



AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO  
IM. POLSKICH OLIMPIJCZYKÓW WE WROCLAWIU

Mateusz Jopek

**ASYMETRIA FUNKCJONALNA W  
KSZTAŁTOWANIU SZYBKOŚCI MAKSYMALNEJ  
W POWTARZANYCH BIEGACH SPRINTERSKICH**

Autoreferat rozprawy doktorskiej wykonany w Zakładzie Lekkoatletyki

Promotor

prof. dr hab. Krzysztof Maćkała

Recenzenci

Prof. dr hab Janusz Iskra

Prof. dr hab. Hubert Makaruk

dr hab. Krzysztof Przednowek, prof. UR

Wrocław 2024

## Spis treści

<b>I WSTĘP</b> .....	2
<b>I 1. Wprowadzenie</b> .....	2
<b>II CEL PRACY I PYTANIA BADAWCZE</b> .....	4
<b>II 1. Cel pracy</b> .....	4
<b>II 2. Pytania badawcze</b> .....	4
<b>III MATERIAŁ I METODY BADAWCZE</b> .....	5
<b>III 1. Materiał badawczy</b> .....	5
<b>III 2. Przebieg badań</b> .....	6
<b>III 2.1. Pomiary budowy somatycznej</b> .....	7
<b>III 2.2. Pomiar parametrów kinematycznych biegu na 50 m</b> .....	7
<b>III 3. Analiza statystyczna</b> .....	9
<b>IV ANALIZA WYNIKÓW</b> .....	10
<b>IV 1. Charakterystyka badanych grup</b> .....	10
<b>IV 1.1. Parametry kinematyczne</b> .....	11
<b>IV 2. Analiza asymetrii</b> .....	17
<b>IV 2.1. Charakterystyka asymetrii między zawodnikami i między biegami</b> .....	17
<b>IV 2.2. Regresja krokowa wsteczna</b> .....	29
<b>IV 2.3. Profile asymetrii</b> .....	31
<b>V 3. Ograniczenia</b> .....	35
<b>VI WNIOSKI – PRAKTYCZNA APLIKACJA</b> .....	36
<b>VII LITERATURA</b> .....	38

## I WSTĘP

### I 1. Wprowadzenie

Skuteczność w biegach sprinterskich zależy od wielu czynników, w tym strategii startowej, długości kroku, częstotliwości kroku, wymagań fizjologicznych, biomechaniki, wpływów nerwowych, składu mięśni, antropometrii oraz warunków na bieżni i warunków środowiskowych (Coh i wsp. 2010). Start w biegu krótkim oraz faza przyspieszenia zależy w dużej mierze od generowanej siły podstawowych grup mięśniowych. Dodatkowymi czynnikami wpływającymi na skuteczność startu z bloku są: czas reakcji (czas do rozpoczęcia reakcji na dźwięk pistoletu startowego), czas ruchu (początek reakcji do końca ruchu) i czas odpowiedzi. Maksymalna prędkość biegu jest wynikiem długości kroku i częstotliwości kroku. Długość kroku może być znacznie ograniczona przez warunki somatyczne danej osoby poziom mocy kończyn dolnych, stopień i elastyczność i ruchomości stawów oraz technikę biegu. Na częstotliwość kroku może wpływać stopień funkcjonalności układu nerwowo-mięśniowego oraz uwarunkowania treningowe. Ze względu na dwunożny charakter lokomocji w biegach sprinterskich, należy zwrócić uwagę na obustronną asymetrię podczas kroku biegowego, która ma również wpływ na efektywność generowania maksymalnej prędkości. W związku z tym uwarunkowania fizjologiczne, budowa ciała, właściwy trening są najbardziej wpływowymi determinantami poprawy wyników w biegach sprinterskich (Mero i wsp. 1992, Majumdar i wsp. 2011, Jouste i wsp. 2016, Haugen i wsp. 2019a, Haugen i wsp. 2019b, Bissas i wsp. 2022).

Naukowcy i trenerzy zajmujący się biegami krótkimi od zawsze dążą do zrozumienia biomechanicznych czynników (kinematyka i kinetyka) bezpośrednio oddziałujących na wielkość rozwijanej prędkości. Szczególnie dotyczy to szczegółowej analizy pojedynczego kroku biegowego, wykonanego z maksymalną intensywnością. Zatem analiza kinematyczna najszybszych sprinterów na świecie stanowi wyjątkową okazję do zbadania motorycznych granic ludzkich możliwości (Taylor i wsp. 2012). Taka analiza byłaby uważana za niekompletną, gdyby ignorowała dwunożną naturę ludzkiej formy lokomocji. Według wielu autorów (Burkett 1970, Faul i wsp. 2007, Zifchock i wsp. 2008 Aliosmanoğlu i wsp. 2014) jest ona zwykle związana z asymetrią funkcjonalną, często określaną jako mechaniczną. Definiuje się ją jako różnicę wartości parametrów kinetycznych/kinematycznych między

prawą i lewą kończyną dolną uzyskaną w aktywności ruchowej np. bieg/sprint. Jest ona częstym tematem badań w biegach krótkich, jakkolwiek dotyczy to sprinterów na poziomie sub-elity (Exell i wsp. 2017, Haugen i wsp. 2018). Asymetria funkcjonalna może wynikać z wielu aspektów uwarunkowanych antropometrycznie, neurologicznie czy motorycznie, np. poziom siły mięśni (Rocheford i wsp. 2006). Dlatego założenie, że wiele mechanizmów przyczynia się do asymetrii funkcjonalnej wydaje się zasadnym (Selim 2023).

## **II CEL PRACY I PYTANIA BADAWCZE**

### **II 1. Cel pracy**

Celem pracy jest określenie, na podstawie uzyskanych parametrów kinematycznych w biegu na dystansie 50 m, występowania symetrii lub asymetrii funkcjonalnej (kinematycznej). Przyczyni się to do zbadania jej wpływu na poszczególne fazy biegu, czyli faza początkowego przyspieszenia i faza z maksymalną prędkością oraz na wynik końcowy u zawodników na różnym poziomie sportowym.

### **II 2. Pytania badawcze**

Interpretacja parametrów kinematycznych w oparciu o symetrię i asymetrię kończyn dolnych wymaga odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

1. Jak symetria lub asymetria funkcjonalna (kinematyczna) kończyn dolnych występuje w biegu oraz jak wpływa na wyniki w sprincie?
2. Jak fazy biegu sprinterskiego na 50 m różnicują poszczególne parametry kinematyczne pod względem symetrii i asymetrii?
3. Jak poziom sportowy poza wynikiem wpływa na symetrie lub asymetrie parametrów kinematycznych kroku sprinterskiego?
4. Jak wraz ze wzrostem prędkości maksymalnej biegu zmienia się wartość symetrii lub asymetrii funkcjonalnej parametrów kinematycznych w biegach sprinterskich?

### **Hipoteza:**

Należy przypuszczać, że spośród wielu parametrów kinematycznych kroku biegowego, faza lotu i faza podporowa wykaże wyższe wartości asymetrii (różnice) między lewą a prawą kończyną dolną. Wielkość asymetrii wpłynie na wynik końcowy biegu sprinterskiego, bez względu na poziom sportowy zawodników.

### III MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

#### III 1. Materiał badawczy

Badania przeprowadzono z udziałem wyselekcjonowanej 18-osobowej grupy najlepszych polskich lekkoatletów w wieku seniorskim i juniorskim, specjalizujących się w biegach sprinterskich, mających rekordy życiowe na dystansie 100 m na poziomie elity (seniorzy  $\leq 10,40$ ) i sub-elity (juniorzy  $\leq 11,10$ s). Badani zawodnicy to zawodnicy kadry Polski i medaliści imprez międzynarodowych oraz wielokrotni medaliści Mistrzostw Polski w biegach sprinterskich.

*Tabela 1. Przydział do grup, dane antropometryczne badanych oraz ich rekordy życiowe na dystansie 60 m oraz 100 m*

<b>Grupa</b>	<b>Badany</b>	<b>Wiek (lata)</b>	<b>Wysokość (m)</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>PB 60 m (s)</b>	<b>PB 100 m (s)</b>
Elita	AK	23	1,97	90	6,74	10,34
Elita	DK	28	1,79	81	6,53	10,05
Elita	PK	21	1,79	71	6,69	10,35
Elita	AŁ	22	1,81	73	6,64	10,40
Elita	PS	30	1,88	86	6,61	10,19
Elita	OW	21	1,77	70	6,60	10,33
Elita	PW	23	1,84	81,5	6,76	10,34
Elita	ŁŻ	22	1,74	70	6,70	10,25
Elita	MZ	18	1,75	68	6,75	10,39
Sub-elita	TB	17	1,82	66	6,86	10,62
Sub-elita	MG	18	1,80	72	6,86	10,55
Sub-elita	DG	19	1,85	78	6,79	10,47
Sub-elita	RL	17	1,84	75	7,10	10,83
Sub-elita	CŁ	19	1,81	70	7,11	10,74
Sub-elita	HR	19	1,70	58	7,25	11,01
Sub-elita	MS	19	1,72	61	7,18	10,92
Sub-elita	MSZ	19	1,75	60	7,42	11,09
Sub-elita	DT	19	1,76	68	6,89	10,55

Protokół badań został zatwierdzony przez Komisję Bioetyczną ds. Badań Naukowych (3/2021) przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach i wykonany zgodnie ze standardami etycznymi Deklaracji Helsińskiej 2013. Dane wykorzystane w rozprawie są częścią projektu grantu naukowego "Optymalizacja wykonania po-aktywacyjnego wzrostu sprawności fizycznej (PAPE) w sprincie lekkoatletycznym oraz analiza kinematyczna biegu sprinterskiego w kolcach lekkoatletycznych wyposażonych w płytę karbonową (RPW/9110/2023), który otrzymał finansowanie z Ministerstwa Sportu i Turystyki.

### **III 2. Przebieg badań**

Eksperyment został przeprowadzony w styczniu 2023 roku podczas zgrupowania kadry narodowej biegów sprinterskich w okresie przedstartowym, co pozwoliło na odzwierciedlenie optymalnych dyspozycji badanych w kontekście gotowości startowej do biegu na 60 m w hali. Umożliwiając zachowanie takich samych warunków środowiskowych (temperatura, wilgotność powietrza, siła wiatru) dla wszystkich badanych zawodników, pomiary zostały przeprowadzone w hali lekkoatletycznej Centralnego Ośrodka Przygotowań Olimpijskich w Spale, pod okiem trenerów kadry narodowej. Badania trwały dwa dni. W pierwszym dniu eksperymentu przeprowadzono badania na grupie juniorskiej (sub-elita), a w drugim dniu na grupie seniorskiej (elita). Podział został dokonany z uwzględnieniem wieku oraz rekordów życiowych w biegu na 100 m według ustaleń  $\leq 10,40$  elita,  $\leq 11,10$ s sub-elita. Jeden z juniorów został przypisany do grupy seniorskiej ze względu na swój rekord życiowy na poziomie elity i potencjał wskazujący na najbardziej perspektywicznego zawodnika z grupy badanych sprinterów.

Każdy z badanych zawodników przed przystąpieniem do eksperymentu został poddany podstawowym pomiarom antropometrycznym, takim jak wysokość ciała oraz masa ciała. Sprinterzy przed przystąpieniem do biegów wykonali indywidualną rozgrzewkę, tak aby każdy z nich był gotowy do biegu z maksymalną intensywnością. Zawodnicy mieli do wykonania cztery indywidualne biegi sprinterskie z maksymalną intensywnością na dystansie 50 metrów. Start odbywał się z pozycji wysokiej z zakroku. Po każdym zakończonym biegu zawodnicy mieli 5 minut przerwy przed rozpoczęciem kolejnego biegu.

Dla każdego badanego zostały wybrane dwa biegi, które zostały poddane analizie – najwolniejszy oraz najszybszy spośród czterech. Do pozyskania niezbędnych parametrów kinematycznych biegu wykorzystano rozłożone na 50 m urządzenie pomiarowe OptoJumpNEXT firmy Microgate. Pomiar czasu przebiegniętego dystansu został zmierzony przy wykorzystaniu fotokomórki WittyGate firmy Microgate, które dokonały pomiaru czasu na odcinkach 0-20 m oraz 0-50 m.

### **III 2.1. Pomiary budowy somatycznej**

Pomiary antropometryczne zostały przeprowadzone zgodnie z powszechnie przyjętymi standardami, czyli bez wierzchniej odzieży i obuwia. Wysokość ciała została zmierzona od szczytu głowy (vertex) ustawionej w płaszczyźnie oczno-usznej do podstawy (basis), na której stał zawodnik. Pomiar został odczytany z dokładnością do jednego centymetra. Masę ciała zmierzono na wadze lekarskiej z dokładnością do pół kilograma. Na podstawie uzyskanych danych dotyczących masy i wysokości ciała dla każdego sprintera wyliczono wskaźnik masy ciała – body mass index (BMI).

### **III 2.2. Pomiar parametrów kinematycznych biegu na 50 m**

Do pomiaru podstawowych parametrów kinematycznych sprintu na 50 m takich jak: ilość kroków, długość kroków, częstotliwości kroków, czas trwania fazy podporowej, czas trwania fazy lotu, czas wykonania pojedynczego kroku oraz szybkość na danym kroku zostało wykorzystane urządzenie OptoJumpNEXT firmy Microgate.

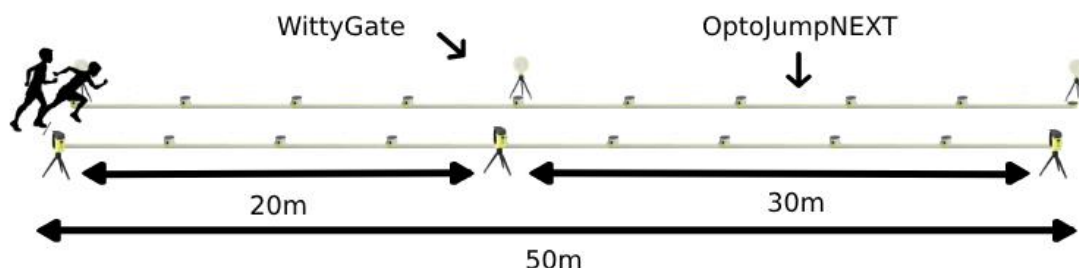
Jest to urządzenie wykorzystywane do pomiaru różnych parametrów kinematycznych związanych z ruchem, głównie w kontekście treningu sportowego i analizy biomechanicznej. OptoJumpNEXT składa się z dwóch listew (rozmiary: 100cm x 3cm x 4cm), z których jedna odpowiada za przyjmowanie i kontrolę danych, druga za ich elektroniczną transmisję z dokładnością do 1/1000 sekundy. Diody na poprzeczce nadawczej komunikują się w sposób ciągły z tymi na poprzeczce odbiorczej. System wykrywa wszelkie przerwy w komunikacji i oblicza czas ich trwania. Kilka do kilkudziesięciu elementów może być połączonych razem, w celu wydłużenia ścieżki do uzyskania pomiarów. Poprzez



zebranie podstawowych danych dedykowane oprogramowanie umożliwia uzyskanie szeregu parametrów związanych z wydajnością sportowca przy zachowaniu maksymalnej dokładności w czasie rzeczywistym. OptoJumpNEXT jest często stosowany do oceny skoku, szybkości, mocy kończyn dolnych oraz innych parametrów kinematycznych. Dzięki temu urządzeniu można dokładnie monitorować postępy w treningu sportowym oraz identyfikować obszary do poprawy w technice ruchu.

