IR1 wykazano nieznaczny trend wzrostowy w każdej z badanych grup. W grupie HIIT +245 m (12%), w grupie SSG +135 m (7%) oraz w grupie kontrolnej + 115 m (12%). Bravo i wsp. (2008) badali wpływ treningu interwałowego o wysokiej intensywności na zmiany  $VO_2$  max u 17 - letnich piłkarzy nożnych i wykazali znaczny wzrost tego parametru po zastosowaniu 8 - tygodniowego reżimu w trakcie sezonu sportowego, w teście progresywnym w laboratorium oraz w teście Yo-Yo IR1. Po 10-cio tygodniowym treningu HIIT wykonywanym 3 razy w tygodniu przez sportowców w wieku 15-16 lat, w teście Yo-Yo IR1, badacze Howard i Stavrianeas (2017), wykazali istotną różnicę w pokonanym dystansie przed i po interwencji wynoszącą odpowiednio średnio 741,6 m i 1067 m. Warto zauważyć, że są to wartości na poziomie grupy kontrolnej, a zatem można sądzić, że wydolność fizyczna u badanych w grupie eksperymentalnej powyższego autora, była znacznie niższa od grup eksperymentalnych w badaniach własnych, co może przyczyniać się do większych różnic adaptacji powysiłkowej. Również Arslan i wsp. (2020) zgłosili znaczącą poprawę wyniku tego testu po 6 - tygodniowej interwencji treningowej HIIT. Castagna i wsp. (2013) objęli monitoringiem zawodowych piłkarzy nożnych podczas okresu

przygotowawczego przed okresem startowym (8 tygodni). Wartości  $VO_2$  max i wynik w teście Yo-Yo IR1 były wyższe po tym mezocyklu odpowiednio o 6% i 19,5%, co więcej wysnuli oni wniosek, że czas spędzony na treningu o wysokiej intensywności powinien wynosić 7-8% całkowitego czasu treningu w okresie przygotowawczym. Dupont i Berthoin (2004) uznali, że HIIT o charakterystyce 15-15 s (jedno powtórzenie), przy 120%  $VO_2$  max jest najbardziej efektywną formą interwału dla rozwoju  $VO_2$  max. Natomiast podobne obciążenie treningowe zastosowane u zawodników w badaniu Jastrzębski i wsp. (2014) okazało się niewystarczające dla znaczącej poprawy maksymalnego poboru tlenu. Dellal i wsp. (2008) potwierdzili, że odpowiednie i precyzyjne zastosowanie obciążenia odgrywa kluczową rolę w rozwoju wydolności beztlenowej, co wiąże się z indywidualizacją treningu, a w sportach zespołowych jest to szczególnie trudne. Ponadto Hill-Haas i wsp. (2009) stwierdzili, że zarówno trening ogólny (np. bieg przerywany), jak i trening oparty na „małych grach” zwiększa u zawodników dystans pokonywany w teście Yo-Yo IR1, który jest uważany za test wytrzymałościowy, specyficzny dla piłki nożnej. Dowiedli, że po 7 – mio tygodniowym mezocyklu nastąpiła 17% poprawa w grupie wykonującej trening SSG, u  $14,6 \pm 0,9$  – letnich zawodników. Wzrost wyników, na poziomie 18%, w teście Yo-Yo IR1, po 6 – cio tygodniowej interwencji SSG zarejestrowali również Akdoğan i wsp. (2021). Badani wykonywali trening SSG zmieniając format co dwa tygodnie, najpierw 4 x 4, następnie 3 x 3 i 2 x 2. Zmieniały się również wymiary boiska oraz czas trwania wysiłku, natomiast liczba serii wyniosła 4, a przerwa 3 min, w każdym przypadku. Natomiast nie wykazano informacji odnośnie intensywności wysiłku. Niemniej można wnioskować, że zmiana formatów gry może mieć pozytywny wpływ na poprawę wydolności fizycznej i bardziej stymulować zawodników, redukując tym samym monotonię treningu. Natomiast Eniseler i wsp. (2017) nie wykazali istotnych różnic po zastosowaniu 6 – cio tygodniowego mezocyklu, z dwoma jednostkami SSG (format 3 x 3), w mikrocyklu. Trening SSG składał się z 4 serii, 3 minutowych, z zastosowaniem 4 minutowej biernej przerwy wypoczynkowej. Z założeniem intensywności 90 – 95% HR max, natomiast rzeczywista intensywność wyniosła 89% HR max. Autorzy wskazują, że właśnie zbyt niska intensywność może być przyczyną braku poprawy wyników w teście Yo-Yo IR1. Ponadto Eniseler i wsp. (2017) zwracają uwagę, że indywidualne różnice intensywności mogą występować z powodu braku pełnego zaangażowania sportowców wobec koncepcji treningu o wysokiej intensywności. Mimo, że zawodnicy otrzymywali ciągłą informację zwrotną o docelowym HR, niektórzy badani mogli lekceważyć zalecenia i nie osiągać strefy powyżej 90% HR max. Podobne sytuacje mogły mieć miejsce w badaniach własnych, gdzie rzeczywista intensywność w grupie SSG wyniosła  $89 \pm 3,36\%$  HR max. Ponadto, brak osiągnięcia założonej intensywności



może wynikać z braku możliwości śledzenia swojego HR przez zawodników w czasie rzeczywistym, np. za pomocą zegarków z pulsometrem.

Szybkość biegu jest uważana za ważny aspekt sprawności motorycznej piłkarzy nożnych. Jednak, w badaniach własnych nie odnotowano znaczących zmian w czasach sprintu na 30 m, w teście szybkościowym. Natomiast w teście RAST zauważono trend wzrostowy w grupie HIIT i SSG i trend spadkowy w grupie kontrolnej. Podobnie Hill-Haas i wsp. (2009) nie stwierdzili znaczących różnic w teście szybkości na 5 m oraz na 20 m. Radzimiński i wsp. (2013) również nie zaobserwowali poprawy w czasach sprintu na 10 i 30 m, natomiast zarejestrowali niewielką poprawę czasów sprintu na dystansie 5 m w grupie HIIT. Inne wyniki badań uzyskali Arslan i wsp. (2020), wykazali znaczącą poprawę w sprincie na 5, 10, 20 i 30 m, sugerując tym samym skuteczność zastosowania HIIT w celu poprawy sprintu liniowego. Tego faktu nie zaobserwowano w badaniu przeprowadzonym przez Harrison i wsp. (2015). W rzeczywistości najnowsze metaanalizy wykazały niespójności stosowania treningu HIIT w poprawie sprintu liniowego u piłkarzy nożnych (Clemente i wsp. 2021). Natomiast jednym z możliwych powodów zaobserwowania pozytywnych zmian w szybkości biegu sprinterskiego w przeprowadzonych badaniach jest efekt wieku badanych osób i zdolność do poprawy, w szczególnie wrażliwym okresie dojrzewania zawodników (Oliwer 2013). Ponadto zawodnicy wykonujący trening HIIT uzyskali znaczną poprawę w wymaganiach opartych na szybkości, takich jak powtarzany sprint (RSA) (-9,5%) (Arslan i wsp. 2020). Badania wykazały znaczący korzystny efekt treningu HIIT na RSA w porównaniu z grupami kontrolnymi. (Tønnessen i wsp., 2011; Chtara i wsp., 2017; Sanchez-Sanchez i wsp., 2019). Czas trwania interwencji uwzględnionych w powyższych badaniach wahał się od 6 do 10 tygodni i od jednej do dwóch sesji na tydzień, podczas których interwały obejmowały od 18 do 40 – metrowych sprintów wykonywanych 10-16 razy w serii. Ponieważ HIIT angażuje szlaki aerobowe i anaerobowe oczekuje się, że będzie w stanie poprawić RSA, zwłaszcza w porównaniu z grupami kontrolnymi (Buchheit, 2012). Ponadto, jednym z możliwych wyjaśnień poprawy jest podobieństwo między HIIT a specyficznymi testami RSA, takimi jak test RAST. Należy jednak zauważyć, że w niektórych badaniach nie stwierdzono żadnego pozytywnego wpływu wykonywania HIIT na RSA u zawodników piłki nożnej (Haugen i wsp., 2014, 2015) i futsalu (Soares-Caldeira i wsp., 2014). Dlatego przed wyciągnięciem wniosków na temat skuteczności HIIT na RSA należy przeprowadzić więcej badań.

Natomiast Arslan i wsp. (2020) stwierdzili, że trening SSG wykonywany 2 razy w tygodniu, przez okres 5 tygodni, w okresie przygotowawczym, powoduje znaczną poprawę, czasu biegu na 1000 m i zdolności do powtarzanego sprintu. Inne badanie wykazało, że wartości

sprintu u 15-letnich piłkarzy nie zmieniły się po SSG trwającym 7 tygodni w zakresie intensywności 90%-95% HR max (Hill-Haas, 2009). Podobnie Radziwiński i wsp. (2013) nie zaobserwowali poprawy w czasach sprintu na 10 i 30 m, natomiast wykazali niewielką poprawę czasu sprintu na dystansie 5 m po treningu SSG. Mając na celu poprawę czasu sprintu, konieczne jest zapewnienie odpowiednio długiego dystansu, jak również możliwości osiągnięcia prędkości (Nassis i wsp., 2019), by kształtować szybkość, a jest to trudne w formatach SSG, w których boisko jest mniejsze niż w normalnej grze. W jednym z badań wykazano średni pokonany dystans (m/min), biegu z dużą prędkością (tj. od 19,8 do 25 km/h), w formatach 5 x 5 (0 m/min), 6 x 6 (1,5 m/min) i 9 x 9 (2 m/min). Natomiast w meczach o charakterze oficjalnym średnie wartości dla tych samych zawodników wynosiły 5 m/min (Clemente i wsp., 2019). To spostrzeżenie było prawdopodobnie spowodowane zmniejszoną przestrzenią podłużną boiska w SSG. W przypadku sprintu (>25 km/h) zaobserwowano jeszcze większe różnice. W formatach 4 x 4 i 6 x 6, w SSG zawodnicy osiągnęli średnio 0,2 m/min, z kolei w meczach oficjalnych 1,7 m/min (Dalen i wsp., 2019). Stąd też brak poprawy wyników w badaniach własnych w teście szybkościowym na 30 m mógł wynikać z powyższego faktu, gdzie gra 4 x 4, prowadzona była na boisku o wymiarach 30 x 25 m. Można się zatem spodziewać, że nawet w większych SSG, zawodnicy nie mają możliwości osiągnięcia znaczącej liczby sprintów po linii prostej (Hill-Haas i wsp., 2008b). To z kolei może mieć wpływ na adaptację po interwencjach opartych na SSG, w porównaniu z interwencjami opartymi na bieganiu (np. HIIT). Wyniki te potwierdzają również Jastrzębski i wsp. (2014), którzy w swoich badaniach nie zarejestrowali istotnych zmian w czasie biegu na 30 m, ani przyśpieszeniu 0 - 5 m, u badanych piłkarzy, choć warto nadmienić, że uległy one minimalnemu pogorszeniu. Wynik ten jest ważną wskazówką dla trenerów, którzy planują obciążenia treningowe w sezonie startowym i powinni być świadomi, że jeśli metody treningowe będą skoncentrowane na tych formach treningu, to może dojść do obniżenia niektórych obszarów sprawności, takich jak sprint. Biorąc pod uwagę powyższe doniesienia, zastanawiającym faktem jest poprawa mocy maksymalnej w teście Wingate o 2,8% (Jastrzębski i wsp., 2014). Trening piłkarski, a zwłaszcza „małe gry”, wymagają znacznej ilości wykonanej pracy i ćwiczeń oporowych podczas bezpośredniego kontaktu z przeciwnikiem i wykonywania ruchów na miękkim podłożu. Rutynowy trening, któremu poddani byli zawodnicy, oprócz eksperymentalnego reżimu interwałowego, mógł spowodować znaczną poprawę wskaźnika mocy maksymalnej u badanych. Co ciekawe, nawet biorąc pod uwagę, że SSG mogą nie obejmować wystarczającej liczby sprintów stwierdzono znaczącą poprawę w RSA (Clemente, 2021). W innym badaniu Mohr i Krusturp (2016) przez cztery tygodnie monitorowali SSG

i stwierdzili podobne korzyści w poprawie RSA (1,5-2%). Badanie porównujące trening powtarzanego sprintu (RST) i SSG wykazało, że SSG doprowadziły do znacznego skrócenia czasu podczas RSA, natomiast w przypadku RST nie stwierdzono istotnych zmian (Eniseler i wsp. 2017). Również w przypadku badań Arslan i wsp. (2020) wykazano, że interwencje SSG przyczyniły się do poprawy RSA. Można to wyjaśnić specyficznym obciążeniem i napięciem nerwowo-mięśniowym implikowanym przez zmianę kierunku biegu, która występuje podczas SSG (Beato i wsp., 2019).

Na podstawie analizy badań można stwierdzić, że zarówno HIIT, jak i bardziej specyficzne dla sportu formy treningu, takie jak SSG powodują podobną poprawę maksymalnego poboru tlenu, zmiennych związanych z wydajnością biegową (tj. maksymalną wydajnością biegową i wydajnością biegową na progu mleczanowym) oraz wyników testów sprawnościowych związanych z piłką nożną u młodych piłkarzy. Pomimo podobieństw SSG i HIIT w poprawie wydolności aerobowej, wydaje się, że efekty nie są takie same w przypadku takich zdolności jak sprint i RSA. W związku z tym, całkowite zastąpienie metod opartych na bieganiu przez SSG może być wątpliwe. Alternatywą może być połączenie SSG i HIIT oraz stosowanie protokołów RST, co przynosi znaczące korzyści, zarówno w wydolności aerobowej, jak i anaerobowej (Arslan i wsp., 2021). Z praktycznego punktu widzenia wyniki te będą przydatne dla trenerów młodych piłkarzy w planowaniu treningu, zwłaszcza sprintu zarówno z piłką, jak i bez piłki oraz treningu wytrzymałościowego.

Podjmując próbę poszukiwania odpowiedzi na siódme pytanie, w grupie HIIT zaobserwowano szybszy spadek stężenia mleczanu we krwi po eksperymencie badawczym, w porównaniu do badania pierwszego, natomiast w grupie SSG oraz KON różnice były trywialne. Co ciekawe, zawodnicy, którzy wykonywali HIIT osiągnęli wyższe maksymalne wartości stężenia  $\text{La}^-$  we krwi podczas treningów, niż podczas testu progresywnego w laboratorium, (odpowiednio,  $11,13 \pm 1,83$  mmol/l i  $8,58 \pm 1,87$  mmol/l, w pierwszym badaniu i  $10,78 \pm 2,92$  mmol/l i  $8,47 \pm 2,13$  mmol/l, w drugim badaniu. Wskazuje to na większy udział glikolizy beztlenowej oraz wyższą intensywność wysiłku podczas treningu lub wykonanie testu progresywnego poniżej maksymalnych możliwości. Różnice te mogą wynikać z rywalizacji między zawodnikami na treningu i większego zaangażowania, inaczej niż w przypadku testu laboratoryjnego. Podczas wysiłku fizycznego HIIT dochodzi do znacznego zwiększenia produkcji mleczanu. W badaniu Wiewelhove i wsp. (2018), protokoły HIIT były również wymagające i powodowały wysoki poziom  $\text{La}^-$ , sięgający 10,8 mmol/l. Autorzy porównywali spadek stężenia  $\text{La}^-$  po zastosowaniu aktywnej oraz biernej przerwy wypoczynkowej. W wyniku tego eksperymentu zarejestrowali szybszy spadek stężenia  $\text{La}^-$  we krwi, po

zastosowaniu aktywnej restytucji (tj. umiarkowany jogging z przeciętną prędkością około 9 km/h, co odpowiadało ok. 53% VO<sub>2</sub> max). W badaniach własnych zawodnicy zostali poinstruowani, aby przerwy były aktywne, zarówno podczas treningów SSG i HIIT, polegały na marszu lub wykonywaniu ćwiczenia technicznego z piłką na utrzymanie („gra w dziadka” / „rondo”). Intensywność tych ćwiczeń była zdecydowanie niższa niż wykazali to Wiewelhove i wsp. (2018). Stąd też brak różnic w dynamice restytucji La<sup>-</sup> w grupie SSG i kontrolnej, mógł wynikać z niewystarczającej aktywności podczas przerw wypoczynkowych. W innym badaniu Mascarin i wsp. (2018) zaobserwowali znaczący wzrost dehydrogenazy mleczanowej 10 min po zakończeniu treningu SSG i stwierdzili, że wzrost ten jest związany ze zmniejszeniem zapotrzebowania mięśnia na O<sub>2</sub> i co za tym idzie, nasileniem tworzenia mleczanu w celu dostarczenia energii do działania mięśni. A zatem trenerzy powinni szczególnie zwracać uwagę na formę restytucji w programach treningowych. Z danych Wiewelhove i wsp. (2018) wynika również, że wydajność i wydatek energetyczny wzrasta po zastosowaniu aktywnej przerwy wypoczynkowej. Ponadto kontrola stężenia mleczanu odgrywa istotną rolę w kontroli adaptacji fizjologicznej i dlatego może mieć zasadnicze znaczenie dla poprawy wyników wytrzymałościowych (Philp, 2005; Nalbandian i Takeda, 2016). Natomiast bierna przerwa wypoczynkowa prowadzi do bardziej długotrwałych zmian metabolicznych i dlatego wydłuża czas narażenia na wysoki poziom mleczanów we krwi (Wahl i in., 2010b).

Autor ma świadomość jak wiele czynników, mogło mieć wpływ na wyniki prezentowanych analiz. Ograniczenia niniejszego badania to m.in. okres, w którym podjęty został eksperyment. Wszelkie obostrzenia jakie zostały nałożone w Polsce i na świecie, uniemożliwiły zrealizowanie w pełni wszystkich założeń, tj. monitorowanie i kontrola całego sezonu piłkarskiego wraz z okresem przygotowawczym. Kolejnym aspektem utrudniającym ocenę przeprowadzonych badań był fakt, że zostały one zrealizowane pod koniec sezonu, a wtedy może występować największe wyeksploatowanie organizmu (Chmura i wsp., 2019). Natomiast sam eksperyment badawczy trwał 4 tygodnie (8 jednostek treningowych). W związku z pandemią COVID-19, kontuzjami i sytuacjami losowymi, kilku zawodników nie mogło być wziętych pod uwagę w wynikach końcowych, ze względu na częściowe absencje na treningach. Ponadto nie odnotowano, ilu zawodników przebyło chorobę COVID-19 i w jakim stopniu, co również mogło mieć wpływ na wyniki badań. Innym ograniczeniem było boisko z trawy syntetycznej, które wpływa na wzorce ruchowe i standardy techniczne zawodników. Również sztab szkoleniowy był bardzo mały, składający się z 2 trenerów, co bardzo ogranicza możliwość szczegółowej kontroli podczas ćwiczeń. Przyszłe badania powinny objąć większą

liczbę zawodników z możliwie jak największym sztabem szkoleniowym, aby badania mogły być lepiej kontrolowane. Badania powinny być przeprowadzone na naturalnej nawierzchni, takiej na jakiej odbywają się oficjalne mecze. Również okres badań powinien być dłuższy i obejmować zarówno okres przygotowawczy, jaki i startowy. Ponadto można porównać zawodników pod względem pozycji, ponieważ profile aktywności mogą się od siebie różnić. Kolejne eksperymenty powinny obejmować również inne obiektywne metody oceny obciążenia treningowego, np. markery biochemiczne oraz lepiej wyselekcjonowaną grupę badawczą reprezentującą wyższy poziom rozgrywkowy.

## 5. Wnioski

1. Na podstawie oceny postrzeganego wysiłku (RPE), wykazano, że HIIT był istotnie statystycznie większym obciążeniem wewnętrznym niż SSG. To znaczy, że układ sercowo - naczyniowy i oddechowy był bardziej obciążony w treningu HIIT.

2. Stwierdzono, że w grupie HIIT odczucie zmęczenia w dniu potreningowym koreluje prawie w pełni dodatnio z RPE – co oznacza, że im wyższe RPE, tym większe zmęczenie. Natomiast wielkość tego zmęczenia ma wpływ na jakość snu i koreluje z nim bardzo wysoko ujemnie.

3. Na podstawie WSR dowiedziono, że restytucja powysiłkowa przebiegła szybciej w grupie HIIT niż w SSG. Może to świadczyć o lepszej adaptacji bieżącej młodych piłkarzy do zastosowanych obciążeń HIIT.