Do pomiaru czasu wykorzystano odrębne urządzenie pomiarowe, system fotokomórek WittyGate, który jest kompatybilny z systemem OptoJumpNEXT. WittyGate od Microgate jest zaawansowanym systemem do pomiaru czasu i śledzenia ruchu w różnych dyscyplinach sportowych. Może być używany między innymi do pomiaru czasu w biegach, zawodach lekkoatletycznych czy innych wydarzeniach sportowych, gdzie precyzja i dokładność pomiaru czasu są kluczowe. WittyGate oferuje zaawansowane funkcje, takie jak bezprzewodowa komunikacja między urządzeniami, synchronizacja wielu punktów pomiarowych, czy możliwość integracji z systemami czasomierzy, co czyni go popularnym wyborem wśród profesjonalistów w dziedzinie pomiaru czasu w sporcie.

Cały system pomiarowy został rozłożony na bieżni lekkoatletycznej na dystansie 50 metrów w szerokości jednego toru lekkoatletycznego. Pełny dystans biegowy został podzielony, aby móc wyszczególnić fazy występujące w biegach krótkich. Pierwszy pomiar czasu oraz parametrów kinematycznych został ustawiony na odcinku od startu do 20 metra, co pozwoliło wyznaczyć tzw. fazę przyspieszenia startowego. Kolejna faza tzw. maksymalnej prędkości o długości 30 m, została wyznaczona między 20 a 50 m biegu. W pomiarach kinematycznych w poszczególnych fazach do analizy statystycznej brane były pod uwagę wyłącznie pełne kroki biegowe, bez kroków granicznych pomiędzy fazami.



Rycina 1. Schemat rozstawienia urządzeń pomiarowych w trakcie biegu na 50 metrów

### III 3. Analiza statystyczna

W niniejszej pracy doktorskiej do przeprowadzenia analizy zebranego materiału zastosowano kilka metod statystycznych. Pozwoliły one na dokładne poznanie przebiegu wybranych zmiennych kinematycznych, niezbędnych do wyciągnięcia wniosków. Po przetestowaniu normalności rozkładu za pomocą testu Shapiro-Wilka brakowało podstaw do odrzucenia hipotezy o rozkładzie normalnym. W celu dokonania charakterystyki statystycznej obliczono średnią arytmetyczną, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności oraz przedziały ufności. Wśród zastosowanych metod znalazły się: test t-Studenta dla prób niezależnych, jednowymiarowa analiza wariancji (ANOVA), testy post-hoc Bonferroniego, regresja krokowa wsteczna oraz analiza profilowa PAM.

W celu uzyskania wyników symetrii badanych parametrów kinematycznych został zastosowany następujący wzór na indeks symetrii:  $IS = \frac{(L-P)}{0,5*(L+P)} 100\%$  gdzie: IS - indeks symetrii, L - wartość uzyskana dla kończyny lewej, P - wartość uzyskana dla kończyny prawej. Wszystkie zmienne obliczono jako procent asymetrii, stosując różnicę bezwzględną podzieloną przez średnią kończyn. Przed obliczeniem asymetrii dane uśredniono dla wszystkich pełnych kroków każdej kończyny na całkowitym dystansie 50 metrów jak i podczas dwóch faz biegu sprinterskiego odpowiednio - 20 metrów (faza przyspieszenia startowego) i 30 metrów (faza prędkości maksymalnej) (Vagenas i Hosizaki, 1992).

## IV ANALIZA WYNIKÓW

### IV 1. Charakterystyka badanych grup

Wyniki zawarte w tabeli (Tabela 2.) wskazują, że istnieją istotne różnice między grupami elita i sub-elita w zakresie wieku, masy ciała, BMI oraz wyników sportowych (rekordy życiowe na 60 m i 100 m). Brak istotnych różnic zaobserwowano w przypadku wysokości ciała. Grupa elita jest starsza, ma większą masę ciała i wyższy wskaźnik BMI, a także osiąga lepsze wyniki sportowe na 60 m i 100 m w porównaniu do grupy sub-elity.

*Tabela 2. Charakterystyka parametrów somatycznych i rekordów życiowych sprinterów z podziałem na: elitę i sub-elitę,  $p < 0.05$*

Zmienne		n	$\bar{x}$	s	v	95% Przedział ufności		t	p
						Dolna granica	Górna granica		
Wiek [lata]	Elita	9	23,11	3,7	16	20,28	25,95	<b>3,69</b>	<b>0,0020</b>
	Sub-elita	9	18,44	0,9	4,78	17,77	19,12		
Wysokość ciała [m]	Elita	9	1,82	0,1	3,99	1,76	1,87	1,08	0,2981
	Sub-elita	9	1,78	0,1	2,98	1,74	1,82		
Masa ciała [kg]	Elita	9	76,72	8,0	10,5	70,55	82,9	<b>2,59</b>	<b>0,0197</b>
	Sub-elita	9	67,56	6,9	10,3	62,23	72,88		
BMI [body mass index]	Elita	9	23,22	1,1	4,82	22,36	24,08	<b>3,77</b>	<b>0,0017</b>
	Sub-elita	9	21,19	1,2	5,51	20,29	22,09		
Rekord życiowy 60 m [s]	Elita	9	6,67	0,1	1,18	6,61	6,73	<b>-5,03</b>	<b>0,0001</b>
	Sub-elita	9	7,05	0,2	3,03	6,89	7,22		
Rekord życiowy 100 m [s]	Elita	9	10,29	0,1	1,09	10,21	10,38	<b>-5,55</b>	<b>0,0000</b>
	Sub-elita	9	10,75	0,2	2,06	10,58	10,92		

#### IV 1.1. Parametry kinematyczne

Zawodnicy z grupy elita uzyskują znacząco lepsze rezultaty w większości analizowanych parametrów kinematycznych w porównaniu z grupą sub-elita na dystansie 50 metrów (Tabela 3). Najbardziej istotne różnice dotyczą czasu biegu, częstotliwości kroków, czasu kontaktu z podłożem, czasu pojedynczego kroku oraz prędkości kroku. W obydwu biegach, tj. wolnym i szybkim, korzystniejsze wyniki uzyskiwała grupa zawodników elity. Różnica w czasach osiągniętych w biegu na 50 metrów wynosząca 0,2 s w wolnym biegu oraz 0,193 s w szybkim biegu na korzyść grupy elita jest istotna statystycznie, co wskazuje na szybsze pokonanie dystansu przez tę grupę nawet w biegu wolnym. Częstotliwość kroków również wykazuje istotną statystycznie różnicę i ma zdecydowanie wyższą wartość u zawodników elity, w obydwu biegach odpowiednio 0,309 krok/s w wolnym i 0,3 krok/s w szybkim. Czasy kontaktu stopy z podłożem w trakcie biegu również są krótsze o 0,011 s i korzystniejsze u zawodników elity, aniżeli u zawodników sub-elity w obydwu biegach. Wynikiem tego, jest również czas pojedynczego kroku (czas lotu + czas kontaktu), który jest krótszy o 0,015 s u zawodników elity w obydwu biegach. W kontekście prędkości wykonania pojedynczego kroku, istotna statystycznie różnica zauważalna jest na korzyść grupy elity i wyniosła w biegu wolnym 0,376 m/s a w biegu szybkim 0,334 m/s. Pozostałe zmienne nie wykazały istotności statystycznej.

Tabela 3. Charakterystyka parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 50 m z podziałem na: elitę i sub-elitę,  $p < 0.05$

Zmienne		n	$\bar{x}$	s	v	95% Przedział ufności		t	p
						Dolna granica	Górna granica		
Czas biegu 50 m wolny [s]	Elita	9	5,427	0,10	1,84	5,35	5,50	<b>-3,71</b>	<b>0,0019</b>
	Sub-elita	9	5,627	0,13	2,31	5,53	5,73		
Czas biegu 50 m szybki [s]	Elita	9	5,351	0,11	2,06	5,27	5,44	<b>-3,49</b>	<b>0,0030</b>
	Sub-elita	9	5,544	0,12	2,16	5,45	5,64		
Liczba kroków wolny	Elita	9	25,556	0,88	3,44	24,88	26,23	1,05	0,3100
	Sub-elita	9	24,889	1,69	6,79	23,59	26,19		
Liczba kroków szybki	Elita	9	25,556	1,01	3,95	24,78	26,33	1,48	0,1572
	Sub-elita	9	24,778	1,20	4,84	23,85	25,70		
Długość kroków wolny [cm]	Elita	9	191,658	6,17	3,22	186,91	196,40	-1,30	0,2107
	Sub-elita	9	197,344	11,54	5,85	188,48	206,21		
Długość kroków szybki [cm]	Elita	9	192,243	7,16	3,72	186,74	197,75	-1,39	0,1831
	Sub-elita	9	198,144	10,51	5,30	190,06	206,23		
Częstotliwość kroku wolny [krok/s]	Elita	9	4,781	0,13	2,72	4,68	4,88	<b>2,93</b>	<b>0,0097</b>
	Sub-elita	9	4,472	0,29	6,48	4,25	4,69		
Częstotliwość kroku szybki [krok/s]	Elita	9	4,784	0,14	2,93	4,68	4,89	<b>3,03</b>	<b>0,0080</b>
	Sub-elita	9	4,484	0,26	5,80	4,28	4,69		
Czas kontaktu wolny [s]	Elita	9	0,105	0,01	9,52	0,10	0,11	<b>-2,57</b>	<b>0,0204</b>
	Sub-elita	9	0,116	0,01	8,62	0,11	0,12		
Czas kontaktu szybki [s]	Elita	9	0,104	0,01	9,62	0,10	0,11	<b>-2,72</b>	<b>0,0151</b>
	Sub-elita	9	0,115	0,01	8,70	0,11	0,12		
Faza lotu wolny [s]	Elita	9	0,105	0,01	9,52	0,10	0,11	-1,46	0,1642
	Sub-elita	9	0,109	0,01	9,17	0,10	0,12		
Faza lotu szybki [s]	Elita	9	0,105	0,01	9,52	0,10	0,11	-1,05	0,3079
	Sub-elita	9	0,109	0,01	9,17	0,10	0,11		
Czas pojedynczego kroku wolny [s]	Elita	9	0,210	0,01	4,76	0,21	0,21	<b>-2,90</b>	<b>0,0105</b>
	Sub-elita	9	0,225	0,01	4,44	0,21	0,24		
Czas pojedynczego kroku szybki [s]	Elita	9	0,209	0,01	4,78	0,20	0,21	<b>-3,07</b>	<b>0,0073</b>
	Sub-elita	9	0,224	0,01	4,46	0,21	0,23		
Prędkość kroku wolny [m/s]	Elita	9	9,183	0,14	1,84	9,08	9,29	<b>4,66</b>	<b>0,0003</b>
	Sub-elita	9	8,807	0,20	2,31	8,65	8,96		
Prędkość kroku szybki [m/s]	Elita	9	9,208	0,11	2,06	9,13	9,29	<b>4,75</b>	<b>0,0002</b>
	Sub-elita	9	8,874	0,18	2,16	8,73	9,01		

Biorąc pod uwagę podział 50 metrowego dystansu na mniejsze odcinki, w biegu na 20 m (faza przyspieszenia startowego) (Tabela 4.) zawodnicy z grupy elita uzyskują znacząco lepsze rezultaty w porównaniu z grupą sub-elita. Najbardziej istotne różnice dotyczą częstotliwości kroków, czasu pojedynczego kroku oraz prędkości kroku. W obydwu biegach, tj. wolnym i szybkim, korzystniejsze wyniki uzyskiwała grupa zawodników elity. Odnośnie do istotnej statystycznie różnicy w częstotliwości kroku (wyższa u elity) wynosiła ona 0,276 krok/s w przypadku biegu wolnego oraz 0,291 krok/s w biegu szybkim. W kontekście analizy czasu pojedynczego kroku, który był krótszy u elity, różnica wyniosła 0,013 s w biegu wolnym i wyższą wartość 0,015 s w biegu szybkim. Prędkość kroku była zdecydowanie większa u elity o 0,264 m/s w biegu wolnym oraz o 0,224 m/s w biegu szybkim. Pozostałe zmienne nie wykazały istotności statystycznej.