4. Analiza arkusza wellness i obciążenia treningowego z interwencji HIIT wykazała, że im wyższe PL, tym większe zmęczenie oraz ból mięśniowy w dniu potreningowym. Natomiast podczas interwencji SSG stwierdzono, że im wyższe HRE, tym większe zmęczenie w dniu potreningowym oraz im większe PL, tym gorsza jakość snu, dzień po treningu.

5. Stwierdzono, że obciążenie wewnętrzne (HRE) i obciążenie zewnętrzne (PL) było wyższe w przypadku zastosowania treningu HIIT niż SSG. Oznacza to, że układ ruchu oraz układ sercowo - naczyniowy i oddechowy był bardziej obciążony w przypadku piłkarzy realizujących trening interwałowy z wysoką intensywnością (HIIT).

6. Czterotygodniowy mezocykl obejmujący trening interwałowy o wysokiej intensywności (HIIT) i trening „małe gry” (SSG) wywoływał podobne fizjologiczne odpowiedzi i nie wpłynął na znaczną poprawę zdolności wysiłkowych aerobowych i anaerobowych, co jest niespójne z dotychczasowymi badaniami naukowymi. Można to tłumaczyć specyficznym okresem, w którym zostały podjęte badania, wskazując zarówno na czas pandemii COVID-19, jak i koniec sezonu piłkarskiego.

7. Po zastosowaniu obciążeń treningowych u młodych piłkarzy w grupie eksperymentalnej HIIT stwierdzono, że dynamika restytucji, analizowana na podstawie stężenia mleczanu we krwi była wyższa, niż w pierwszym badaniu. Może to świadczyć o zwiększeniu adaptacji do zastosowanych obciążeń treningowych, po czterotygodniowym mezocyklu.

## 6. Aplikacja Praktyczna

Wykorzystanie RPE do monitorowania intensywności ćwiczeń oraz wewnętrznego obciążenia treningowego może być cennym narzędziem do wykrywania nadmiernego zmęczenia związanego z procesem treningowym u sportowców, a także przydatne w monitorowaniu reakcji na trening, zapobieganiu przetrenowania i przewidywania wydajności przed wysiłkiem startowym.

Trenerzy powinni również rozważyć dostosowanie schematów treningowych w zależności od stanu zdrowia zawodników, zwłaszcza gdy u zawodników występuje niebezpieczny poziom bolesności mięśniowej, zmęczenia lub stresu. Regularne wykorzystanie arkusza wellness przyczyni się do jeszcze lepszego wglądu w stan organizmu zawodnika i może dać trenerowi informacje, na których podstawie zostanie dobrana odpowiednia forma treningu.

Holistyczne podejście zarówno do monitorowania, jak i kontroli efektywności procesu treningowego daje trenerom możliwość wielowymiarowego spojrzenia na relację trening – organizm zawodnika. Pokazuje możliwości połączenia prostych metod monitorowania z zaawansowaną technologią. Dzięki temu trenerzy i osoby zaangażowane w szkolenie sportowców mogą skuteczniej optymalizować proces treningowy, nawet bez możliwości użytkowania drogich technologii. Ma to ogromne znaczenie w klubach sportowych, szczególnie młodzieżowych, których budżety są niewystarczające, by móc korzystać z takich technologii.

Pomimo że w badaniach własnych nie zarejestrowano istotnych zmian, po przeanalizowaniu dotychczasowego piśmiennictwa zaleca się, aby łączyć obie formy treningu, zarówno HIIT i SSG, w celu poprawy wydolności zawodników we wszystkich aspektach: aerobowych i anaerobowych oraz kształtowania lub podtrzymywania umiejętności technicznych i taktycznych. Przy czym kolejność stosowania obu form treningu nie ma większego znaczenia. Natomiast w wielu badaniach wykazano, że są to specyficzne dla dyscypliny i skuteczne rozwiązania treningowe.

## 7. Piśmiennictwo

1. Ade J., Harley J., Bradley P. Physiological Response, Time – Motion Characteristics, and Reproducibility of Various Speed-Endurance Drills in Elite Youth Soccer Players: Small-Sided Games Versus Generic Running International. *Journal of Sports Physiology and Performance*, 2014, 9, 471–479.
2. Aguiar M., Botelho G., Lago C., Maças V., Sampaio J. A Review on the Effects of Soccer Small-Sided Games. *Journal of Human Kinetics*, 2012, 33, 103–113.
3. Aguiar M., Gonçalves B., Botelho G., Lemmink K., Sampaio J. Footballers' movement behaviour during 2-, 3-, 4- and 5-a-side small-sided games. *Journal of Sports Sciences*, 2015, 33, 1259–1266.
4. Akdoğan E., Yılmaz, I., Köklü Y., Alemdaroğlu, U., Cerrah, A. The effect of isolated or combined small-sided games and speed endurance training on physical performance parameters in young soccer players. *Kinesiology*, 2021, 53(1), 78–85.
5. Akubat I., Barrett S., Lapuente Sagarra M., Abt G. The Validity of External: Internal Training Load Ratios in Rested and Fatigued Soccer Players. *Sports*, 2018, 6, 44.
6. Alemdaroğlu, U. External and internal training load relationships in soccer players. *Journal of Human Sport and Exercise*, 2020 16(2), 304–316.
7. Alexiou H, Coutts AJ. A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.*, 2008, 3(3), 320–330.
8. Alves R., Costa L., Samulski D. Monitoring and prevention of overtraining in athletes. *Rev Bras Med Esporte*, 2006, 12, 5.
9. Ament W., Verkerke G. Exercise and fatigue. *Sports Med.*, 2009, 39, 389–422.
10. Andrade V., Zagatto A., Kalva-Filho C., Mendes O., Gobatto C., Campos E., Papoti M. Running - based Anaerobic Sprint Test as a Procedure to Evaluate Anaerobic Power. *Int J Sports Med*, 2015; 36, 1–7.
11. Andrzejewski M., Chmura J., Wiacek M., Zubrzycki Z. Influence of individualized training on psychomotor performance of young soccer players. *J Strength Cond Res*, 2011, 25(2), 374–378.
12. Andrzejewski M., Konefał M., Podgórski T., Pluta B., Chmura P., Chmura J., Marynowicz J., Melka K., Brazaitis M., Kryściak J. How training loads in the preparation and competitive period affect the biochemical indicators of training stress in youth soccer players? *PeerJ*, 2022, 10, e13367.
13. Andrzejewski M., Chmura J., Dybek T., Pluta B. Sport exercise capacity of soccer players at different levels of performance. *Biology of Sport*, 2012, 29, 185–191.
14. Andrzejewski M., Chmura P., Konefał M., Kowalczyk E., Chmura J. Match outcome and sprinting activities in match play by elite German soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2017, 58(6), 785–792.



15. Andrzejewski M., Chmura J., Pluta B., Strzelczyk R., Kasprzak A. Analysis of Motor Activities of Professional Soccer Players. *Pol. J. Sport Tourism*, 2016, 23, 196–201.
16. Arazi H., Asadi A., Khalkhali F., Boulosa D., Hackney A., Granacher U., Zouhal H. Association between the acute to chronic workload ratio and injury occurrence in young soccer players. *Frontiers in Physiology*, 2020, 24(11), 608.
17. Arruda AF., Carling C., Zanetti V., Aoki MS., Coutts AJ., Moreira A. Effects of a very congested match schedule on body-load impacts, accelerations, and running measures in youth soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015, 10(2), 248–52.
18. Arslan E., Alemdaroglu U., Koklu Y., Hazir T., Muniroglu S., Karako B. Effects of Passive and Active Rest on Physiological Responses and Time Motion Characteristics in Different Small Sided Soccer Games. *Journal of Human Kinetics*, 2017, 60, 123–132.
19. Arslan E., Orer G., Clemente F. Running-based high-intensity interval training vs. small-sided game training programs: effects on the physical performance, psychophysiological responses and technical skills in young soccer players. *Biology of Sport*, 2020, 37(2), 165–173.
20. Asci A. Heart Rate Responses during Small Sided Games and Official Match-Play in Soccer. *Sports*, 2016, 30;4(2), 31.
21. Averyanov V., Blinov V., Evdokimova G. Theoretical Aspects of Modeling the Coordination Training of Football Players at the Initial Training Stage. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 2020, 396.
22. Badin O., Smith M., Conte D., Coutts A. Mental Fatigue Impairs Technical Performance in Small-Sided Soccer Games International. *Journal of Sports Physiology and Performance*, 2016, 11(8), 1100-1105.
23. Bangsbo J, Mohr M, Krstrup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 2006, 24, 665–674.
24. Bara-Filho M., Schimitz F., Moreira D. i wsp. Heart rate variability and soccer training: a case study. *Motriz: rev. educ. fis.*, 2013, 19(1), 171–177.
25. Barbero-Álvarez J., Pedro R., Nakamura F. Validity of a repeated-sprint ability test in young soccer players. *Sci sports*, 2013, 28, 127–131.
26. Barnes C., Archer D., Hogg B., Bush M., Bradley P. The Evolution of Physical and Technical Performance Parameters in the English Premier League. *Int J Sports Med*, 2014, 35, 1095–1100.
27. Barros R., Milton S., Misuta R., Menezes P., Figueroa F., Moura S., Cunha R., Neucimar J. Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *J Sports Sci and Med* 2007, 6, 233–242.
28. Barte J., Nieuwenhuys A., Geurts S., Kompier M. Effects of fatigue on soccer performance and the role of task Motivation. *International Journal of Sport Psychology*, 2017, 48, 625–642.

29. Bartlett J., O'Connor F., Pitchford N., Torres-Ronda L., Robertson S. Relationships between internal and external training load in team sport athletes: evidence for an individualised approach International. *Journal of Sports Physiology and Performance Human Kinetics*, 2016, 12(2), 230–234.
30. Bate D., Jeffreys I. *Soccer Speed*. Human Kinetic, 2015.
31. Beato M., Coratella G., Bianchi M., Costa E., Merlini M. Short-term repeated-sprint training (Straight Sprint vs. Changes of Direction) in soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 2019, 70(1), 183–190.
32. Beaver W., Wasserman K., Whipp B. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol*, 1986, 60(6), 2020–2027.
33. Ben Abdelkrim N., Castagna C., Jabri I., Battikh T., El Fazaa S., El Ati J. Activity profile and physiological requirements of junior elite basketball players in relation to aerobic-anaerobic fitness. *J. Strength Cond. Res.*, 2010, 24, 2330–2342.
34. Bishop D., Girard O., Mendez-Villanueva A. Repeated-Sprint Ability – Part II Recommendations for Training. *Sports Med.*, 2011, 1, 41(9), 741–756.
35. Bondarchuk AP. *Transfer of Training in Sports*. Ultimate Athlete Concepts, 2007, ISBN: 0981718019.
36. Boraczyński M., Laskin J., Gajewski J., Podstawski R., Brodnicki M., Boraczyński TW. Effects of two low-volume high-intensity interval training protocols in professional soccer: sprint interval training versus small-sided games. *J Sports Med Phys Fitness*. Epub ahead of print, 2022, ISBN: 35191291.
37. Boraczyński T., Zaporozhanov V. Uczenie się motoryczne jako kryterium oceny koordynacyjnych zdolności badanych. *Psychologia Pedagogiczna i Medyczo – Biologiczne Problemy Edukacji Fizycznej*, 2011. Pobrano 15 marca 2022 z <https://www.sportpedagogy.org.ua/html/journal/2011-10/11botcma.pdf>.
38. Boulosa D., Abreu L., Nakamura F., Muñoz V., Domínguez E., Leicht A. Cardiac autonomic adaptations in elite Spanish soccer players during preseason. *Int J Sports Physiol Perform*, 2013, 8(4), 400–409.
39. Boulosa DA., Abreu L., Tuimil JL., Leicht AS. Impact of a soccer match on the cardiac autonomic control of referees. *Eur J Appl Physiol*, 2012, 112(6), 2233–2242.
40. Bourdon P., Cardinale M., Murray A., Gatin P., Kellmann M., Varley M., Gabbett T., Coutts A., Burgess D., Gregson W., Cable N. Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12, 161–170.
41. Bowen L., Gross A.S., Gimpel M., Li FX. Accumulated workloads and the 327 acute: chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. *British Journal of Sports Medicine*, 2017, 51(5), 452–429.
42. Boyas S., Guével A. Neuromuscular fatigue in healthy muscle: underlying factors and adaptation mechanisms. *Ann Phys Rehabil Med*, 2011, 54(2), 88-108.

43. Bradley P., Carling C., Gomez Diaz A., Hood P, Barnes C, Ade J, Boddy M, Krstrup P, Mohr M. Match performance and physical capacity of players in the top three competitive standards of English professional soccer. *Hum Mov Sci*, 2013, 32, 808 – 821.
44. Bradley P., Mohr M., Bendiksen M., Randers M., Flindt M., Barnes C., Hood P., Gomez A., Andersen J., Di Mascio M., Bangsbo J., Krstrup P. Sub-maximal and maximal Yo - Yo intermittent endurance test level 2: heart rate response, reproducibility and application to elite soccer. *Eur J Appl Physiol*, 2011, 111, 969–997.
45. Bradley PS., Sheldon W., Wooster B., Olsen P., Boanas P., Krstrup P. High intensity running in English FA Premier League soccer matches. *J Sports Sci*, 2009, 27, 159–168.
46. Bravo F., Impellizzeri F., Rampinini E., Castagna C., Bishop D., Wisloff U. Sprint vs. Interval Training in Football. *Int J Sports Med*, 2008, 29, 668–674.
47. Brink M., Nederhof E., Visscher C., Schmikli S., Lemmink K. Monitoring load, recovery, and performance in young elite soccer players. *J. Strength Cond Res.* 2010, 24, 597–603.
48. Brocherie F., Girard O., Faiss R., Millet G. High intensity intermittent training in hypoxia: A double-blinded, placebo - controlled field study in youth football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2014, 29(1), 226–237.
49. Brown Lee E., National Strength and Conditioning Association. *Strength Training, Second Edition.* Human Kinetics, 2016.
50. Buchheit M., Kuitunen S., Voss S., Physiological strain associated with high-intensity hypoxic intervals in highly trained young runners. *J Strength Cond Res.* 2012, 26, 94–105.
51. Buchheit M., Laursen P., Kuhnle J., Ruch D., Renaud C., Ahmaidi S. Game-based training in young elite handball players. *Int J Sports Med*, 2009, 30, 251–258.
52. Buchheit M., Mendez-Villanueva A., Delhomel G., Brughelli M., Ahmaidi S. Improving Repeated Sprint Ability In Young Elite Soccer Players: Repeated Shuttle Sprints vs. Explosive strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2010, 24(10), 2715-2722.
53. Buchheit M., Rabbani A. The 30-15 Intermittent Fitness Test versus the Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1: Relationship and Sensitivity to Training. *Int J Sports Physiol Perform*, 2014; 9, 522–524.
54. Buchheit M., Laursen P. High - Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle: Part I: Cardiopulmonary Emphasis. *Sport Med*, 2013; 43, 313–338.
55. Buchheit M. Should we be recommending repeated sprints to improve repeated-sprint performance? *Sports Medicine*, 2012, 42(2), 169–172.
56. Bujnovsky D., Maly T., Ford K., Sugimoto D., Kunzmann E., Hank M., Zahalka F. Physical Fitness Characteristics of High-level Youth Football Players: Influence of Playing Position. *Sports* 2019, 7(2), 46.
57. Burke L., Hawley J., Wong S., Jeukendrup A. Carbohydrates for training and competition. *J Sports Sci.*, 2011, 29(1), 17-27.

58. Campos-Vazquez M., Toscano-Bendala F., Mora-Ferrera J., Suarez-Arrones L. Relationship Between Internal Load Indicators and Changes on Intermittent Performance After the Preseason in Professional Soccer Players. *J Strength Cond Res*, 2017, 31, 1477–1485.
59. Carling C., Bloomfield J., Nelsen L., Reilly T. The role of motion analysis in elite soccer: Contemporary performance measurement techniques and work-rate data. *Sports Medicine*, 2008, 38, 839–862.
60. Casamichana D, Castellano J, Dellal A. Influence of different training regimes on physical and physiological demands during small-sided soccer games: Continuous vs. intermittent format. *J Strength Cond Res*, 2013, 27, 690–697.
61. Castagna C, Impellizzeri FM, Chaouachi A, Manzi V. Preseason variations in aerobic fitness and performance in elite-standard soccer players: a team study. *J Strength Cond Res*. 2013, 27(11), 2959-2965.
62. Castellano J., Alvarez-Pastor D., Bradley PS. Evaluation of Research Using Computerised Tracking Systems (Amisco® and Prozone®) to Analyse Physical Performance in Elite Soccer: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 2014, 44(5), 701–712.
63. Chaari N., Frikha M., Mezghanni N., Masmoudi L., Souissi N. Time-of-day and warm-up durations effects on thermoregulation and anaerobic performance in moderate conditions. *Biological Rhythm Research*. 2014, 45, 495–508.
64. Chamari, K., Hachana, Y., Kaouech, F., Jeddi, R., Moussa-Chamari, I. and Wisloff, U., Endurance Training and Testing with The Ball in Young Elite Soccer Players. *British Journal of Sports Medicine*, 2005, 39(1), 24–28.
65. Chmura J. Rozgrzewka. Podstawy fizjologiczne i zastosowanie praktyczne. PZWL Wydawnictwo Lekarskie, 2014.
66. Chmura J., Nazar K. Parallel changes in the onset of blood lactate accumulation (OBLA) and threshold of psychomotor performance deterioration during incremental exercise after training in athletes. *Int J Psychophysiol*, 2010, 75(3), 287-290.
67. Chmura J., Nazar K., Kaciuba-Uściłko H. Próg psychomotoryczny zmęczenia. *Sport Wyczynowy*, 2007, 4-6, 27-36.
68. Chmura P., Andrzejewski M., Konefał M., Mroczek D., Rokita A., Chmura J. Analysis of Motor Activities of Professional Soccer Players during the 2014 World Cup in Brazil. *Journal of Human Kinetics*, 2017, 56, 187–195.
69. Chmura P., Chmura J. Assessment of sprinting skill of soccer players based on straight and zig-zag sprint tests. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*. 2018, 40
70. Chmura P., Konefał M., Chmura J., Kowalczyk E., Zając T., Rokita A., Andrzejewski M. Match outcome and running performance in different intensity ranges among elite soccer players. *Biol Sport*, 2018, 35(2), 197–203.

71. Chmura P., Konefał M., Wong D., Figueiredo A., Kowalczyk E., Rokita A., Chmura J., Andrzejewski M. Players' Physical Performance Decreased After Two-Thirds of the Season: Results of 3 Consecutive Seasons in the German First Bundesliga. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(11), 2044.
72. Chmura P., Liu H., Andrzejewski M., Chmura J., Kowalczyk E., Rokita A., Konefał M. Is there meaningful influence from situational and environmental factors on the physical and technical activity of elite football players? Evidence from the data of 5 consecutive seasons of the German Bundesliga. *PLoS One.*, 2021, 16(3), e0247771.
73. Chmura P., Podgórski T., Konefał M., Rokita A., Chmura J., Andrzejewski M. Endocrine Responses to Various 1 × 1 Small-Sided Games in Youth Soccer Players. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(24), 4974.
74. Chmura P., van Gent M., Rokita A., Chmura J. Repeated sprint ability and dynamic post-exercise recovery in soccer players. *Science & Sports*, 2018, 33(2), 123–125.
75. Chtara M., Rouissi M., Haddad M., Chtara H., Chaalali A., Owen A., Chamari K. Specific physical trainability in elite young soccer players: Efficiency over 6 weeks' in-season training. *Biology of Sport*, 2017, 34 (2), 137–148.
76. Cissik J. Means and Methods of Speed Training, Part 2. *Strength & Cond. Journal*, 2005, 27(1), 18–25.
77. Clemente F. Associations between wellness and internal and external load variables in two intermittent small-sided soccer games. *Physiology & Behavior*, 2018, 197, 9–14 .
78. Clemente F., Mendes B., Nikolaidis P., Calvete F., Carriço S., Owen A. Internal training load and its longitudinal relationship with seasonal player wellness in elite professional soccer. *Physiol Behav*, 2017, 1,262–267.
79. Clemente F., Ramirez-Campillo R., Afonso J., Sarmiento H., Rosemann T., Knechtle B. A Meta-Analytical Comparison of the Effects of Small-Sided Games vs. Running-Based High-Intensity Interval Training on Soccer Players' Repeated-Sprint Ability. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(5), 2781.
80. Clemente F., Sarmiento H. Combining small-sided soccer games and running-based methods: A systematic review. *Biol Sport*, 2021, 38(4), 617-627.
81. Clemente F., Wong D., Martins F., Mendes R. Acute effects of the number of players and scoring method on physiological, physical, and technical performance in small-sided soccer games. *Res Sports Med*, 2014, 22(4), 380-397.
82. Clemente F., Wong D., Martins F., Mendes, R. Differences in U14 football players' performance between different small-sided conditioned games. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 2015, 11(42), 376–386.