Tabela 4. Charakterystyka parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 20 m (faza przyspieszenia startowego) z podziałem na: elitę i sub-elitę,  $p < 0.05$

Zmienne		n	$\bar{x}$	s	v	95% Przedział ufności		t	p
						Dolna granica	Górna granica		
Czas biegu 20 m wolny [s]	Elita	9	2,495	0,05	2,00	2,45	2,54	-2,09	0,0525
	Sub-elita	9	2,552	0,06	2,35	2,50	2,60		
Czas biegu 20 m szybki [s]	Elita	9	2,420	0,09	3,72	2,35	2,49	-1,95	0,0689
	Sub-elita	9	2,496	0,07	2,80	2,44	2,55		
Liczba kroków wolny	Elita	9	11,556	0,53	4,59	11,15	11,96	1,18	0,2565
	Sub-elita	9	11,222	0,67	5,97	10,71	11,73		
Liczba kroków szybki	Elita	9	11,444	0,53	4,63	11,04	11,85	1,25	0,2289
	Sub-elita	9	11,111	0,60	5,40	10,65	11,57		
Długość kroków wolny [cm]	Elita	9	165,987	5,33	3,21	161,89	170,08	-1,12	0,2779
	Sub-elita	9	170,796	11,69	6,84	161,81	179,78		
Długość kroków szybki [cm]	Elita	9	165,803	6,81	4,11	160,57	171,04	-1,52	0,1489
	Sub-elita	9	172,255	10,80	6,27	163,96	180,55		
Częstotliwość kroku wolny [krok/s]	Elita	9	4,716	0,13	2,76	4,62	4,81	<b>2,60</b>	<b>0,0195</b>
	Sub-elita	9	4,440	0,29	6,53	4,22	4,67		
Częstotliwość kroku szybki [krok/s]	Elita	9	4,731	0,14	2,96	4,62	4,84	<b>2,76</b>	<b>0,0139</b>
	Sub-elita	9	4,440	0,28	6,31	4,22	4,66		
Czas kontaktu wolny [s]	Elita	9	0,120	0,01	8,33	0,12	0,12	-1,68	0,1130
	Sub-elita	9	0,128	0,01	7,81	0,12	0,14		
Czas kontaktu szybki [s]	Elita	9	0,119	0,01	8,40	0,11	0,12	-1,92	0,0723
	Sub-elita	9	0,129	0,01	7,75	0,12	0,14		
Faza lotu wolny [s]	Elita	9	0,093	0,01	10,75	0,09	0,10	-1,55	0,1403
	Sub-elita	9	0,098	0,01	10,20	0,09	0,10		
Faza lotu szybki [s]	Elita	9	0,093	0,01	10,75	0,09	0,10	-1,26	0,2267
	Sub-elita	9	0,098	0,01	10,20	0,09	0,10		
Czas pojedynczego kroku wolny [s]	Elita	9	0,213	0,01	4,69	0,21	0,22	<b>-2,37</b>	<b>0,0310</b>
	Sub-elita	9	0,226	0,02	8,85	0,21	0,24		
Czas pojedynczego kroku szybki [s]	Elita	9	0,212	0,01	4,72	0,21	0,22	<b>-2,76</b>	<b>0,0141</b>
	Sub-elita	9	0,227	0,01	4,41	0,22	0,24		
Prędkość kroku wolny [m/s]	Elita	9	7,858	0,14	2,00	7,75	7,97	<b>3,99</b>	<b>0,0011</b>
	Sub-elita	9	7,594	0,14	2,35	7,49	7,70		
Prędkość kroku szybki [m/s]	Elita	9	7,869	0,15	3,72	7,76	7,98	<b>3,09</b>	<b>0,0071</b>
	Sub-elita	9	7,645	0,16	2,80	7,52	7,77		

Z kolei w fazie maksymalnej prędkości, tj. między 20 a 50 m biegu (Tabela 5.), daje się zauważyć, że zawodnicy z grupy elita również uzyskują wyższe wartości poszczególnych parametrów kinematycznych znacząco odbiegające od wartości grupy sub-elita. Najbardziej istotne różnice dotyczą czasu biegu, częstotliwości kroków, czasu kontaktu, czasu pojedynczego kroku oraz prędkości kroku. W obydwu biegach, tj. wolnym i szybkim, korzystniejsze wyniki uzyskiwała grupa zawodników elity. Różnica w czasach osiągniętych w biegu na 30 metrów wynosząca 0,143 s w wolnym biegu oraz 0,116 s w szybkim biegu na korzyść grupy elita jest istotna statystycznie, co wskazuje na szybsze pokonanie dystansu przez tę grupę nawet w biegu wolnym. Częstotliwość kroków była większa u zawodników elity, odpowiednio 0,348 krok/s w wolnym i 0,305 krok/s w szybkim biegu. Czas kontaktu stopy z podłożem podczas kroku był zdecydowanie krótszy w biegu wolnym, jak i szybkim o 0,012 s. Miało to wpływ na czas wykonania pojedynczego kroku, który był również krótszy w przypadku elity o 0,017 s w biegu wolnym i o 0,014 s w biegu szybkim. Prędkość kroku była istotna statystycznie, ponieważ różnice pomiędzy elitą i sub-elitą wyniosły 0,465 m/s w biegu wolnym oraz 0,42 m/s w biegu szybkim na korzyść elity.



Tabela 5. Charakterystyka parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 30 m (faza prędkości maksymalnej) z podziałem na: elitę i sub-elitę,  $p < 0.05$

Zmienne		n	$\bar{x}$	s	v	95% Przedział ufności		t	p
						Dolna granica	Górna granica		
Czas biegu 30 m wolny [s]	Elita	9	2,932	0,06	1,88	2,89	2,97	<b>-4,33</b>	<b>0,0005</b>
	Sub-elita	9	3,075	0,08	2,67	3,01	3,14		
Czas biegu 30 m szybki [s]	Elita	9	2,931	0,03	1,00	2,91	2,95	<b>-4,57</b>	<b>0,0003</b>
	Sub-elita	9	3,047	0,07	2,31	2,99	3,10		
Liczba kroków wolny	Elita	9	13,000	0,50	3,85	12,62	13,38	0,82	0,4262
	Sub-elita	9	12,667	1,12	8,83	11,81	13,53		
Liczba kroków szybki	Elita	9	13,111	0,60	4,58	12,65	13,57	1,44	0,1700
	Sub-elita	9	12,667	0,71	5,58	12,12	13,21		
Długość kroków wolny [cm]	Elita	9	213,754	6,96	3,26	208,40	219,11	-1,36	0,1913
	Sub-elita	9	220,450	12,97	5,88	210,48	230,42		
Długość kroków szybki [cm]	Elita	9	214,706	8,28	3,85	208,34	221,07	-1,17	0,2587
	Sub-elita	9	220,265	11,59	5,26	211,36	229,17		
Częstotliwość kroku wolny [krok/s]	Elita	9	4,838	0,14	2,90	4,73	4,95	<b>3,29</b>	<b>0,0046</b>
	Sub-elita	9	4,490	0,28	6,32	4,27	4,71		
Częstotliwość kroku szybki [krok/s]	Elita	9	4,825	0,16	3,31	4,70	4,95	<b>3,00</b>	<b>0,0086</b>
	Sub-elita	9	4,520	0,26	5,76	4,32	4,72		
Czas kontaktu wolny [s]	Elita	9	0,093	0,01	6,53	0,09	0,10	<b>-3,38</b>	<b>0,0038</b>
	Sub-elita	9	0,105	0,01	8,39	0,10	0,11		
Czas kontaktu szybki [s]	Elita	9	0,092	0,01	5,82	0,09	0,10	<b>-3,71</b>	<b>0,0019</b>
	Sub-elita	9	0,104	0,01	7,63	0,10	0,11		
Faza lotu wolny [s]	Elita	9	0,114	0,01	5,61	0,11	0,12	-1,32	0,2052
	Sub-elita	9	0,119	0,01	7,39	0,11	0,13		
Faza lotu szybki [s]	Elita	9	0,116	0,01	6,64	0,11	0,12	-0,51	0,6149
	Sub-elita	9	0,118	0,01	6,86	0,11	0,12		
Czas pojedynczego kroku wolny [s]	Elita	9	0,207	0,01	3,04	0,20	0,21	<b>-3,30</b>	<b>0,0045</b>
	Sub-elita	9	0,224	0,01	6,18	0,21	0,23		
Czas pojedynczego kroku szybki [s]	Elita	9	0,208	0,01	3,76	0,20	0,21	<b>-2,80</b>	<b>0,0128</b>
	Sub-elita	9	0,222	0,01	5,60	0,21	0,23		
Prędkość kroku wolny [m/s]	Elita	9	10,324	0,16	1,52	10,20	10,44	<b>4,61</b>	<b>0,0003</b>
	Sub-elita	9	9,859	0,26	2,63	9,66	10,06		
Prędkość kroku szybki [m/s]	Elita	9	10,341	0,12	1,12	10,25	10,43	<b>5,16</b>	<b>0,0001</b>
	Sub-elita	9	9,921	0,21	2,16	9,76	10,09		

## **IV 2. Analiza asymetrii**

### **IV 2.1. Charakterystyka asymetrii między zawodnikami i między biegami**

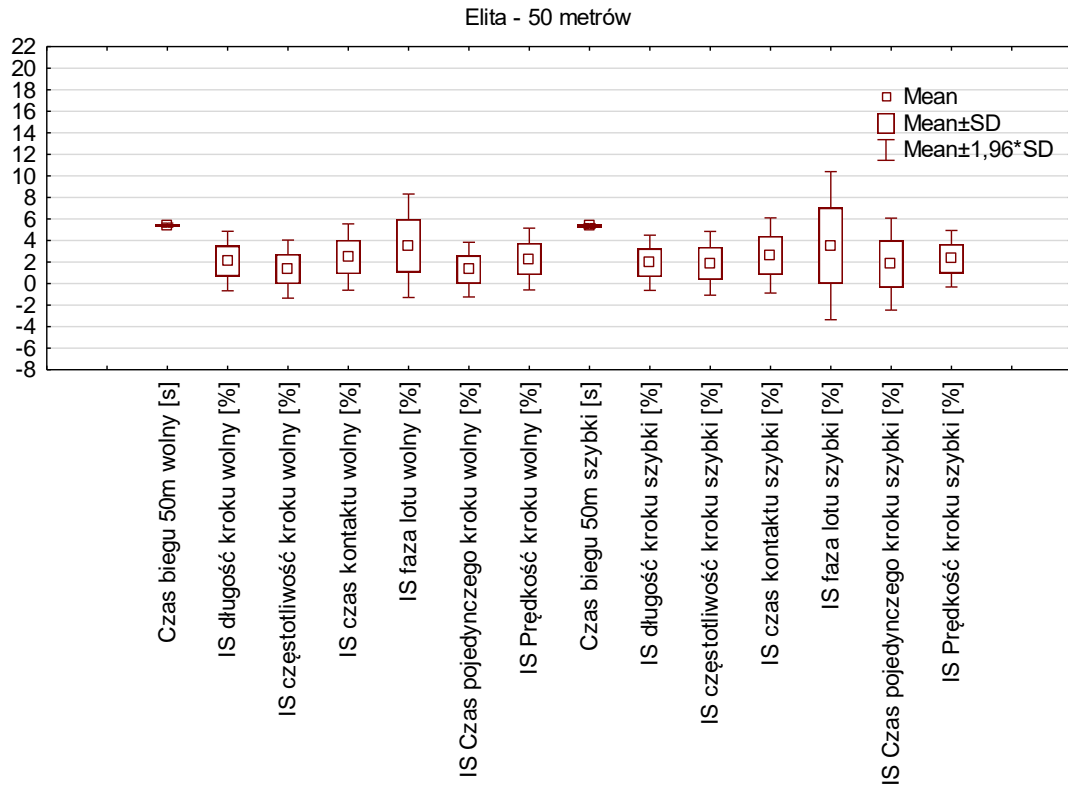
Analizując wyniki zawarte w tabeli (Tabela 6.), można zauważyć zmienne, które wykazują istotność statystyczną oraz mają umiarkowany lub silny efekt. Pierwszą z nich jest czas biegu na 50 metrów w biegu wolnym. Ta zmienna wskazuje na wysoką istotność statystyczną różnicy pomiędzy czasami biegu w grupie elity i sub-elity z  $p$  na poziomie 0,0019. Wartość  $d$  Cohena wynosząca -1.77 sugeruje silny efekt, co oznacza, że różnica jest nie tylko statystycznie istotna, ale również duża pod względem praktycznym. Podobnie jak w przypadku wolnego biegu, w biegu szybkim występują różnice istotne statystycznie z  $p = 0.0030$ , a  $d$  Cohena = -1.65 wskazuje na silny efekt, co potwierdza znaczącą różnicę między wynikami elity i sub-elity. Wszystkie zmienne są na korzyść elity.

Indeksy symetrii poszczególnych parametrów kinematycznych nie wykazały istotności statystycznej, ale pod względem praktycznym, biorąc pod uwagę siłę efektu, możemy wyróżnić kilka. Pierwszym z nich będzie indeks symetrii długości kroków. W biegu wolnym wykazał on silny efekt na poziomie -0,87, natomiast w biegu szybkim był umiarkowany i wyniósł -0,66. Również IS częstotliwości kroku wykazał umiarkowany efekt w biegu wolnym (-0,74) oraz w biegu szybkim (-0,62). Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku IS fazy lotu, w biegu wolnym umiarkowany efekt na poziomie -0,52, a podczas biegu szybkiego -0,71. Ostatnią zmienną, która wykazała przynajmniej umiarkowany efekt jest IS czas pojedynczego kroku o wartości -0,52 wyłącznie dla biegu wolnego. Pozostałe zmienne wykazały efekt słaby lub bardzo słaby. Różnice statystyczne pomiędzy grupami i biegami możemy zaobserwować również na wykresach (Wykres 1. i Wykres 2.).

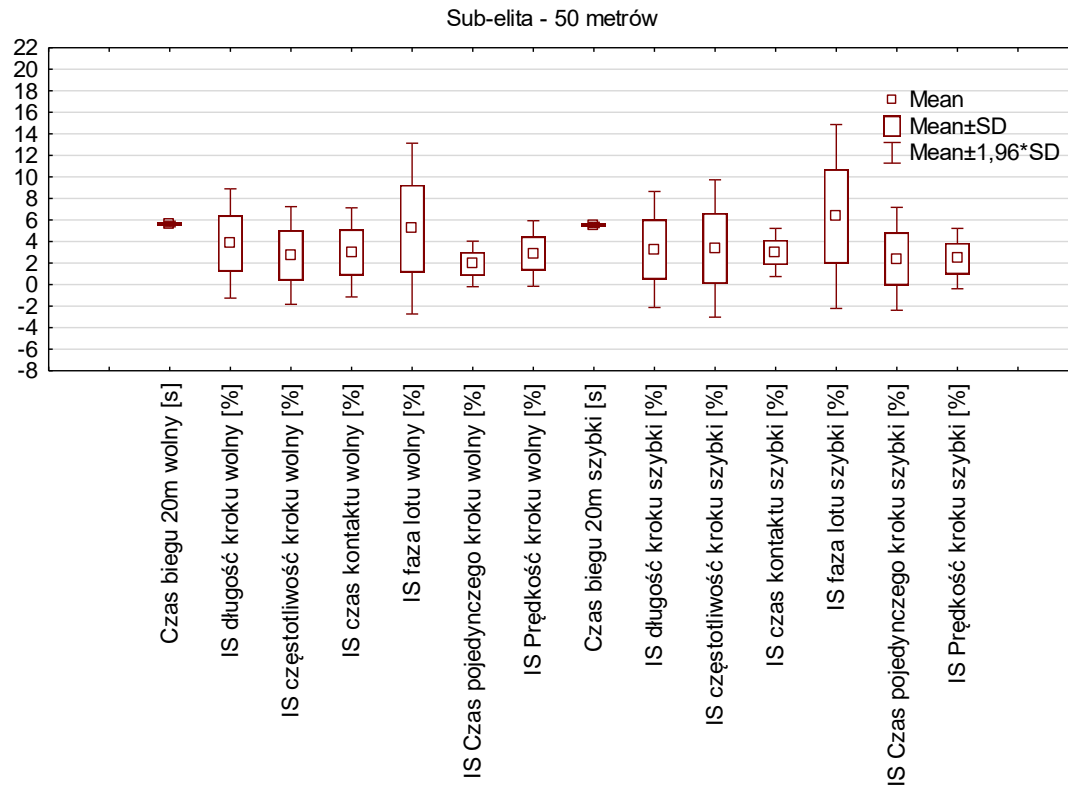
Tabela 6. Charakterystyka indeksu symetrii parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 50 metrów z podziałem na: elitę i sub-elitę,  $p < 0.05$