83. Clemente F. The Threats of Small-Sided Soccer Games: A Discussion About Their Differences with the Match External Load Demands and Their Variability Levels. *Strength and Conditioning Journal*, 2019, 42, 1.
84. Clemente FM., Sarmiento H., Rabbani A., Van Der Linden CMIN., Kargarfard M., Costa, IT. Variations of external load variables between medium- and large-sided soccer games in professional players. *Res.Sport*, 2019, 27, 50–59.
85. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge, 1988.
86. Cometti G. *La preparation physique en football*. Chiron, 2002.
87. Comfort P., Stewart A., Bloom L., Clarkson B. Relationships Between Strength and Sprint Performance In Well-Trained Youth Soccer Players. *J Strength Cond Res*, 2013, 28(1), 173–177.
88. Costigan S., Eather N., Plotnikoff R., Taaffe D., Lubans D. High-intensity interval training for improving health-related fitness in adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Br. J. Sports Med*, 2015, 49, 1253–1261.
89. Coutinho D., Gonçalves B., Travassos B., Wong D., Coutts A., Sampaio J. Mental fatigue and spatial references impair soccer players physical and tactical performances. *Front Psychol*, 2017, 21(8),1645.
90. Coutinho D, Gonçalves B, Wong DP, Travassos B, Coutts AJ, Sampaio J. Exploring the effects of mental and muscular fatigue in soccer players' performance. *Hum Mov Sci*, 2018, 58, 287–296.
91. Coutts A., Rampinini E., Marcora S., et al. Heart rate and blood lactate correlates of perceived exertion during small sided soccer games. *J Sci Med Sport*, 2009; 12(1), 79-84.
92. Coutts AJ., Crowcroft S., Kempton T. Developing athlete monitoring systems: Theoretical basis and practical applications. In M. Kellmann, J. Beckmann (Eds.), *Sport, Recovery and Performance: Interdisciplinary Insights*, 2018, 19–32.
93. Coutts AJ., Duffield R. Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2010, 13(1), 133-135.
94. Coutts A., Rampinini E., Marcora S., Castagna C. Impellizzeri, F. Heart rate and blood lactate correlates of perceived exertion during small-sided soccer games. *J. Sci. Med. Sport*, 2009, 12, 79–84.
95. Cummins C., Orr H., O'Connor C. Global positioning systems (GPS) and microtechnology sensors in team sports: a systematic review. *Sports Medicine*, 2013, 43, 1025-1042.
96. Dalen T., Aune T., Hjelde G., Ettema G., Sandbakk Ø., McGhie D. Player load in male elite soccer: Comparisons of patterns between matches and positions. *PLoS One.*, 2020, 15(9), e0239162.
97. Dalen T., Sandmæl S., Stevens T., Hjelde, G., Kjøsnæs, T., Wisløff, U. Differences in acceleration and high-intensity activities between small-sided games and peak periods of official matches in elite soccer players. *J. Strength Cond. Res.*, 2019, 1;35(7), 2018-2024.
98. Davids K., Araujo D., Correia V., Vilar L. How small-sided and conditioned games enhance acquisition of movement and decision-making skills. *Exerc Sport Sci Rev*. 2013, 41(3), 154–161.

99. de Dios-Álvarez V., Suárez-Iglesias D., Bouzas-Rico S., Alkain P., González-Conde A., Ayán-Pérez C. Relationships between RPE-derived internal training load parameters and GPS-based external training load variables in elite young soccer players. *Res Sports Med.*, 2021, 14,1–16.
100. Dellal A., Chamari K., Pintus A., Girard O, Cotte T., Keller D. Heart rate responses during small-sided games and short intermittent running training in elite soccer players: a comparative study. *J Strength Condit Res*, 2008, 22, 1449–1457.
101. Dellal A, Owen A, Wong DP, Krustup P, van Exsel M, Mallo J. Technical and physical demands of small vs. large sided games in relation to playing position in elite soccer. *Hum Mov Sci*, 2012, 31, 957–969.
102. Dellal A., Varliette C., Owen A., Chirico E., Pialoux V. Small-sided games versus interval training in amateur soccer players: effects on the aerobic capacity and the ability to perform intermittent exercises with changes of direction. *J Strength Condit Res* 2012, 26, 2712-2720.
103. Dellal A., Chamari C., Wong D., Ahmaidi S., Keller D., Barros M., Bisciotti G., Carling C. Comparison of physical and technical performance in European professional soccer match play: The FA premier league and La LIGA. *Eur J Sport Sci*, 2011, 11, 51–59.
104. Dellal A., Hill-Haas S., Lago-Penas C., Chamari K. Small-sided games in soccer: amateur vs. professional players' physiological responses, physical, and technical activities. *J Strength Cond Res*, 2011, 25(9), 2371-2381.
105. Dellal A., Owen A., Wong D. P., Krustup P., Van Exsel M., Mallo J. Technical and physical demands of small vs. large sided games in relation to playing position in elite soccer. *Hum Mov Sci*. 2012, 31(4), 957–969.
106. Dellal A., Wong D.P., Moalla W., Chamari K. Physical and technical activity of soccer players in the French First League – with special reference to their playing position. *International Journal of Sports Medicine*, 2010, 11, 278–290.
107. Delves R., Aughey R., Ball K., Duthie G. The Quantification of Acceleration Events in Elite Team Sport: a Systematic Review. *Sports Med Open*, 2021, 7(1), 45.
108. Di Salvo V., Baron R., Tschan H., Montero F., Bachl N., Pigozzi F. Performance Characteristics According to Playing Position in Elite Soccer International. *Journal of Sports Medicine*, 2007, 28(3), 222–227.
109. Di Salvo V., Baron V., Gonzalo-Haro R., Gormasz A., Pigozzi C., Bachl F. Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *Journal of Sports Sciences*, 2010, 28, 1489–1494.
110. Di Salvo V., Collins A., Mc Neill B., Cardinale M. Validation of ProZone. A new video-based performance analysis system. *International Journal of Performance Analysis in Sports*, 2006, 26, 108–119.

111. Djaoui L., Wong del P., Pialoux V., Hautier C., Da Silva C., Chamari K., Dellal A. Physical Activity during a Prolonged Congested Period in a Top-Class European Football Team. *Asian J Sports Med*, 2014, 5, 7–53.
112. Dolci F., Hart N., Kilding A., Chivers P., Piggott B., Spiteri T. Physical and Energetic Demand of Soccer: A Brief Review. *Strength and Conditioning Journal*, 2020, 42(3), 70–77.
113. Drust B., Reilly T., Cable N. Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *J. Sports Sci*, 2000, 18, 885–892.
114. Duda H. Intelktualizacja nauczania piłkarzy nożnych - istotnym elementem skutecznego szkolenia. *Trener*, 2014, 1, 20-22.
115. Dupont G., Berthoin, S. Time Spent at a High Percentage of VO<sub>2</sub>max for Short Intermittent Runs: Active Recovery versus Passive Recovery. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 2004, 29, 3–16.
116. Eddolls W., McNarry M., Stratton G., Winn C. Mackintosh K. High-intensity interval training interventions in children and adolescents: a systematic review. *Sports Med.*, 2017, 47, 2363–2374.
117. Edge J, Bishop D, Goodman C, Dawson B. Effects of high- and moderate-intensity training on metabolism and repeated sprints. *Med Sci Sport Exer*, 2005, 37, 1975–1982.
118. Ehrmann E., Duncan S., Sindhusake D., GPS and injury prevention in 345 professional soccer. *J Strength Cond Res*, 2016, 30, 360–367.
119. Engel F, Ackermann A, Chtourou H, Sperlich B High-Intensity Interval Training Performed by Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Physiol*. 2018, 9, 1012.
120. Eniseler N., Şahan C., Özcan I., Dinler K. High-Intensity Small-Sided Games versus Repeated Sprint Training in Junior Soccer Players. *Journal of Human Kinetics*, 2017, 60, 101–111.
121. Fanchini M., Castagna C., Coutts A., Schena F., McCallf A., Impellizzeri F. Are the Yo-Yo intermittent recovery test levels 1 and 2 both useful? Reliability, responsiveness and interchangeability in young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 2014, 32(20), 1950–1957.
122. Fanchini M., Ghielmetti R., Coutts A., Schena F., Impellizzeri F. Effect of Training-Session Intensity Distribution on Session Rating of Perceived Exertion in Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2015, 10, 426–430.
123. Faude O., Schnittker R., Schulte-Zurhausen R., Müller F., Meyer T. High intensity interval training vs. high-volume running training during pre-season conditioning in high-level youth football: a cross-over trial. *J Sports Sci*. 2013, 31(13), 1441–1450.
124. Faude O., Steffen A., Kellmann M., Meyer T. The effect of short-term interval training during the competitive season on physical fitness and signs of fatigue: a crossover trial in high-level youth football players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014, 9(6), 936–944.
125. Faul F., Erdfelder E., Lang A., Buchner A., G\*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*. 2007, 39(2), 175–191.