Zmienne		n	$\bar{x}$	s	v	95% Przedział ufności		t	p	d
						Dolna granica	Górna granica			
Czas biegu 50 m wolny [s]	Elita	9	5,427	0,10	1,84	5,35	5,50	<b>-3,71</b>	<b>0,0019</b>	-1,77
	Sub-elita	9	5,627	0,13	2,31	5,53	5,73			
Czas biegu 50 m szybki [s]	Elita	9	5,351	0,11	2,06	5,27	5,44	<b>-3,49</b>	<b>0,0030</b>	-1,65
	Sub-elita	9	5,544	0,12	2,16	5,45	5,64			
IS długość kroku wolny [%]	Elita	9	2,091	1,41	67,43	1,01	3,17	-1,76	0,1029	-0,87
	Sub-elita	9	3,821	2,59	67,78	1,83	5,81			
IS długość kroku szybki [%]	Elita	9	1,930	1,31	67,88	0,92	2,94	-1,31	0,2144	-0,66
	Sub-elita	9	3,264	2,75	84,25	1,15	5,38			
IS częstotliwość kroku wolny [%]	Elita	9	1,347	1,38	102,45	0,29	2,40	-1,52	0,1525	-0,74
	Sub-elita	9	2,710	2,31	85,24	0,93	4,49			
IS częstotliwość kroku szybki [%]	Elita	9	1,880	1,51	80,32	0,72	3,04	-1,24	0,2413	-0,62
	Sub-elita	9	3,359	3,25	96,75	0,86	5,86			
IS czas kontaktu wolny [%]	Elita	9	2,464	1,57	63,72	1,26	3,67	-0,60	0,5552	-0,29
	Sub-elita	9	2,993	2,11	70,50	1,37	4,62			
IS czas kontaktu szybki [%]	Elita	9	2,613	1,78	68,12	1,24	3,98	-0,53	0,6064	-0,25
	Sub-elita	9	2,985	1,14	38,19	2,11	3,86			
IS faza lotu wolny [%]	Elita	9	3,514	2,45	69,72	1,63	5,40	-1,07	0,3044	-0,52
	Sub-elita	9	5,199	4,05	77,90	2,09	8,31			
IS faza lotu szybki [%]	Elita	9	3,518	3,51	99,77	0,82	6,21	-1,51	0,1522	-0,71
	Sub-elita	9	6,328	4,36	68,90	2,98	9,68			
IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	1,295	1,30	100,39	0,30	2,29	-1,12	0,2816	-0,53
	Sub-elita	9	1,922	1,08	56,19	1,09	2,75			
IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	1,811	2,18	120,38	0,14	3,49	-0,53	0,6010	-0,25
	Sub-elita	9	2,393	2,44	101,96	0,52	4,27			
IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	2,279	1,47	64,50	1,15	3,41	-0,86	0,4021	-0,41
	Sub-elita	9	2,892	1,55	53,60	1,70	4,08			
IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,305	1,34	58,13	1,28	3,33	-0,18	0,8622	-0,08
	Sub-elita	9	2,420	1,43	59,09	1,32	3,52			

Wykres 1. Charakterystyka indeksu symetrii parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 50 metrów dla elity



Wykres 2. Charakterystyka indeksu symetrii parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 50 metrów dla sub-elity



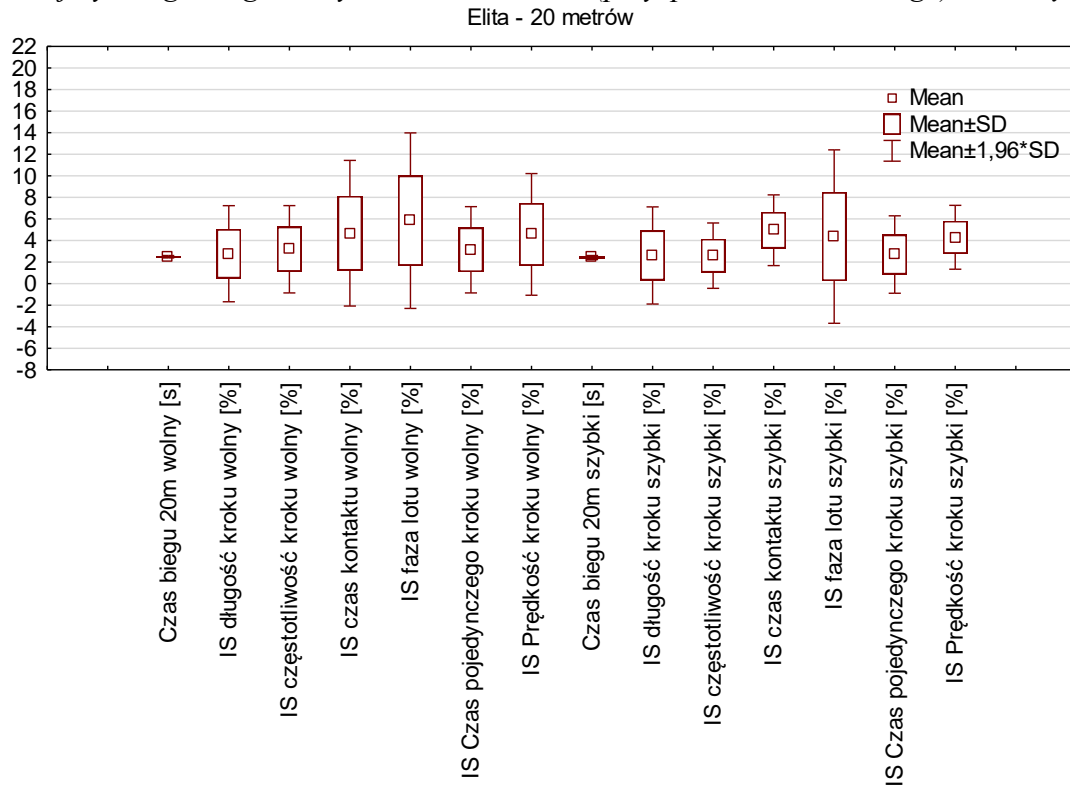
Dokonując analizy indeksu symetrii parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 20 metrów (Tabela 7.) można zauważyć, że dla większości zmiennych różnice między grupami elita i sub-elita są widoczne, jednak nie wszystkie są statystycznie istotne. Czas dla wolnego biegu w fazie przyspieszenia startowego (20 m – wolny bieg) w Test t-Studenta wykazał  $t = -2.09$ , co przy  $p = 0.0525$  jest bliskie progu istotności statystycznej. Wartość  $d$  Cohena wynosi  $-0.90$ , co sugeruje silny efekt. Podobnie jest w przypadku czasu biegu szybkiego Test t-Studenta wykazał  $t = -1.95$ , przy  $p = 0.0689$ , co również jest bliskie progu istotności statystycznej. Wartość  $d$  Cohena wynosi  $-0.85$ , co wskazuje na silny efekt i przewagę elity nad sub-elitą.

Biorąc pod uwagę indeksy symetrii kolejnych parametrów kinematycznych można zauważyć, że żadna z nich nie jest istotna statystycznie, aczkolwiek niektóre z nich wykazują silny lub umiarkowany efekt Cohena. Pierwszą zmienną, która wykazuje efekt na poziomie silnym  $-0,80$  jest IS długości kroku w biegu wolnym. Mniejsza wartość  $-0,61$  (umiarkowana) miała miejsce w biegu szybkim. Umiarkowany efekt na poziomie  $0,60$  wykazał IS częstotliwości kroków wyłącznie w biegu wolnym na korzyść sub-elity. Odwrotna sytuacja miała miejsce w IS fazy lotu, ponieważ osiągnęła wartość  $-0,78$  (blisko silnego efektu) na korzyść elity wyłącznie w biegu szybkim. Ostatnim parametrem wykazującym umiarkowaną siłę efektu jest IS pojedynczego kroku w biegu wolnym, który osiągnął wartość  $0,56$  na korzyść sub-elity. Pozostałe zmienne wykazały efekt słaby lub bardzo słaby. Różnice statystyczne pomiędzy grupami i biegami możemy zaobserwować również na wykresach (Wykres 3. i Wykres 4.).

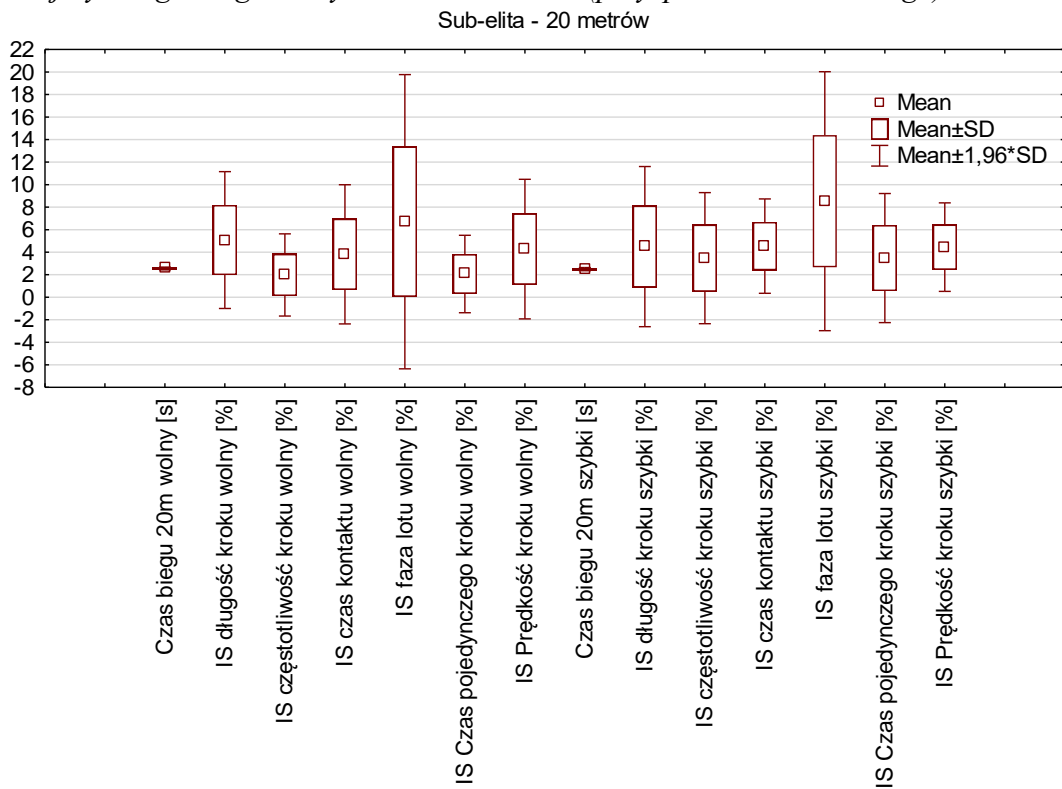
Tabela 7. Charakterystyka indeksu symetrii parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 20 metrów (przyspieszenia startowego) z podziałem na: elitę i sub-elitę,  $p < 0.05$

Zmienne		n	$\bar{x}$	s	v	95% Przedział ufności		t	p	d
						Dolna granica	Górna granica			
Czas biegu 20 m wolny [s]	Elita	9	2,495	0,05	2,00	2,45	2,54	-2,09	0,0525	-0,90
	Sub-elita	9	2,552	0,06	2,35	2,50	2,60			
Czas biegu 20 m szybki [s]	Elita	9	2,420	0,09	3,72	2,35	2,49	-1,95	0,0689	-0,85
	Sub-elita	9	2,496	0,07	2,80	2,44	2,55			
IS długość kroku wolny [%]	Elita	9	2,771	2,27	81,92	1,29	4,26	-1,80	0,0906	-0,80
	Sub-elita	9	5,078	3,10	61,05	3,05	7,10			
IS długość kroku szybki [%]	Elita	9	2,613	2,30	88,02	1,11	4,11	-1,32	0,2058	-0,61
	Sub-elita	9	4,500	3,63	80,67	2,13	6,87			
IS częstotliwość kroku wolny [%]	Elita	9	3,187	2,06	64,64	1,84	4,54	1,30	0,2109	0,60
	Sub-elita	9	1,980	1,86	93,94	0,77	3,20			
IS częstotliwość kroku szybki [%]	Elita	9	2,595	1,55	59,73	1,59	3,60	-0,79	0,4433	-0,37
	Sub-elita	9	3,472	2,97	85,54	1,53	5,41			
IS czas kontaktu wolny [%]	Elita	9	4,671	3,45	73,86	2,42	6,92	0,55	0,5888	0,27
	Sub-elita	9	3,813	3,15	82,61	1,75	5,87			
IS czas kontaktu szybki [%]	Elita	9	4,949	1,67	33,74	3,86	6,04	0,45	0,6568	0,22
	Sub-elita	9	4,539	2,14	47,15	3,14	5,94			
IS faza lotu wolny [%]	Elita	9	5,840	4,16	71,23	3,13	8,56	-0,33	0,7444	-0,16
	Sub-elita	9	6,709	6,67	99,42	2,35	11,06			
IS faza lotu szybki [%]	Elita	9	4,364	4,10	93,95	1,68	7,04	-1,75	0,1000	-0,78
	Sub-elita	9	8,529	5,87	68,82	4,70	12,36			
IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	3,139	2,04	64,99	1,80	4,47	1,19	0,2500	0,56
	Sub-elita	9	2,067	1,76	85,15	0,92	3,21			
IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,696	1,83	67,88	1,50	3,89	-0,68	0,5043	-0,33
	Sub-elita	9	3,482	2,93	84,15	1,57	5,39			
IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	4,563	2,88	63,12	2,68	6,45	0,20	0,8439	0,10
	Sub-elita	9	4,277	3,16	73,88	2,21	6,34			
IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	4,297	1,51	35,14	3,31	5,28	-0,18	0,8592	-0,09
	Sub-elita	9	4,448	2,01	45,19	3,14	5,76			

Wykres 3. Charakterystyka indeksu symetrii parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 20 metrów (przyspieszenia startowego) dla elity



Wykres 4. Charakterystyka indeksu symetrii parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 20 metrów (przyspieszenia startowego) dla sub-elity



Rozpatrując przebieg zmienności parametrów w fazie maksymalnej prędkości (30m) (Tabela 8.) nie zaobserwowano istotnych różnic statystycznych między grupami elity i sub-elity, co wskazuje wysokie wartości  $p$  i słabe efekty  $d$  Cohena. Najistotniejszą różnicę wykazują czasy biegu na 30 metrów (faza przyspieszenia startowego). Wyniki wskazują na istotną różnicę między grupami z bardzo niskim  $p = 0.00005$ , co oznacza wysoką istotność statystyczną. Wartość  $d$  Cohena  $-1.43$  wskazuje na silny efekt, co oznacza, że różnica między grupami jest duża. Podobnie jak w przypadku wolnego biegu, różnica jest istotna statystycznie z bardzo niskim  $p = 0.00003$  i silnym efektem  $d$  Cohena  $-1,46$ , co oznacza dużą różnicę między elitą a sub-elitą na zdecydowaną korzyść elity.

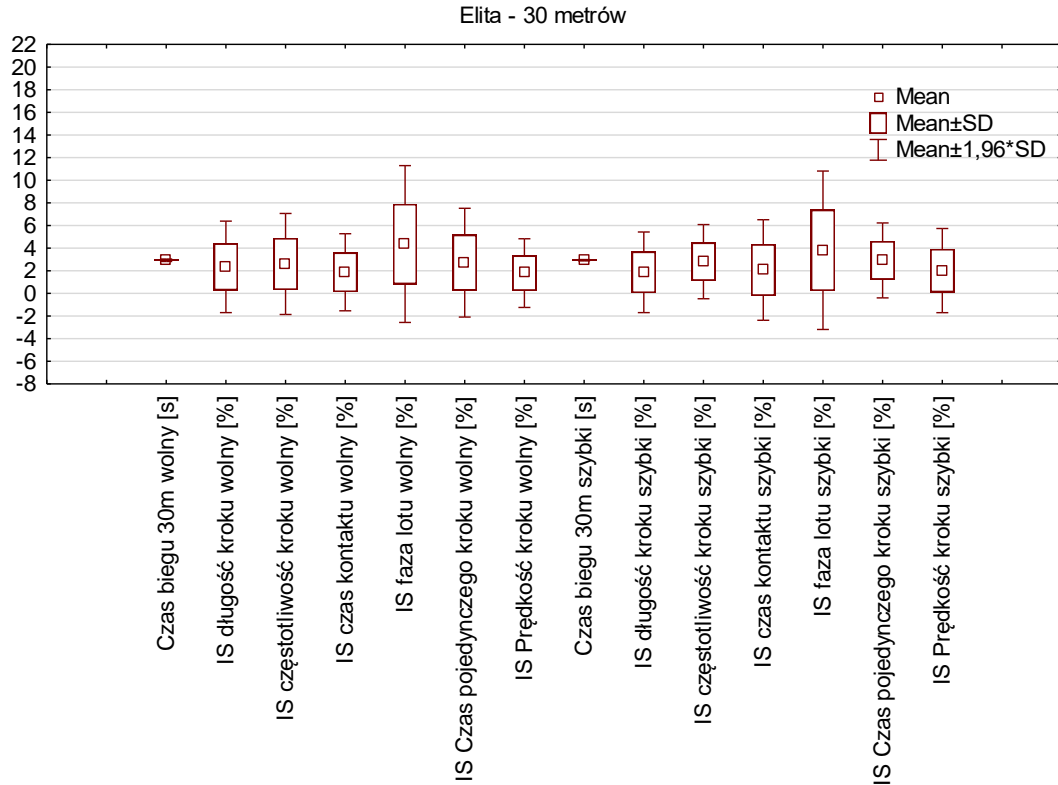
Biorąc pod uwagę tylko IS parametrów kinematycznych, większość z nich wskazuje na przewagę elity nad sub-elitą, ale tylko niektóre z nich wykazują co najmniej umiarkowany efekt. IS częstotliwości kroków w biegu wolnym wykazuje umiarkowany efekt na poziomie  $-0.54$ . Również w biegu wolnym IS czasu kontaktu wskazuje na umiarkowaną siłę efektu o wartości  $-0,60$ . Taką samą wartość osiąga  $d$  w przypadku IS pojedynczego kroku również w biegu wolnym. Pozostałe zmienne wykazały efekt słaby lub bardzo słaby. Różnice statystyczne pomiędzy grupami i biegami możemy zaobserwować również na wykresach (Wykres 5. i Wykres 6.).



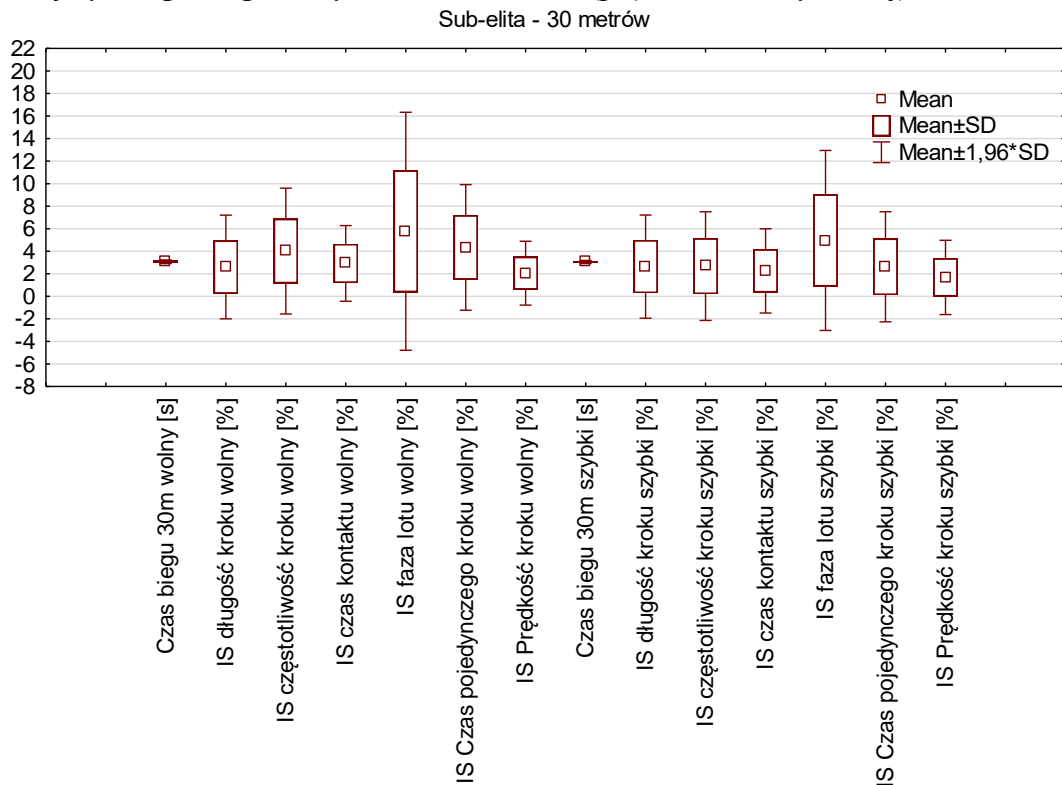
Tabela 8. Charakterystyka indeksu symetrii parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 30 metrów (prędkości maksymalnej) z podziałem na: elitę i sub-elitę,  $p < 0.05$