126. Ferley D., Scholten S., Vukovich M. Combined Sprint Interval, Plyometric, and Strength Training in Adolescent Soccer Players: Effects on Measures of Speed, Strength, Power, Change of Direction, and Anaerobic Capacity *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2020, 34(4), 957–968.
127. Fernandez-Fernandez J., Zimek R., Wiewelhove T., Ferrauti A. High-Intensity Interval Training vs. Repeated Sprint Training in Tennis. *J Strength Cond Res*, 2012, 26, 53–62.
128. Ferraz R., van den Tillaar R., Marques M. The effect of fatigue on kicking velocity in soccer players. *J Hum Kinet*, 2012, 35, 97–107.
129. Fessi M., Moalla W. Postmatch Perceived Exertion, Feeling, and Wellness in Professional Soccer Players *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018, 13, 631–637.
130. Fessi M., Nouira S., Dellal A., Owen A., Elloumi M. Moalla W. Changes of the psychophysical state and feeling of wellness of professional soccer players during preseason and in-season periods. *Research in Sports Medicine*, 2016, 24(4), 375–386.
131. Fortuna M. Podstawy kształtowania i kontroli zdolności wysiłkowej tlenowej i beztlenowej Kolegium Karkonoskie w Jeleniej Górze, 2008.
132. Frikha M., Chaari N., Said N., Alibrahim M. Warm-up durations in a hot-dry climate affect thermoregulation, mean power-output and fatigue, but not peak power in specific soccer repeated-sprint ability. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2020, 12(1), 76.
133. Gallo T., Cormack S., Gabbett T., Lorenzen C. Pre-training perceived wellness impacts training output in Australian football players. *Journal Of Sports Sciences*, 2016, 34(15) 1445–1451.
134. García-Hermoso A., Cerrillo-Urbina AJ., Herrera-Valenzuela T., Cristi Montero C., Saavedra JM., Martínez-Vizcaíno V. Is high intensity interval training more effective on improving cardiometabolic risk and aerobic capacity than other forms of exercise in overweight and obese youth? A meta-analysis. *Obes. Rev.*, 2016, 17, 531–540.
135. Gibala M., Little J., Van Essen M., Wilkin G., Burgomaster K., Safdar A., Raha S., Tarnopolsky M. Short term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol*, 2006, 575, 901–911.
136. Górski J. Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego PZWL Wydawnictwo Lekarskie, 2006.
137. Haddad M., Chaouachi A., Wong del P., Influence of fatigue, stress, muscle soreness and sleep on perceived exertion during submaximal effort. *Physiol Behav*, 2013, 119, 185–189.
138. Haff G., Triplett N. Essentials of strength training and conditioning. National Strength and Conditioning Association - Fourth edition, 2016.
139. Halouani J., Chtourou H., Gabbett T., Chaouachi A., Chamari K. Smallsided games in team sports training: a brief review. *J Strength CondRes.*, 2014, 28(12), 3594–3618.
140. Hammami M., Gaamouri N., Shephard R., Chelly M. Effects of contrast strength vs. plyometric training on lower limb explosive performance, ability to change direction and neuromuscular adaptation in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2018, 33(8), 2094–2103.

141. Hammami M., Negra Y., Shephard R., Chelly M. The effect of standard strength- vs. contrast strength training on the development of sprint, agility, repeated change of direction and jump in male junior soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2017, 31(4), 901–912.
142. Harrison C., Kinugasa T., Gill N., Kilding A. Aerobic fitness for young athletes: Combining game-based and high-intensity interval training. *Int J Sports Med*, 2015, 94, 929–934.
143. Haugen T., Seiler S. Physical and Physiological Testing of Soccer Players: Why, What and How should we Measure? *Sportscience*, 2015, 19, 10-26.
144. Haugen F., Paulsen G., Enoksen E., Seiler S. Sprint conditioning of junior soccer players: Effects of training intensity and technique supervision. *PLoS One*, 2015, 10(3), e0121827.
145. Haugen, T., Tonnessen, E., Leirstein, S., Hem, E., & Seiler, S. Not quite so fast: Effect of training at 90% sprint speed on maximal and repeated-sprint ability in soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 2014, 32(20), 1979–1986.
146. Helgerud J., Engen LC., Wisloff U., Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med. Sci. Sports Exerc*, 2001, 33, 1925–1931.
147. Hicks D. Resisted and Assisted Sprint Training: Determining the Transfer to Maximal Sprinting. *New Studies in Athletics*, 2018, 32, 35–51.
148. Hill-Haas S., Dawson B., Impellizzeri F., Coutts A. Physiology of small-sided games training in football A Systematic Review. *Sports Med*, 2011, 41(3), 199–220.
149. Hill-Haas S., Coutts A., Rowsell G., Dawson B. Generic Versus Small-Sided Games Training in Soccer, *International Journal of Sports Medicine*, 2009, 30(9), 636–642.
150. Hill-Haas S., Rowsell G., Dawson B., Coutts A. Acute physiological responses and time-motion characteristics of two small-sided training regimes in youth soccer players. *J Stren Cond Res.*, 2009, 23(1), 111-115.
151. Hill-Haas S., Rowsell G., Coutts A., Dawson B. The reproducibility of physiological responses and performance profiles of youth soccer players in small-sided games. *Int. J. Sports Physiol.*, 2008, 3, 393–396.
152. Hill-Haas S., Dawson B., Impellizzeri, F., Coutts A. Physiology of small-sided games training in football: A systematic review. *Sports Med.*, 2011, 41, 199–220.
153. Hoff J., Wisløff U., Engen L., Kemi O., Helgerud J. Soccer specific aerobic endurance training *Br J Sports Med* 2002, 36, 218–221.
154. Hoff J., Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players: Physiological considerations. *Sports Med*, 2004, 34, 165–180.
155. Hoff J., Wisloff U., Engen LC., Kemi OJ. Helgerud J. Soccer Specific Aerobic Endurance Training. *British Journal of Sports Medicine*, 2002, 36, 218–221.
156. Hooper SL., Mackinnon LT. Monitoring overtraining in athletes. Recommendations. *Sports Med*, 1995, 20, 321–327.

157. Howard N., Stavrianeas S. In-Season High-Intensity Interval Training Improves Conditioning In High School Soccer Players. *Int J Exerc Sci*, 2017, 10(5), 713–720.
158. Iacono A., Dello, Eliakim A, Meckel Y. Improving fitness of elite handball players. *J. Strength Cond Res*. 2015, 29(3), 835–843.
159. Impellizzeri F., Marcora S., Coutts A. Internal and External Training Load: 15 Years On. *Int J Sports Physiol Perform*, 2019, 14(2), 270–273.
160. Impellizzeri F., Marcora S., Castagna C., Reilly T., Sassi A., Iaia F., Rampinini E. Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int J Sports Med*, 2006, 27, 483–492.
161. Jaskólski A., *Podstawy fizjologii wysiłku fizycznego z zarysem fizjologii człowieka*. AWF Wrocław, 2006.
162. Jastrzębski Z., Barnat W., Dargiewicz R., Maculewicz E., Szwarc A., Radziński Ł. Effect of In-Season Generic and Soccer- Specific High-Intensity Interval Training in Young Soccer Players. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 2014, 9, 1169–1179.
163. Jensen J., Randers M., Krstrup P., Bangsbo J. Effect of additional in-season aerobic high-intensity drills on physical fitness of elite football players. *J Sports Sci Med (Supplementum)*, 2007, 79.
164. Jones S., Drust B. Physiological and technical demands of 4 v 4 and 8 v 8 games in elite youth soccer players. *Kinesiology* 2007, 39 (2), 150–156.
165. Kalinowski P., Bojkowski Ł., Śliwowski R. Motor and psychological predispositions for playing football. *TRENDS Sport Sci*, 2019, 2(26), 51–56.
166. Katis A., Kellis E. Effects of small-sided games on physical conditioning and performance in young soccer players. *J Sports Sci Med*, 2009, 8, 374–380.
167. Kenney W., Wilmore J., Costill D. *Physiology of Sport and Exercise (6th ed)*. Human Kinetics, 2015.
168. Khan M., Moiz J., Raza S., Verma S., Shareef M., Anwer S., Alghadir A. Physical and balance performance following exercise induced muscle damage in male soccer players. *J Phys Ther Sci*. 2016, 28(10), 2942–2949.
169. Koklu Y., Alemdaroğlu U, Cihan H, Wong DP. Effects of Bout Duration on Players' Internal and External Loads During Small-Sided Games in Young Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*, 2017, 12(10), 1370–1377.
170. Koklu Y., Alemdaroglu U, Delall A, Wong DP. Effect of different recovery durations between bouts in 3-aside games on youth soccer players' physiological responses and technical activities. *J Sports Med Phys Fitness*, 2015, 55, 430–438.
171. Koklu Y., Sert O, Alemdaroglu U, Arslan Y. Comparison of the physiological responses and time motion characteristics of young soccer players in small sided games: The effect of goalkeeper. *J StrengthCond Res*, 2013, 29(4), 964–971.

172. Koklu Y., Alemdaroğlu U. Comparison of the Heart Rate and Blood Lactate Responses of Different Small Sided Games in Young Soccer Players. *Sports*. 2016, 4(4), 48.
173. Kołodziejczyk M., Chmura P., Konefał M., Chmura J., Rokita A., Andrzejewski M. The Effect of Squad Rotation on Physical Activity at the 2018 World Cup in Russia. Analysis the Most Exploited Players of the 4 Best Teams. *Frontiers in psychology*, 2021, 12, 726207.
174. Kołodziejczyk M., Chmura P., Modric T., Versic S., Andrzejewski M., Chmura J., Sekulic D., Rokita A., Konefał M. Do players competing in the UEFA Champions League maintain running performance until the end of the match? Positional analysis between halves and 5-minute intervals. *J Sports Med Phys Fitness*. Jul 11, 2022.
175. Konefał M., Chmura P., Kowalczyk E., Figueiredo J., Sarmento H., Rokita A., Chmura J., Andrzejewski M. Modeling of relationships between physical and technical activities and match outcome in elite German soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2019, 59(5), 752–759.
176. Konefał M., Chmura P., Rybka K., Chmura J., Huzarski M., Andrzejewski M. What Frequency of Technical Activity Is Needed to Improve Results? New Approach to Analysis of Match Status in Professional Soccer. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(12), 2233.
177. Konefał M., Chmura P., Tessitore A., Melcer T., Kowalczyk E., Chmura J., Andrzejewski M. The Impact of Match Location and Players' Physical and Technical Activities on Winning in the German Bundesliga. *Front Psychol*, 2020, 11, 1748.
178. Konefał M., Chmura P., Zając T., Chmura J., Kowalczyk E., Andrzejewski M. Evolution of technical activity in various playing positions, in relation to match outcomes in professional soccer. *Biol Sport*, 2019, 36(2):181–189.
179. Kozłowski S., Nazar K., „Wprowadzenie do fizjologii klinicznej”, Warszawa, 1999, PZWL
180. Krusturup P., Mohr M., Nybo L., Jensen J., Nielsen J., Bangsbo J. The Yo-Yo IR2 test: physiological response, reliability, and application to elite soccer. *Med Sci Sports Exerc*. 2006, 38(9),1666–1673.
181. Krusturup P., Mohr M., Steensberg A., Bencke J., Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2006, 38, 1165–1174.
182. Kukowska A., Dziadziuszko R., Jassem J. Metody losowego przydziału leczenia w badaniach klinicznych *Onkologia w Praktyce Klinicznej*, 2005, 1(3), 151–156.
183. Kunz P., Engel F., Holmberg H., Sperlich B. A Meta-Comparison of the Effects of High-Intensity Interval Training to Those of Small-Sided Games and Other Training Protocols on Parameters Related to the Physiology and Performance of Youth Soccer Players. *Sports Medicine*, 2019, 5(1), 7.
184. Labsy Z., Tourny – Chollet C., Gallice J., Ahmaidi S., Blatter J. Small-sided Games and Integrating Physical Preparation: 100 Training Games Fédération internationale de football association, 2013.