Zmienne		n	$\bar{x}$	s	v	95% Przedział ufności		t	p	d																																																																																																																																																																																																																																						
						Dolna granica	Górna granica																																																																																																																																																																																																																																									
Czas biegu 30 m wolny [s]	Elita	9	2,932	0,06	2,05	2,89	2,97	<b>-4,33</b>	<b>0,0005</b>	-1,43																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	3,075	0,08	2,60	3,01	3,14				Czas biegu 30 m szybki [s]	Elita	9	2,931	0,03	1,02	2,91	2,95	<b>-4,57</b>	<b>0,0003</b>	-1,46	Sub-elita	9	3,047	0,07	2,30	2,99	3,10	IS długość kroku wolny [%]	Elita	9	2,345	2,06	87,85	1,00	3,69	-0,25	0,8079	-0,12	Sub-elita	9	2,603	2,35	90,28	1,07	4,14	IS długość kroku szybki [%]	Elita	9	1,864	1,82	97,64	0,68	3,05	-0,78	0,4443	-0,37	Sub-elita	9	2,638	2,34	88,70	1,11	4,16	IS częstotliwość kroku wolny [%]	Elita	9	2,601	2,28	87,66	1,11	4,09	-1,17	0,2605	-0,54	Sub-elita	9	4,019	2,85	70,91	2,16	5,88	IS częstotliwość kroku szybki [%]	Elita	9	2,809	1,67	59,45	1,72	3,90	0,13	0,8981	0,06	Sub-elita	9	2,680	2,46	91,79	1,07	4,29	IS czas kontaktu wolny [%]	Elita	9	1,871	1,74	93,00	0,73	3,01	-1,29	0,2140	-0,60	Sub-elita	9	2,923	1,71	58,50	1,80	4,04	IS czas kontaktu szybki [%]	Elita	9	2,067	2,27	109,82	0,59	3,55	-0,20	0,8476	-0,09	Sub-elita	9	2,259	1,91	84,55	1,01	3,50	IS faza lotu wolny [%]	Elita	9	4,364	3,53	80,89	2,06	6,67	-0,66	0,5210	-0,31	Sub-elita	9	5,774	5,39	93,35	2,25	9,29	IS faza lotu szybki [%]	Elita	9	3,810	3,57	93,70	1,48	6,14	-0,64	0,5333	-0,31	Sub-elita	9	4,960	4,08	82,26	2,30	7,62	IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	2,715	2,45	90,24	1,11	4,32	-1,30	0,2124	-0,60	Sub-elita	9	4,340	2,84	65,44	2,48	6,20	IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,916	1,69	57,96	1,81	4,02	0,29	0,7747	0,14	Sub-elita	9	2,623	2,49	94,93	0,99	4,25	IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00	IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678
Czas biegu 30 m szybki [s]	Elita	9	2,931	0,03	1,02	2,91	2,95	<b>-4,57</b>	<b>0,0003</b>	-1,46																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	3,047	0,07	2,30	2,99	3,10				IS długość kroku wolny [%]	Elita	9	2,345	2,06	87,85	1,00	3,69	-0,25	0,8079	-0,12	Sub-elita	9	2,603	2,35	90,28	1,07	4,14	IS długość kroku szybki [%]	Elita	9	1,864	1,82	97,64	0,68	3,05	-0,78	0,4443	-0,37	Sub-elita	9	2,638	2,34	88,70	1,11	4,16	IS częstotliwość kroku wolny [%]	Elita	9	2,601	2,28	87,66	1,11	4,09	-1,17	0,2605	-0,54	Sub-elita	9	4,019	2,85	70,91	2,16	5,88	IS częstotliwość kroku szybki [%]	Elita	9	2,809	1,67	59,45	1,72	3,90	0,13	0,8981	0,06	Sub-elita	9	2,680	2,46	91,79	1,07	4,29	IS czas kontaktu wolny [%]	Elita	9	1,871	1,74	93,00	0,73	3,01	-1,29	0,2140	-0,60	Sub-elita	9	2,923	1,71	58,50	1,80	4,04	IS czas kontaktu szybki [%]	Elita	9	2,067	2,27	109,82	0,59	3,55	-0,20	0,8476	-0,09	Sub-elita	9	2,259	1,91	84,55	1,01	3,50	IS faza lotu wolny [%]	Elita	9	4,364	3,53	80,89	2,06	6,67	-0,66	0,5210	-0,31	Sub-elita	9	5,774	5,39	93,35	2,25	9,29	IS faza lotu szybki [%]	Elita	9	3,810	3,57	93,70	1,48	6,14	-0,64	0,5333	-0,31	Sub-elita	9	4,960	4,08	82,26	2,30	7,62	IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	2,715	2,45	90,24	1,11	4,32	-1,30	0,2124	-0,60	Sub-elita	9	4,340	2,84	65,44	2,48	6,20	IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,916	1,69	57,96	1,81	4,02	0,29	0,7747	0,14	Sub-elita	9	2,623	2,49	94,93	0,99	4,25	IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00	IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78														
IS długość kroku wolny [%]	Elita	9	2,345	2,06	87,85	1,00	3,69	-0,25	0,8079	-0,12																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	2,603	2,35	90,28	1,07	4,14				IS długość kroku szybki [%]	Elita	9	1,864	1,82	97,64	0,68	3,05	-0,78	0,4443	-0,37	Sub-elita	9	2,638	2,34	88,70	1,11	4,16	IS częstotliwość kroku wolny [%]	Elita	9	2,601	2,28	87,66	1,11	4,09	-1,17	0,2605	-0,54	Sub-elita	9	4,019	2,85	70,91	2,16	5,88	IS częstotliwość kroku szybki [%]	Elita	9	2,809	1,67	59,45	1,72	3,90	0,13	0,8981	0,06	Sub-elita	9	2,680	2,46	91,79	1,07	4,29	IS czas kontaktu wolny [%]	Elita	9	1,871	1,74	93,00	0,73	3,01	-1,29	0,2140	-0,60	Sub-elita	9	2,923	1,71	58,50	1,80	4,04	IS czas kontaktu szybki [%]	Elita	9	2,067	2,27	109,82	0,59	3,55	-0,20	0,8476	-0,09	Sub-elita	9	2,259	1,91	84,55	1,01	3,50	IS faza lotu wolny [%]	Elita	9	4,364	3,53	80,89	2,06	6,67	-0,66	0,5210	-0,31	Sub-elita	9	5,774	5,39	93,35	2,25	9,29	IS faza lotu szybki [%]	Elita	9	3,810	3,57	93,70	1,48	6,14	-0,64	0,5333	-0,31	Sub-elita	9	4,960	4,08	82,26	2,30	7,62	IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	2,715	2,45	90,24	1,11	4,32	-1,30	0,2124	-0,60	Sub-elita	9	4,340	2,84	65,44	2,48	6,20	IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,916	1,69	57,96	1,81	4,02	0,29	0,7747	0,14	Sub-elita	9	2,623	2,49	94,93	0,99	4,25	IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00	IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78																																
IS długość kroku szybki [%]	Elita	9	1,864	1,82	97,64	0,68	3,05	-0,78	0,4443	-0,37																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	2,638	2,34	88,70	1,11	4,16				IS częstotliwość kroku wolny [%]	Elita	9	2,601	2,28	87,66	1,11	4,09	-1,17	0,2605	-0,54	Sub-elita	9	4,019	2,85	70,91	2,16	5,88	IS częstotliwość kroku szybki [%]	Elita	9	2,809	1,67	59,45	1,72	3,90	0,13	0,8981	0,06	Sub-elita	9	2,680	2,46	91,79	1,07	4,29	IS czas kontaktu wolny [%]	Elita	9	1,871	1,74	93,00	0,73	3,01	-1,29	0,2140	-0,60	Sub-elita	9	2,923	1,71	58,50	1,80	4,04	IS czas kontaktu szybki [%]	Elita	9	2,067	2,27	109,82	0,59	3,55	-0,20	0,8476	-0,09	Sub-elita	9	2,259	1,91	84,55	1,01	3,50	IS faza lotu wolny [%]	Elita	9	4,364	3,53	80,89	2,06	6,67	-0,66	0,5210	-0,31	Sub-elita	9	5,774	5,39	93,35	2,25	9,29	IS faza lotu szybki [%]	Elita	9	3,810	3,57	93,70	1,48	6,14	-0,64	0,5333	-0,31	Sub-elita	9	4,960	4,08	82,26	2,30	7,62	IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	2,715	2,45	90,24	1,11	4,32	-1,30	0,2124	-0,60	Sub-elita	9	4,340	2,84	65,44	2,48	6,20	IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,916	1,69	57,96	1,81	4,02	0,29	0,7747	0,14	Sub-elita	9	2,623	2,49	94,93	0,99	4,25	IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00	IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78																																																		
IS częstotliwość kroku wolny [%]	Elita	9	2,601	2,28	87,66	1,11	4,09	-1,17	0,2605	-0,54																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	4,019	2,85	70,91	2,16	5,88				IS częstotliwość kroku szybki [%]	Elita	9	2,809	1,67	59,45	1,72	3,90	0,13	0,8981	0,06	Sub-elita	9	2,680	2,46	91,79	1,07	4,29	IS czas kontaktu wolny [%]	Elita	9	1,871	1,74	93,00	0,73	3,01	-1,29	0,2140	-0,60	Sub-elita	9	2,923	1,71	58,50	1,80	4,04	IS czas kontaktu szybki [%]	Elita	9	2,067	2,27	109,82	0,59	3,55	-0,20	0,8476	-0,09	Sub-elita	9	2,259	1,91	84,55	1,01	3,50	IS faza lotu wolny [%]	Elita	9	4,364	3,53	80,89	2,06	6,67	-0,66	0,5210	-0,31	Sub-elita	9	5,774	5,39	93,35	2,25	9,29	IS faza lotu szybki [%]	Elita	9	3,810	3,57	93,70	1,48	6,14	-0,64	0,5333	-0,31	Sub-elita	9	4,960	4,08	82,26	2,30	7,62	IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	2,715	2,45	90,24	1,11	4,32	-1,30	0,2124	-0,60	Sub-elita	9	4,340	2,84	65,44	2,48	6,20	IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,916	1,69	57,96	1,81	4,02	0,29	0,7747	0,14	Sub-elita	9	2,623	2,49	94,93	0,99	4,25	IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00	IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78																																																																				
IS częstotliwość kroku szybki [%]	Elita	9	2,809	1,67	59,45	1,72	3,90	0,13	0,8981	0,06																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	2,680	2,46	91,79	1,07	4,29				IS czas kontaktu wolny [%]	Elita	9	1,871	1,74	93,00	0,73	3,01	-1,29	0,2140	-0,60	Sub-elita	9	2,923	1,71	58,50	1,80	4,04	IS czas kontaktu szybki [%]	Elita	9	2,067	2,27	109,82	0,59	3,55	-0,20	0,8476	-0,09	Sub-elita	9	2,259	1,91	84,55	1,01	3,50	IS faza lotu wolny [%]	Elita	9	4,364	3,53	80,89	2,06	6,67	-0,66	0,5210	-0,31	Sub-elita	9	5,774	5,39	93,35	2,25	9,29	IS faza lotu szybki [%]	Elita	9	3,810	3,57	93,70	1,48	6,14	-0,64	0,5333	-0,31	Sub-elita	9	4,960	4,08	82,26	2,30	7,62	IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	2,715	2,45	90,24	1,11	4,32	-1,30	0,2124	-0,60	Sub-elita	9	4,340	2,84	65,44	2,48	6,20	IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,916	1,69	57,96	1,81	4,02	0,29	0,7747	0,14	Sub-elita	9	2,623	2,49	94,93	0,99	4,25	IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00	IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78																																																																																						
IS czas kontaktu wolny [%]	Elita	9	1,871	1,74	93,00	0,73	3,01	-1,29	0,2140	-0,60																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	2,923	1,71	58,50	1,80	4,04				IS czas kontaktu szybki [%]	Elita	9	2,067	2,27	109,82	0,59	3,55	-0,20	0,8476	-0,09	Sub-elita	9	2,259	1,91	84,55	1,01	3,50	IS faza lotu wolny [%]	Elita	9	4,364	3,53	80,89	2,06	6,67	-0,66	0,5210	-0,31	Sub-elita	9	5,774	5,39	93,35	2,25	9,29	IS faza lotu szybki [%]	Elita	9	3,810	3,57	93,70	1,48	6,14	-0,64	0,5333	-0,31	Sub-elita	9	4,960	4,08	82,26	2,30	7,62	IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	2,715	2,45	90,24	1,11	4,32	-1,30	0,2124	-0,60	Sub-elita	9	4,340	2,84	65,44	2,48	6,20	IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,916	1,69	57,96	1,81	4,02	0,29	0,7747	0,14	Sub-elita	9	2,623	2,49	94,93	0,99	4,25	IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00	IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78																																																																																																								
IS czas kontaktu szybki [%]	Elita	9	2,067	2,27	109,82	0,59	3,55	-0,20	0,8476	-0,09																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	2,259	1,91	84,55	1,01	3,50				IS faza lotu wolny [%]	Elita	9	4,364	3,53	80,89	2,06	6,67	-0,66	0,5210	-0,31	Sub-elita	9	5,774	5,39	93,35	2,25	9,29	IS faza lotu szybki [%]	Elita	9	3,810	3,57	93,70	1,48	6,14	-0,64	0,5333	-0,31	Sub-elita	9	4,960	4,08	82,26	2,30	7,62	IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	2,715	2,45	90,24	1,11	4,32	-1,30	0,2124	-0,60	Sub-elita	9	4,340	2,84	65,44	2,48	6,20	IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,916	1,69	57,96	1,81	4,02	0,29	0,7747	0,14	Sub-elita	9	2,623	2,49	94,93	0,99	4,25	IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00	IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78																																																																																																																										
IS faza lotu wolny [%]	Elita	9	4,364	3,53	80,89	2,06	6,67	-0,66	0,5210	-0,31																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	5,774	5,39	93,35	2,25	9,29				IS faza lotu szybki [%]	Elita	9	3,810	3,57	93,70	1,48	6,14	-0,64	0,5333	-0,31	Sub-elita	9	4,960	4,08	82,26	2,30	7,62	IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	2,715	2,45	90,24	1,11	4,32	-1,30	0,2124	-0,60	Sub-elita	9	4,340	2,84	65,44	2,48	6,20	IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,916	1,69	57,96	1,81	4,02	0,29	0,7747	0,14	Sub-elita	9	2,623	2,49	94,93	0,99	4,25	IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00	IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78																																																																																																																																												
IS faza lotu szybki [%]	Elita	9	3,810	3,57	93,70	1,48	6,14	-0,64	0,5333	-0,31																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	4,960	4,08	82,26	2,30	7,62				IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	2,715	2,45	90,24	1,11	4,32	-1,30	0,2124	-0,60	Sub-elita	9	4,340	2,84	65,44	2,48	6,20	IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,916	1,69	57,96	1,81	4,02	0,29	0,7747	0,14	Sub-elita	9	2,623	2,49	94,93	0,99	4,25	IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00	IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78																																																																																																																																																														
IS Czas pojedynczego kroku wolny [%]	Elita	9	2,715	2,45	90,24	1,11	4,32	-1,30	0,2124	-0,60																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	4,340	2,84	65,44	2,48	6,20				IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,916	1,69	57,96	1,81	4,02	0,29	0,7747	0,14	Sub-elita	9	2,623	2,49	94,93	0,99	4,25	IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00	IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78																																																																																																																																																																																
IS Czas pojedynczego kroku szybki [%]	Elita	9	2,916	1,69	57,96	1,81	4,02	0,29	0,7747	0,14																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	2,623	2,49	94,93	0,99	4,25				IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00	IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78																																																																																																																																																																																																		
IS Prędkość kroku wolny [%]	Elita	9	1,795	1,55	86,35	0,78	2,81	-0,37	0,7168	-0,18																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	2,056	1,44	70,04	1,11	3,00				IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78																																																																																																																																																																																																																				
IS Prędkość kroku szybki [%]	Elita	9	2,015	1,90	94,29	0,77	3,25	0,40	0,6956	0,19																																																																																																																																																																																																																																						
	Sub-elita	9	1,678	1,68	100,12	0,58	2,78																																																																																																																																																																																																																																									

Wykres 5. Charakterystyka indeksu symetrii parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 30 metrów (prędkości maksymalnej) dla elity



Wykres 6. Charakterystyka indeksu symetrii parametrów kinematycznych najwolniejszego oraz najszybszego biegu na dystansie 30 metrów (prędkości maksymalnej) dla sub-elity



Wyniki analizy wariancji jednowymiarowej (ANOVA) dla indeksów symetrii parametrów kinematycznych w zależności od grupy i biegu (Tabela 9.) czas biegu na 20 m jest istotnie zależny od grupy i biegu, jednak nie ma istotnej interakcji między grupą a biegiem. Indeks symetrii długości kroku zależy od grupy, natomiast biegi oraz interakcja grupy z biegiem nie mają na nią istotnego wpływu. Pozostałe zmienne (częstotliwość kroku, czas kontaktu, faza lotu, czas pojedynczego kroku, prędkość kroku) nie wykazują statystycznie istotnych różnic ani w zależności od grupy, ani od biegu, ani od ich interakcji.

Tabela 9. Wyniki analizy wariancji (ANOVA) dla indeksów symetrii parametrów kinematycznych w zależności od grupy i biegu oraz interakcji grupa x bieg w biegu na 20 metrów (przyspieszenia startowego),  $p < 0.05$

Zmienna \ Efekt	Grupa		Bieg		Grupa x bieg	
	F	p	F	p	F	p
Czas biegu 20 m [s]	7,83	<b>0,0086</b>	7,52	<b>0,0099</b>	0,16	0,6930
IS długość kroku [%]	4,77	<b>0,0364</b>	0,15	0,7040	0,05	0,8283
IS częstotliwość kroku [%]	0,05	0,8214	0,38	0,5395	2,07	0,1604
IS czas kontaktu [%]	0,50	0,4862	0,31	0,5810	0,06	0,8047
IS faza lotu [%]	2,02	0,1650	0,01	0,9235	0,87	0,3590
IS Czas pojedynczego kroku [%]	0,04	0,8460	0,44	0,5098	1,62	0,2122
IS Prędkość kroku [%]	0,01	0,9357	0,00	0,9551	0,07	0,7936

Analizując testy post-hoc (Tabela 10.) wykazano, że nie ma znaczących różnic między grupami "Elita szybki", "Elita wolny", "Sub-elita szybki" i "Sub-elita wolny" w odniesieniu do analizowanych zmiennych, takich jak czas biegu, długość kroku, częstotliwość kroku, czas kontaktu, faza lotu, czas pojedynczego kroku i prędkość kroku. Najbliżej istotności statystycznej był czas kontaktu dla porównania "Elita wolny x Sub-elita wolny", jednak wynik ten również nie przekroczył progu 0.05.

Tabela 10. Wyniki testów post-hoc według Bonferroniego dla porównań parami indeksów symetrii parametrów kinematycznych w grupach elity i sub-elity w biegu na 20 metrów (przyspieszenia startowego),  $p < 0.05$

Zmienna \ Efekt	Elita szybki x Elita wolny	Sub-elita szybki x Sub-elita wolny	Elita szybki x Sub-elita szybki	Elita wolny x Sub-elita wolny
	p	p	p	p
Czas biegu 20 m [s]	0,3100	0,5829	0,4137	0,3148
IS długość kroku [%]	1,0000	1,0000	0,3190	0,3807
IS częstotliwość kroku [%]	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
IS czas kontaktu [%]	1,0000	1,0000	0,2764	0,0823
IS faza lotu [%]	1,0000	1,0000	0,5313	1,0000
IS Czas pojedynczego kroku [%]	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
IS Prędkość kroku [%]	1,0000	1,0000	0,6947	0,2294

Dane zawarte w tabeli 11 wskazują na znaczące różnice między grupami w przypadku czasu biegu na 30 m oraz indeksów symetrii: długości kroku, częstotliwości kroku, fazy lotu i czasu pojedynczego kroku. Brak istotnych efektów dla zmiennej "Bieg" sugeruje, że różnicowanie biegu wolniejszego i szybszego nie wprowadza znaczących różnic w analizowanych zmiennych. Ponadto, brak istotnych efektów interakcji (Grupa x Bieg) wskazuje, że interakcje między grupami a biegiem nie są znaczące (Tabela 11.)

Tabela 11. Wyniki analizy wariancji (ANOVA) dla indeksów symetrii parametrów kinematycznych w zależności od grupy i biegu oraz interakcji grupa x bieg w biegu na 30 metrów (prędkości maksymalnej),  $p < 0.05$

Zmienna \ Efekt	Grupa		Bieg		Grupa x bieg	
	F	p	F	p	F	p
Czas biegu 30 m [s]	38,65	<b>0,0000</b>	0,44	0,5129	0,42	0,5230
IS długość kroku [%]	20,77	<b>0,0001</b>	0,20	0,6567	0,50	0,4828
IS częstotliwość kroku [%]	24,16	<b>0,0000</b>	0,00	0,9956	0,24	0,6288
IS czas kontaktu [%]	1,79	0,1902	0,01	0,9231	0,07	0,7917
IS faza lotu [%]	19,67	<b>0,0001</b>	0,18	0,6738	0,01	0,9094
IS Czas pojedynczego kroku [%]	17,19	<b>0,0002</b>	0,12	0,7271	0,05	0,8227
IS Prędkość kroku [%]	0,76	0,3894	0,32	0,5732	1,16	0,2889

Wyniki analizy post-hoc zawarte w tabeli Tabela 12.) wskazują na znaczące różnice między niektórymi grupami w zakresie czasu biegu na 30 m, długości kroku, częstotliwości kroku, fazy lotu oraz czasu pojedynczego kroku. Najbardziej znaczące różnice dotyczą: czasu biegu 30 m między grupami "Elita szybki" i "Sub-elita szybki" oraz "Elita wolny" i "Sub-elita wolny"; długości kroku między "Elita wolny" a "Sub-elita wolny"; częstotliwości kroku między "Elita szybki" i "Sub-elita szybki" oraz "Elita wolny" i "Sub-elita wolny"; fazy lotu między "Elita szybki" a "Sub-elita szybki"; czasu pojedynczego kroku między "Elita szybki" i "Sub-elita szybki". Brak istotnych różnic w prędkości kroku i czasie kontaktu.