185. Laursen P., Buchheit M. „Science and application of high- intensity interval training: solutions to the programming puzzle” *Human Kinetics*, 2019.
186. Little T. Optimizing the Use of Soccer Drills for Physiological Development. *Strength Cond. J.*, 2009, 31, 67–74.
187. Ljach W., Witkowski Z. Development and Training of Coordination Skills in 11 to 19 Year Old Soccer Players. *Human Physiology*, 2010, 36.
188. Ljach W., Witkowski Z. Koordynacyjne zdolności motoryczne w piłce nożnej, Centralny Ośrodek Sportu, Warszawa, 2004.
189. Lockie R., Murphy A., Scott B., Janse de Jonge X. Quantifying session ratings of perceived exertion for field-based speed training methods in team sport athletes. *J Strength Cond Res.* 2012, 26(10), 2721–2728.
190. Los Arcos A., Méndez-Villanueva A., Yanci J., Martínez-Santos R. Respiratory and muscular perceived exertion during official games in professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*, 2015, 11(3), 301–304.
191. Los Arcos A., Vázquez J., Martín J., Lerga J., Sánchez F., Villagra F., Zulueta J. Effects of Small-Sided Games vs. Interval Training in Aerobic Fitness and Physical Enjoyment in Young Elite Soccer Players. *PLoS One.* 2015, 10(9).
192. Marqués-Jiménez D., Calleja G., Arratibel I., Delextrat A., Terrados N. Fatigue and Recovery in Soccer: Evidence and Challenges. *The Open Sports Sciences Journal*, 2017, 10(1), 52–70.
193. Mascarin R., Andrade V., Barbieri R., Loures J., Kalva C., Papoti M. Dynamics of Recovery of Physiological Parameters After a Small- Sided Game in Women Soccer Players. *Frontiers in Physiology*, 2018, 9, 887.
194. Maszczyk A., Wilk M., Krzysztofik M., Gepfert M., Zając A., Petr M., Stastny P. The effects of resistance training experience on movement characteristics in the bench press exercise. *Biol Sport.* 2020, 37(1), 79–83.
195. Matveyev L. Podstawy treningu sportowego. Wydawcy postępu, 1981.
196. Maughan R, Shirreffs S., Ozgunen K., Living, training and playing in the heat: challenges to the football player and strategies for coping with environmental extremes. *Scand J Med Sci Sports*, 2010, 20, 117–24.
197. McLaren S., Graham M., Spears I., Weston M. The sensitivity of differential ratings of perceived exertion as measures of internal load. *Int J Sports Physiol Perform.*, 2016, 11, 404–406.
198. Meier R. *Strength Training for Soccer Meyer & Meyer Sport*, 2007.
199. Mizera K., Mizera J. Dieta piłkarska. Nawadnianie. *Sport Wyczynowy*, 2012, 3/543,71.
200. Moalla W., Fessi M., Farhat F., Nouira S., Wong D., Dupont G. Relationship between daily training load and psychometric status of professional soccer players. *Res Sports Med*, 2016, 24, 387–394.

201. Modric T., Jelcic M., Sekulic D. Relative Training Load and Match Outcome: Are Professional Soccer Players Actually Undertrained during the In-Season? *Sports (Basel)*, 2021, 9(10), 139.
202. Mohr M., Krusturup P., Bangsbo J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci.* 2003, 21:519–28.
203. Mohr M., Krusturup P. Comparison between two types of anaerobic speed endurance training in competitive soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 2016, 1, 183–192.
204. Mohr M., Mujika I., Santisteban J, et al. Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: a multi-experimental approach. *Scand J Med Sci Sports*, 2010, 20, 125–132.
205. Moreira A., Aoki M., Carling C., Lopes R., Schultz de Arruda A., Lima M., Correa U., Bradley P. Temporal Changes in Technical and Physical Performances During a Small-Sided Game in Elite Youth Soccer Players. *Asian J Sports Med*, 2016, 7(4).
206. Morgan W. Psychological factors influencing perceived exertion. *Med. Sci. Sports*, 1973, 5, 97–103.
207. Murray A., Aitchison T., Ross G., Sutherland K., Watt I., McLean D., Grant S. The effect of towing a range of relative resistances on sprint performance. *J Sports Sci.*, 2005, 23(9), 927-935.
208. Mynarski W. Właściwości motoryczności ludzkiej w świetle współczesnych psychologicznych teorii zdolności. *Motoryczność dzieci i młodzieży – aspekty teoretyczne oraz implikacje metodyczne*. AWF Katowice, 1986, 86–89.
209. Naglak Z. *Metodyka trenowania sportowca*, AWF Wrocław, 1999.
210. Nalbandian M., Takeda M. Lactate as a signaling molecule that regulates exercise-induced adaptations. *Biology*, 2016, 5(4), 38.
211. Narazaki K., Berg K., Stergiou N., Chen B. Physiological demands of competitive basketball. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2009, 19, 425–432.
212. Nassis G. P., Brito J., Figueiredo P., Gabbett T. Injury prevention training in football: let's bring it to the real world. *Br. J. Sports Med*, 2019, 53(21), 1328-1329.
213. Nedelec M., McCall A., Carling C., Legall F., Berthoin S., Dupont G. Recovery in soccer: Part I—Post-match fatigue and time course of recovery. *Sports Med*, 2012, 42, 997–1015.
214. Norheim K., Jonsson G., Omdal R. Biological mechanisms of chronic fatigue. *Rheumatology (Oxford)*. 2011, 50(6), 1009–1018.
215. Nybo L., Secher N. Cerebral perturbations provoked by prolonged exercise. *Prog Neurobiol.* 2004, 72(4), 223–261.
216. Oliva-Lozano J., Riboli A., Fortes V., Muyor J. Monitoring physical match performance relative to peak locomotor demands: implications for training professional soccer players. *Biology of Sport*, 2022, 40(2), 253–260.
217. Oliveira R., Relação entre variabilidade da frequência cardíaca e aumento do desempenho físico em jogadores de futebol. *Rev. Bras. Cineantropometria Desempenho Hum*, 2012, 14(6):48–52.

218. Owen A., Morgans R., Kavanagh R., Djaoui L. Salivary IgA and pre-training wellness status across an international soccer qualifying and finals campaign (Euro 2016) *International Journal of Sports Science & Coaching*, 2018, 13(5), 794–803.
219. Owen A., Wong D., Paul D., Dellal A. Physical and Technical Comparisons between Various Sided Games within Professional Soccer *Int J Sports Med*, 2014, 35, 286–292.
220. Owen A., Wong D., Paul D., Dellal A. Effects of a Periodized Small-Sided Game Training Intervention on Physical Performance in Elite Professional Soccer. *J Strength Cond Res*, 2012, 26(10), 2748–2754.
221. Ozen G., Atar O., Yurdakul H., Pehlivan B., Koc H. The effect of pre-season football training on hematological parameters of well-trained young male football players. *Pedagogy of Physical Culture and Sports*, 2020, 24(6), 303-309.
222. Ozgunen K., Kurdak S., Maughan R., Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football players. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2010, 20, 140–7.
223. Papanikolaou K., Tsimeas P., Anagnostou A., Varypatis A., Mourikis C., Tzatzakis T., Draganidis D., Batsilas D., Mersinias T., Loules G., Poulios A., Deli C., Batrakoulis A., Chatzinikolaou A., Mohr M., Jamurtas A., Fatouros I. Recovery Kinetics Following Small-Sided Games in Competitive Soccer Players: Does Player Density Size Matter? *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 2021, 16(9), 1270-1280.
224. Philp A. Lactate - a signal coordinating cell and systemic function. *J. Exp. Biol*, 2005, 208, 4561–4575.
225. Podgórski T., Kryściak J., Pluta B., Adrian J., Marynowicz J., Krzykała M., Konefał M., Chmura P., Chmura J., Andrzejewski M. A Practical Approach to Monitoring Biomarkers of Inflammation and Muscle Damage in Youth Soccer Players During a 6-Month Training Cycle. *J. Hum. Kinet.*, 2021, 80, 185–197.
226. Rabbani A., Buchheit M. Heart rate-based versus speed-based high-intensity interval training in young soccer players. In: Favero T, Drust B, Dawson B, editors. *Proceedings of the 4th World Congress on Science and Football VII*. New York, NY: Routledge, 2015, 119–130.
227. Rabbani A., Clemente F., Kargarfard M., Jahangiri S. Combined Small - Sided Game and High Intensity Interval Training in Soccer Players: The Effect of Exercise Order. *Journal of Human Kinetics*, 2019, 69, 249–257.
228. Rabbani A., Buchheit M. Ground travel induced impairment of wellness is associated with fitness and travel distance in young soccer players. *Kinesiology*, 2016, 48, 200–206.
229. Raczek J. *Motoryczność człowieka, poglądy, kontrowersje i koncepcje. (W:) Motoryczność dzieci i młodzieży – aspekty teoretyczne oraz implikacje metodyczne, (red.) J. Raczek. Cz. I. AWF Katowice, 1986.*

230. Raczek J., Mynarski W. Koordynacyjne zdolności motoryczne dzieci i młodzieży. Struktura wewnętrzna i zmienność osobnicza. Wyd. AWF Katowice, Katowice, 1992.
231. Radziński Ł., Lorenzo-Martinez, M., Konefał, M., Chmura, P., Andrzejewski, M., Jastrzębski, Z. Changes of physical match performance after the COVID-19 lockdown in professional soccer players according to their playing position. *Biology of Sport*, 2022, 39(4), 1087–1094.
232. Radziński Ł., Padrón-Cabo A., Konefał M., Chmura P., Szwarz A., Jastrzębski Z. The Influence of COVID-19 Pandemic Lockdown on the Physical Performance of Professional Soccer Players: An Example of German and Polish Leagues. *Int. J. Environ Res. Public Health*, 2021, 18(16), 8796.
233. Radziński Ł., Rompa P., Barnat W., Dargiewicz R., Jastrzębski Z. A Comparison of the Physiological and Technical Effects of High-Intensity Running and Small-Sided Games in Young Soccer Players. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 2013, 8(3), 455–466.
234. Rago V., Brito J., Figueiredo P., Krustup P., Rebelo A. Relationship between external load and perceptual responses to training in professional football: Effects of quantification method. *Sports*, 2019, 7(3), 68.
235. Rampinini E., Coutts A., Castagna C., Variation in top level soccer match performance. *Int J Sports Med*, 2007, 28, 1018–1024.
236. Rampinini E., Impellizzeri F., Castagna C., Abt G., Chamari K., Sassi A., Marcora S. Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *J. Sports Sci.*, 2007, 25(6), 659–666.
237. Rampinini E., Bosio A., Ferraresi I., Petruolo A., Morelli A., Sassi A. Match-Related Fatigue in Soccer Players. *Medicine and science in sports and exercise*, 2011, 43, 2161–2170.
238. Rampinini E., Bishop D., Marcora S., Bravo D., Sassi R., Impellizzeri F. Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *Int. J. Sports Med.*, 2007, 28(3), 228–235.
239. Rannou F., Nybo L., Andersen J., Nordsborg N. Monitoring Muscle Fatigue Progression during Dynamic Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2019, 51(7), 1498–1505.
240. Reilly T, Drust B, Clarke N. Muscle fatigue during football match-play. *Sports Med.*, 2008, 38, 357–367.
241. Reilly T., *The Science of Training – Soccer A scientific approach to developing strength, speed and endurance* Routledge, 2007.
242. Reuter B., *Developing Endurance Human Kinetics National Strength and Conditioning Association*, 2012.
243. Ruiz M., Raglin J., Hanin Y. The individual zones of optimal functioning (IZOF) model (1978–2014): Historical overview of its development and use. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2015, 15(1).
244. Sanchez-Sanchez J., Ramirez-Campillo R., Petisco C., Gonzalo-Skok O., Rodriguez-Fernandez A., Miñano J., Nakamura FY. Effects of repeated sprints with changes of direction on youth soccer



- player's performance: Impact of initial fitness level. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2019, 33(10), 2753–2759.
245. Sarmiento H., Clemente F., Harper L., Teoldo da Costa I., Owen A., Figueiredo A. Small sided games in soccer – a systematic review. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2018, 2474–8668.
246. Seiler S., Haugen O., Kuffel E. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2007, 39(8), 1366-1373.
247. Selmi O., Gonçalves B., Ouergui I., Sampaio J., Bouassida A. Influence of well-being variables and recovery state in physical enjoyment of professional soccer players during small-sided games. *Res Sports Med.*, 2018, 26, 199–210.
248. Selmi O., Haddad M., Majed L., Ben Khalifa W., Hamza M., Chamari K. Soccer training: High-intensity interval training is mood disturbing while small sided games ensure mood balance. *J Sport Med. Phys. Fitness*, 2018, 58, 1163–1170.
249. Selmi O., Ouergui I., Levitt D., Nikolaidis P., Knechtle B., Bouassida A. Small-Sided Games are More Enjoyable Than High-Intensity Interval Training of Similar Exercise Intensity in Soccer. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 2020, 11. 77-84.
250. Shirreffs S., Sawka M., Stone M. Water and electrolyte needs for football training and match-play. *J Sports Sci.*, 2006, 24, 699–707.
251. Siegler J, Gaskill S, Ruby B. Changes evaluated in soccer-specific power endurance either with or without a 10-week, in-season, intermittent, high intensity training protocol. *J Strength Cond Res.*, 2003, 17(2), 379–387.
252. Silverman M., Heim C., Nater U., Marques A., Sternberg E. Neuroendocrine and immune contributors to fatigue. *PM R*, 2010, 2(5), 338–346.
253. Smirmaul B., Bertucci D., Teixeira I. Is the VO<sub>2</sub> max that we measure really maximal? *Frontiers in Physiology*, 2013, 4, 203.
254. Soares-Caldeira L., de Souza E. A., de Freitas V., de Moraes S., Leicht, A., Nakamura F., Effects of additional repeated sprint training during preseason on performance, heart rate variability, and stress symptoms in futsal players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2014, 28(10), 2815–2826.
255. Sozański H. *Podstawy teorii treningu sportowego* COS Warszawa, 1999.
256. Sozański H., Czerwiński J., Sadowski J. *Podstawy teorii i technologii treningu sportowego*. Tom I i II. Warszawa, Biała Podlaska: AWF, 2015.
257. Spencer M., Bishop D., Dawson B., Goodman C. Physiological and Metabolic Responses of Repeated-Sprint Activities Specific to Field-Based Team Sports. *Sports Med.*, 2005, 35 (12), 1025-1044.
258. Sperlich B., De Marées M., Koehler K., Linville J, Holmberg H., Mester J. Effects of 5 weeks of high-intensity interval training vs. volume training in 14-year-old soccer players. *J. Strength Cond Res.*, 2011, 25(5), 1271–1278.

259. Sporis G., Ruzic L., Leko G. Effects of a new experimental training program on VO<sub>2</sub> max and running performance. *J. Sport Med Phys Fitness*, 2008, 48(2), 158–165.
260. Stanley J., Peake J., Buchheit M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescription. *Sports Med.*, 2013, 43(12), 1259–77.
261. Starosta W. Globalna i lokalna koordynacja ruchowa. Międzynarodowe Stowarzyszenie Motoryki Sportowej, Warszawa, 2006.
262. Starosta W. Motoryczne zdolności koordynacyjne. Międzynarodowe Stowarzyszenie Motoryki Sportowej, Warszawa, 2003.
263. Stoica M. The Influence of Modern Means on the Coordination Component in Junior 1 Soccer Players. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2014, 117, 442–446.
264. Szmit S., Balsam P., Achramowicz A., Opolski G. Jak najlepiej wyznaczyć wentylacyjny próg beztlenowy? *Kardiologia po Dyplomie*, 2009, 8(5).
265. Szopa J., Mleczko E., Żak S. Podstawy antropomotoryki PWN Warszawa, 2000 wyd. 2.
266. Taylor J., Macpherson T., McLaren S. J., Spears I. R., Weston M. Two-weeks of repeated-sprint training in soccer: To turn or not to turn? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2016, 11(8), 998–1004.
267. Tessitore A., Meeusen R., Piacentini MF., Demarie S., Capranica L. Physiological and technical aspects of “6-aside” soccer drills. *J Sports Med Phys Fitness*, 2006, 46(1), 36–43.
268. Tessitore A., Perroni F., Cortis C., Meeusen R., Lupo C., Capranica L. Coordination of Soccer Players During Preseason Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2011, 25 (11), 3059–3069.
269. Thivel D., Masurier J., Baquet G., Timmons BW., Pereira B., Berthoin S. High-intensity interval training in overweight and obese children and adolescents: systematic review and meta-analysis. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 2018, 59(2), 310–324.
270. Thorpe R., Strudwick A., Buchheit M., Atkinson G., Drust B., Gregson W. Tracking Morning Fatigue Status Across In-Season Training Weeks in Elite Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2016, 11(7), 947–952.
271. Tønnessen, E., Shalfawi, S. A., Haugen, T., & Enoksen, E. The effect of 40-m repeated sprint training on maximum sprinting speed, repeated sprint speed endurance, vertical jump, and aerobic capacity in young elite male soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2011, 25(9), 2364–2370.
272. Unnithan V., White J., Georgiou A., Iga J., Drust B. Talent identification in youth soccer. *J Sports Sci*, 2012, 30(15), 1719–1726.
273. Vigne G., Dellal A., Gaudino C., Chamari K., Rogowski I., Alloatti G. i wsp. Physical outcome in a successful Italian Serie A soccer team over three consecutive seasons. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2013, 27(5), 1400–1406.

274. Vuorimaa T., Vasankari T., Rusko H. Comparison of physiological strain and muscular performance of athletes during two intermittent running exercises at the velocity associated with  $VO_2$  max. *Int J Sports Med.*, 2000, 21, 96–101.
275. Wahl P., Zinner C., Achtzehn S., Bloch W., Mester J. Effect of high- and low-intensity exercise and metabolic acidosis on levels of GH, IGF-I, IGFBP-3 and cortisol. *Growth Horm IGF Res.* 2010, 20(5), 380–385.
276. Wallace J., Norton K. Evolution of World Cup soccer final games 1966–2010: Game structure, Speed and play patterns *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2014, 17, 223–228.
277. Wallace L., Slattery K., Coutts A. A comparison of methods for quantifying training load: relationships between modelled and actual training responses. *Eur J Appl Physiol* 2013, 114(1), 11–20.
278. Wan J., Qin Z., Wang, P., Sun Y., Liu, X. Muscle fatigue: general understanding and treatment. *Experimental & molecular medicine*, 2017, 49(10), e384.
279. Wen D., Utesch T., Wu J., Robertson S., Liu J., Hu G., Chen H., Effects of different protocols of high intensity interval training for  $VO_2$  max improvements in adults: A meta-analysis of randomised controlled trials. *Sports Medicine Australia*, 2019, 22(8), 1440-2440.
280. Weston M. Difficulties in determining the dose-response nature of competitive soccer matches. *J Athl Enhanc.* 2013, 2.
281. Wiewelhove T., Schneider C., Schmidt A., Döweling A., Meyer T., Kellmann M., Pfeiffer M., Ferrauti A. Active Recovery After High-Intensity Interval-Training Does Not Attenuate Training Adaptation. *Frontiers in Physiology*, 2018, 9, 415.
282. Żak P. Piłka nożna. Zasady, porady, trening. Wydawnictwo Dragon, 2018.
283. Zatoń M. Wokół dyskusji o obciążeniach treningowych. *Sport Wyczynowy*, 1998, 1(2), 12–24.
284. Zatoń M., Michalik K. Effects of interval training-based glycolytic capacity on physical fitness in recreational long-distance runners. *Human Movement*, 2015, 16(2), 71–77.

### Źródła internetowe

1. [www.przygotowaniemotoryczne.com](http://www.przygotowaniemotoryczne.com)
2. [www.catapultsports.com](http://www.catapultsports.com)
3. [www.accuweather.com](http://www.accuweather.com)