*Tabela 12. Wyniki testów post-hoc według Bonferroniego dla porównań parami indeksów symetrii parametrów kinematycznych w grupach elity i sub-elity w biegu na 30 metrów (prędkości maksymalnej),  $p < 0.05$*

Zmienna \ Efekt	Elita szybki x Elita wolny	Sub-elita szybki x Sub-elita wolny	Elita szybki x Sub-elita szybki	Elita wolny x Sub-elita wolny
	p	p	p	p
Czas biegu 30 m [s]	1,0000	1,0000	<b>0,0019</b>	<b>0,0031</b>
IS długość kroku [%]	1,0000	1,0000	0,1163	<b>0,0074</b>
IS częstotliwość kroku [%]	1,0000	1,0000	<b>0,0166</b>	<b>0,0191</b>
IS czas kontaktu [%]	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
IS faza lotu [%]	1,0000	1,0000	<b>0,0171</b>	0,0651
IS Czas pojedynczego kroku [%]	1,0000	1,0000	<b>0,0225</b>	0,0987
IS Prędkość kroku [%]	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

#### IV 2.2. Regresja krokowa wsteczna

W Tabeli 13. przedstawiono wyniki regresji krokowej wstecznej dla zmiennych kinematycznych, gdzie IS oznacza indeks symetrii (Analizę przeprowadzono dla różnych warunków: bieg wolny i szybki z podziałem na 20 metrów (przyspieszenie startowe) i 30 metrów (prędkość maksymalna). Wyniki uwzględniają wartość współczynnika regresji (b), wartość p, oraz współczynnik determinacji ( $R^2$ ). Wartości asymetrii dla danych grup i parametrów mają negatywny lub pozytywny wpływ na uzyskany czas w trakcie wybranej fazy biegu.

Skupiając uwagę na biegu wolnym na 20 metrów w grupie elity można stwierdzić, że wymienione indeksy symetrii: długości kroku, częstotliwości kroku, czasu kontaktu, prędkość kroku są istotne statystycznie ( $p < 0.05$ ) i wpływają na czas biegu wolnego na 20 metrów. Długość kroku, częstotliwość kroku oraz czas kontaktu mają pozytywny wpływ na czas, natomiast prędkość kroku wpływa negatywnie na czas. Natomiast w grupie sub-elity indeksy symetrii długości kroku oraz czas kontaktu są istotne statystycznie i mają wpływ na czas biegu wolnego na 20 metrów. Długość kroku wpływa pozytywnie, natomiast czas kontaktu oraz faza lotu mają negatywny wpływ na czas biegu. W trakcie biegu szybkiego na odcinku 20 metrów w przypadku elity tylko czas kontaktu jest istotny statystycznie i ma wpływ na czas biegu szybkiego na 20 metrów. Jego wpływ jest pozytywny. W przypadku sub-elity regresja nie wykazała żadnego istotnie statystycznego parametru w szybkim biegu na 20 m.

Analizując odcinek 30 metrów w biegu wolnym dla elity nie wykazano istotności dla żadnego z indeksów symetrii parametrów kinematycznych. Natomiast dla grupy sub-elity również w biegu wolnym na 30 metrów indeksy symetrii: długości kroku, częstotliwości kroku, czasu kontaktu, fazy lotu oraz prędkości kroku są istotne statystycznie. Długość kroku, częstotliwość kroku oraz prędkość kroku wpływają negatywnie na czas, natomiast czas kontaktu oraz faza lotu mają pozytywny wpływ. Biorąc pod uwagę odcinek 30 metrów dla biegów szybkich, w grupie elity dwa indeksy symetrii był istotnie statystycznie. Był to indeks symetrii długości kroku oraz częstotliwości krok. Pierwszy z nich wpłynął negatywnie, a drugi pozytywnie na wynik. W grupie sub-elity w biegu szybkim na 30 metrów jedynym istotnym parametrem był indeks symetrii czasu kontaktu, który miał pozytywny wpływ na wynik.

Tabela 13. Wyniki regresji krokowej dotyczącej indeksów symetrii parametrów kinematycznych na dystansach 20 (przyspieszenia startowego) i 30 metrów (prędkości maksymalnej) dla elity i sub-elity,  $p < 0.05$

	Zmienne	Elita				Zmienne	Sub-elita			
		20 metrów					20 metrów			
		b	p	R <sup>2</sup>	p		b	p	R <sup>2</sup>	p
Bieg wolny	Wyraz wolny	<b>2,3423</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,9544</b>	<b>0,0015</b>	Wyraz wolny	<b>2,5858</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,8155</b>	<b>0,0088</b>
	IS Długość kroku	<b>0,0321</b>	<b>0,0007</b>			IS Długość kroku	<b>0,0173</b>	<b>0,0278</b>		
	IS Częstotliwość kroku	<b>0,1079</b>	<b>0,0003</b>			IS Czas kontaktu	<b>-0,0196</b>	<b>0,0113</b>		
	IS Czas kontaktu	<b>0,0191</b>	<b>0,0004</b>			IS Faza lotu	<b>-0,0070</b>	<b>0,0126</b>		
	IS Prędkość kroku	<b>-0,0810</b>	<b>0,0003</b>							
Bieg szybki	Wyraz wolny	<b>2,2049</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,5686</b>	<b>0,0115</b>	brak istotności				
	IS Czas kontaktu	<b>0,0435</b>	<b>0,0115</b>							
	Zmienne	Elita				Zmienne	Sub-elita			
		30 metrów					30 metrów			
		b	p	R <sup>2</sup>	p		b	p	R <sup>2</sup>	p
Bieg wolny	brak istotności					Wyraz wolny	<b>3,0029</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,9393</b>	<b>0,0114</b>
						IS Długość kroku	<b>-0,0430</b>	<b>0,0136</b>		
						IS Częstotliwość kroku	<b>-0,0370</b>	<b>0,0331</b>		
						IS Czas kontaktu	<b>0,0628</b>	<b>0,0025</b>		
						IS Faza lotu	<b>0,0389</b>	<b>0,0053</b>		
						IS Prędkość kroku	<b>-0,0370</b>	<b>0,0299</b>		
Bieg szybki	Wyraz wolny	<b>2,9151</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,5485</b>	<b>0,0388</b>	Wyraz wolny	<b>2,9914</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,3718</b>	<b>0,0478</b>
	IS Długość kroku	<b>-0,0164</b>	<b>0,0183</b>			IS Czas kontaktu	<b>0,0247</b>	<b>0,0478</b>		
	IS Częstotliwość kroku	<b>0,0167</b>	<b>0,0238</b>							

### IV 2.3. Profile asymetrii

Tabela 14. przedstawia wyniki testów statystycznych oceniających równoległość (Parallelism), poziom (Level) i płaskość (Flat) profili dla wybranych faz biegu, czyli dla 20 metrów (przyspieszenie startowe) oraz 30 metrów (prędkość maksymalna) z podziałem na bieg wolny i szybki oraz na grupę elity i sub-elity.

Biorąc pod uwagę analizę profilową PAM możemy stwierdzić, że w przypadku biegu wolnego na 20 metrów i interpretacji wyników wartość Wilksa (0.5345) oraz test F (2.09) wskazują na brak istotności ( $p=0.1371$ ), co sugeruje, że nie ma istotnych różnic w profilach czasowych dla tego dystansu przy niskiej prędkości. Jednak interakcje między grupami są istotne ( $F=4.80$ ,  $p=0.0121$ ), co oznacza, że różnice mogą pojawiać się w interakcjach między zmiennymi. Profile nie są równoległe, ale różnice nie są istotne statystycznie. Wskazuje to na zmienność w odpowiedziach, ale różnice nie są znaczące. W przypadku poziomym brak istotnych różnic, sugeruje podobne ogólne wyniki między grupami. Analizując płaskość, istotne różnice wskazują na zmienność w wydajności grup w różnych warunkach w ramach tej zmiennej.

W przypadku biegu szybkiego na 20 metrów wartość Wilksa (0.7060) oraz test F (1.00) również wskazują na brak istotności ( $p=0.4584$ ). Jednakże, wartości interakcji między grupami ( $F=7.10$ ,  $p=0.0026$ ) są znaczące, co sugeruje, że przy wyższych prędkościach występują istotne różnice w profilach czasowych między badanymi grupami. Profile są równoległe, brak istotnych różnic. Sugeruje to spójne wzorce wśród grup. Brak istotnych różnic w poziomach, wskazujące na podobne ogólne wyniki. Istotne różnice w płaskości, wskazują na zmienność w wydajności grup w warunkach szybkiego biegu.

Dla biegu wolnego na 30 metrów Wilks' Lambda wynosi 0.7440, co sugeruje, że znacząca część wariacji nie jest wyjaśniona przez model równoległości. Wartość F (0.83) oraz ( $p=0.5550$ ) wskazują, że różnice w równoległości profili między grupami nie są statystycznie istotne. Wyniki wskazują, że istnieje istotna różnica w poziomie średnich wartości zmiennych kinematycznych między grupami. Wysoka wartość F (12.00) oraz niska  $p$  (0.02930) sugerują, że ogólna wysokość profilu (średnie wartości zmiennych) różni się znacząco między grupami. Wartość F (4.54) oraz  $p$  (0.0148) wskazują, że różnice w płaskości profili są statystycznie istotne. Oznacza to, że zmienne kinematyczne w ramach każdej grupy nie są do siebie podobne. Istnieją znaczące różnice między zmiennymi w jednej



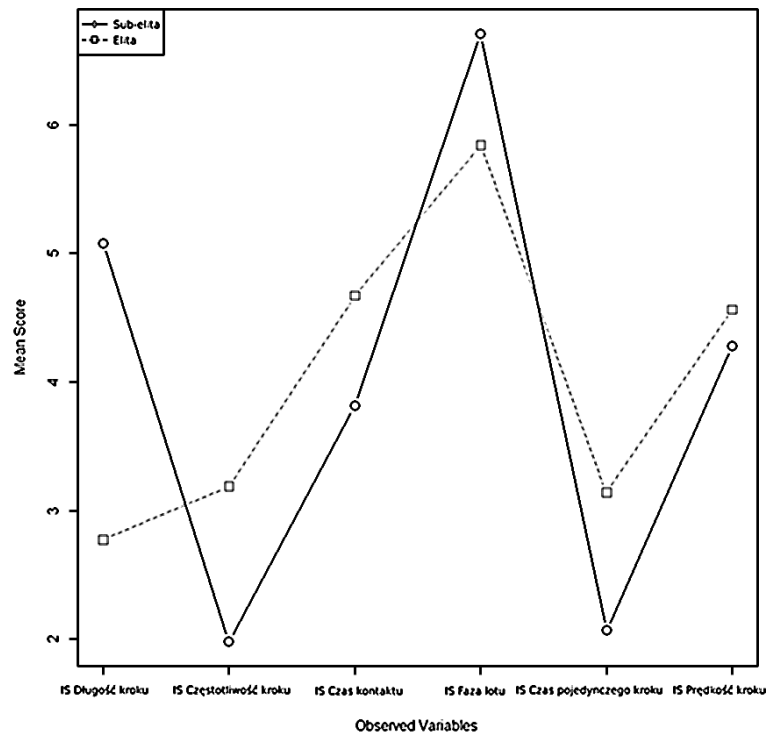
lub obu grupach. Profil nie jest płaski, co sugeruje, że poszczególne parametry kinematyczne wykazują różne wartości.

Dla szybkiego biegu na 30 m, wartość Wilksa (0.6536) oraz test F (1.27) wskazują na brak istotnych różnic ( $p=0.3375$ ). Interakcje między grupami ( $F=2.78$ ,  $p=0.0678$ ) są bliskie istotności, co może sugerować pewne różnice, które warto by było bliżej zbadać. Profile są równoległe, brak istotnych różnic. Sugeruje to spójne wzorce wśród grup. Brak istotnych różnic w poziomach wskazuje na podobne wyniki. Różnice w płaskości są bliskie istotności, co sugeruje pewną zmienność w wydajności.

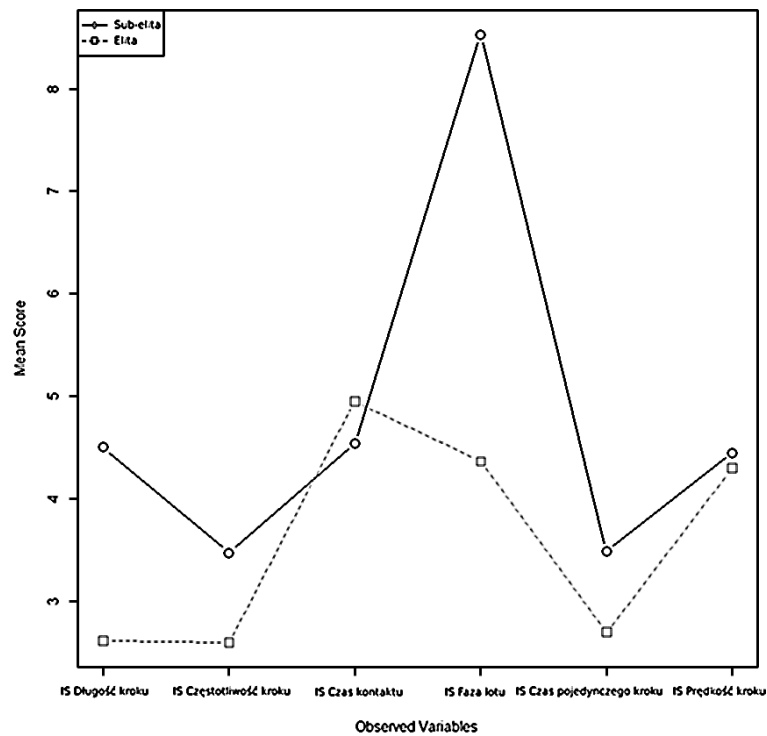
*Tabela 14. Analiza profilowa PAM indeksów symetrii parametrów kinematycznych dystansach 20 (przyspieszenia startowego) i 30 metrów (prędkości maksymalnej) dla Elity i Sub-elity,  $p < 0.05$*

Bieg	Równoległość						Poziom				Płaskość			
	Test	Statistic	F	n.df1	d.df1	p	SS	MS	F	p	F	df1	df2	p
20 m wolny	Wilks	0,5345	2,09	5	12	0,1371	0,01	0,01	0,0	0,9670	4,80	5	12	<b>0,0121</b>
20 m szybki	Wilks	0,7060	1,00	5	12	0,4584	6,95	6,95	2,0	0,1800	7,10	5	12	<b>0,0026</b>
30 m wolny	Wilks	0,7440	0,83	5	12	0,5550	4,53	4,53	1,2	0,2930	4,54	5	12	<b>0,0148</b>
30 m szybki	Wilks	0,6536	1,27	5	12	0,3375	0,23	0,23	0,1	0,7650	2,78	5	12	0,0678

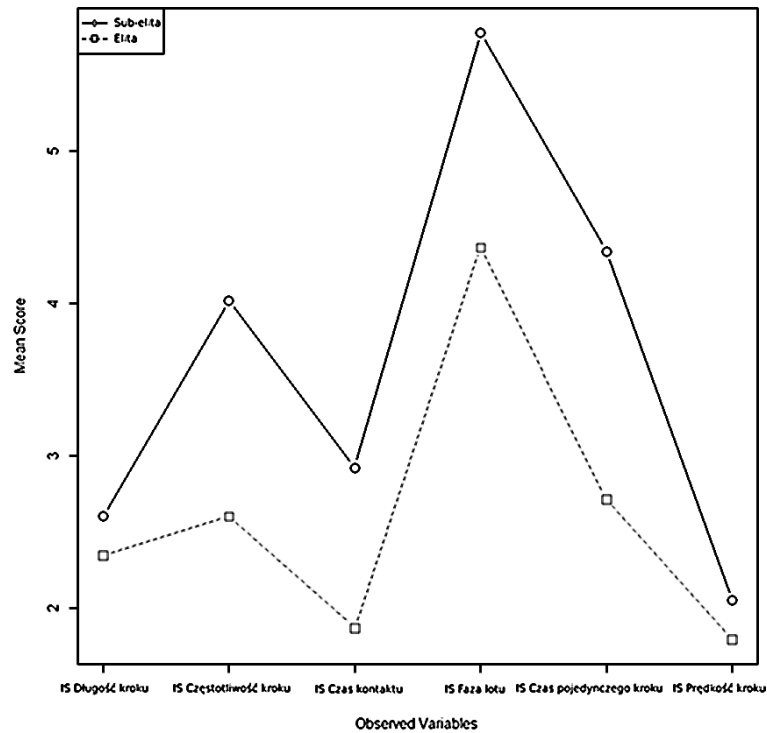
Wykres 7. Analiza profilowa PAM indeksów symetrii parametrów kinematycznych dla biegu wolnego 20 metrów (przyspieszenie startowe) dla elity i sub-elity



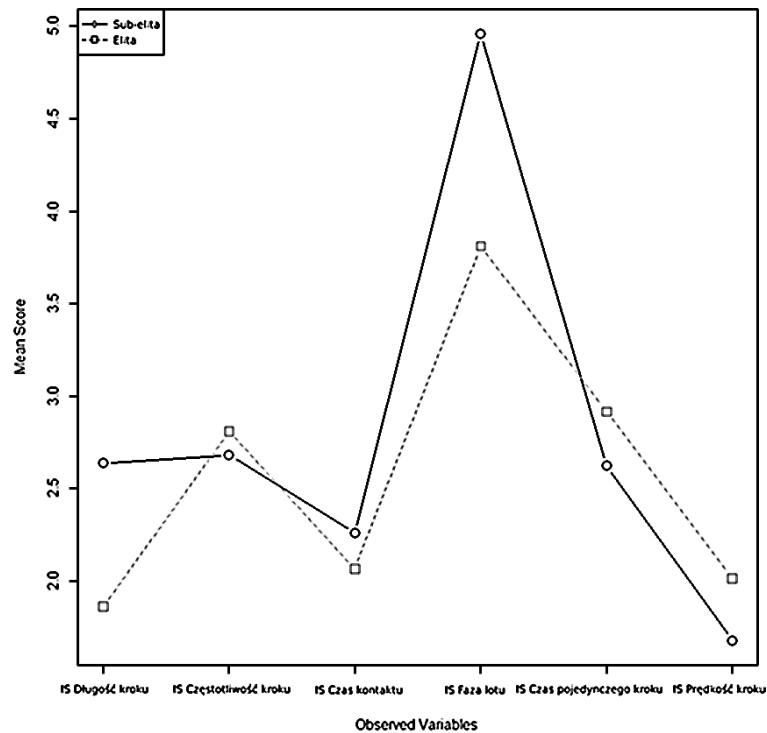
Wykres 8. Analiza profilowa PAM indeksów symetrii parametrów kinematycznych dla biegu szybkiego 20 metrów (przyspieszenie startowe) dla elity i sub-elity



Wykres 9. Analiza profilowa PAM indeksów symetrii parametrów kinematycznych dla biegu wolnego 30 metrów (prędkość maksymalna) dla elity i sub-elity



Wykres 10. Analiza profilowa PAM indeksów symetrii parametrów kinematycznych dla biegu szybkiego 30 metrów (prędkość maksymalna) dla elity i sub-elity



### V 3. Ograniczenia

W badaniu użyto startu z pozycji wysokiej, która bardziej odpowiada zadaniom treningowym w kształtowaniu szybkości, zamiast tradycyjnego startu z bloków. Start z bloków angażuje inne grupy mięśniowe oraz dynamikę ruchu w porównaniu do startu z pozycji wysokiej. Te różnice mogą wpłynąć na pomiar asymetrii funkcjonalnej, ponieważ sprinterzy mogą wykazywać inne wzorce ruchowe i asymetrie w obu sytuacjach. Wyniki uzyskane w badaniu mogą więc nie odzwierciedlać rzeczywistej asymetrii funkcjonalnej podczas zawodów, gdzie start z bloków jest standardem.

Zawodnicy rozpoczynali bieg w dowolnym momencie, co eliminowało pomiar czasu reakcji na bodziec startowy. W sprincie czas reakcji na bodziec startowy jest kluczowy i może wpływać na dynamikę całego biegu. Brak uwzględnienia tego czynnika może prowadzić do zniekształcenia wyników pomiarów asymetrii, gdyż zawodnicy mogą startować w bardziej komfortowym dla siebie momencie, co nie odzwierciedla warunków zawodów.

Sprzęt pomiarowy wystarczył jedynie na dystans 50 metrów. Sprinty zazwyczaj odbywają się na dystansie 60 metrów lub więcej, co oznacza, że pełne rozwinięcie szybkości i asymetrii funkcjonalnej może nie być w pełni obserwowane na krótszym odcinku. Na dystansie 50 metrów sprinterzy mogą jeszcze nie osiągnąć maksymalnej prędkości, a ich wzorce ruchowe mogą różnić się od tych na dłuższych dystansach. To ograniczenie może prowadzić do niepełnych lub nieadekwatnych danych dotyczących asymetrii, aczkolwiek bieg na 50 metrów z pozycji wysokiej jest bardzo często stosowany na treningach jako środek kształtowania szybkości. Zawodnicy startujący z pozycji wysokiej dzięki temu mogą osiągnąć prędkość maksymalną zdecydowanie wcześniej aniżeli ze startu z bloków.

W badaniu zmierzono jedynie masę, wysokość ciała i BMI, bez pomiarów siły kończyn dolnych, które mogłyby wytłumaczyć asymetrię. Pomiar siły kończyn dolnych jest kluczowy dla zrozumienia asymetrii funkcjonalnej, ponieważ różnice w sile mogą wpływać na efektywność i technikę biegu. Brak tych danych ogranicza możliwości interpretacji wyników i identyfikacji potencjalnych przyczyn asymetrii. Dodatkowo, obszerniejsze pomiary antropometryczne, takie jak długość kończyn czy obwody mięśniowe mogłyby dostarczyć bardziej kompleksowego obrazu fizycznych uwarunkowań asymetrii.

## VI WNIOSKI – PRAKTYCZNA APLIKACJA

Przeprowadzone badania oraz obszerna analiza wyników, poprzez zaawansowane metody statystyczne, pozwoliły wyciągnąć z eksperymentu następujące wnioski:

1. Biegi sprinterskie na 50 m wykazały występowanie asymetrii funkcjonalnej (parametry kinematyczne) kroku biegowego zarówno wśród elity, jak i subelity sprinterów. Mniejszą asymetrię wykazali zaawansowani sprinterzy – seniorzy.
2. Asymetria funkcjonalna parametrów kinematycznych kroku biegowego głównie odnosiła się do długości kroku, jak również jego częstotliwości, ze szczególnym uwzględnieniem czasu fazy podporowej. Dotyczyło to obu grup.
3. Uwzględniając podział na bieg szybki i wolny (wartość rozwijanej prędkości), większa asymetria występowała w biegu wolniejszym w obu grupach zawodników. Bardziej symetryczny był bieg szybszy.
4. W biegu sprinterskim na 50 m z podziałem na poszczególne fazy, większą asymetrią wykazała się faza przyspieszenia startowego (4,1%) w porównaniu do fazy prędkości maksymalnej (2,9%). Wyniki te dotyczą obu grup. Na czas pokonania przyspieszenia, istotny wpływ miała wielkość asymetrii długości i częstotliwości kroku. Z kolei na czas przebiegnięcia fazy maksymalnej prędkości (30 m) istotny wpływ miała asymetria częstotliwości kroku.

Istotnym elementem oceny skuteczności programu treningowego w biegach krótkich powinna być całoroczna kompleksowa analiza parametrów kinematycznych biegu z uwzględnieniem indeksów symetrii lub asymetrii. W związku z tym, praktyczna aplikacja w procesie treningowym, której celem będzie zmniejszenie asymetrii funkcjonalnej (kinematycznej) w biegach krótkich powinna zakładać:

1. Regularne monitorowanie kinematyki kroku biegowego może pomóc w identyfikacji i określeniu wielkości asymetrii. Pozwoli to na wprowadzenie treningu korygującego, co wpłynie na optymalizację techniki biegu, nie tylko sprinterskiego.
2. Trening sprinterski powinien koncentrować się na poprawie asymetrii (zmniejszenie różnic) długości i częstotliwości kroku oraz czasu kontaktu z podłożem, między lewą a prawą kończyną dolną. W tym celu należy wykorzystać ćwiczenia promujące bardziej symetryczne wzorce ruchowe kroku biegowego: skipy, wieloskoki oraz trening plyometryczny.
3. Trening powinien mieć charakter zindywidualizowany w zależności od poziomu zaawansowania technicznego zawodnika oraz zdiagnozowanej wielkości asymetrii funkcjonalnej.
4. Trening powinien być dostosowany do specyficznych wymagań różnych faz biegu sprinterskiego. W fazie przyspieszenia koncentrujemy się na symetrii długości kroku i czasu kontaktu stopy z podłożem, podczas gdy w fazie prędkości maksymalnej istotna jest symetria częstotliwości kroku.

## VII LITERATURA

1. Aliosmanoğlu B, Köçkar Ç. Üniversite Öğrencilerinde El Tercihinin ve Dominant Gözün Bazı Hastalıklar ile İlişkisi (The Relationship of Hand Dominance and Dominant Eye to Some Diseases of University Students). *Eur J Basic Med Sci*, 2014;4(3), 53-57.
2. Bissas, A., i wsp. "Asymmetry in sprinting: an insight into sub-10 and sub-11 s men and women sprinters." *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 32.1 (2022): 69-82.
3. Burkett LN. Causative factors in hamstring strains. *Med Sci Sports Exerc.* 1970; 2(1), 39-42.
4. Coh, M.; Bačić, V.; Mackala, K. Biomechanical, neuromuscular and methodical aspects of running speed development. *J. Hum. Kinet.* 2010, 26, 73–81.
5. Exell T, Irwin G, Gittoes M, Kerwin D. Strength and performance asymmetry during maximal velocity sprint running. *Scand J Med Sci Sports.* 2017;27:1273–1282.
6. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods.*2007; 39, 175-191.
7. Haugen T, Danielsen J, McGhie D, Sandbakk Ø, Ettema G. Kinematic stride cycle asymmetry is not associated with sprint performance and injury prevalence in athletic sprinters. *Scand J Med Sci Sports.* 2018; 28:1001–1008
8. Haugen, T., McGhie, D., & Ettema, G. 2019. Sprint running: From fundamental mechanics to practice—A review. *European journal of applied physiology*, 119(6), 1273-1287
9. Haugen, T., Seiler, S., Sandbakk, Ø., & Tønnessen, E. 2019. The training and development of elite sprint performance: an integration of scientific and best practice literature. *Sports medicine-open*, 5(1), 44.
10. Jousté, P., Mero, A. 2016. 100 m juoksun lajianalyysi ja valmennuksen ohjelmointi. In the book of Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S., Häkkinen, K. 2016. *Huippuurheiluvammennus*. First edition. Lahti. VK Kustannus Oy, 389-411

11. Majumdar, Aditi S., Robert A. Robergs. "The science of speed: Determinants of performance in the 100 m sprint." *International Journal of Sports Science & Coaching* 6.3 (2011): 479-493.
12. Mero, A., Komi, P.V., Gregor, R. 1992. Biomechanics of sprint running. *Sports Medicine*, 13(6); 376–392
13. Rocheford, E.C, DeVoe, D.E. & Reiser, R.F (2006). Effect of previous unilateral injuries on ground reaction force bilateral asymmetries during static lifting and standing. *J Hum Mov Stud* 51: 403–424
14. Selim, A. S. A. N. " Investigation of the relationship between lower extremity balance asymmetry and acceleration, speed and agility performance in healthy individuals." *International Journal of Education Technology and Scientific Research* 8.23 (2023): 1329-1354.
15. Taylor MJD, Beneke R. Spring mass characteristics of the fastest men on earth. *Sports Med.* 2012; 33:667–470.
16. Vagenas G., Hoshizaki B..(1992). A multivariable analysis of lower extremity kinematic asymmetry in running. *Journal of Applied Biomechanics*, t.8, nr 1, pp. 11-29, 1992.
17. Zifchock RA, Davis I, Higginson J, Royer T. The symmetry angle: a novel, robust method of quantifying asymmetry. *Gait Posture.* 2008; 27:622–627.

Pełna wersja rozprawy doktorskiej zawiera 143. pozycje bibliografii zawierającej źródła polskie oraz międzynarodowe.



