

**AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
im. JERZEGO KUKUCZKI W KATOWICACH**

PATRÍCIA FISCHEROVÁ

**WPŁYW ASYMETRII SIŁY I MOCY MIĘŚNIOWEJ
KOŃCZYN DOLNYCH NA SZYBKOŚĆ
WIELOKIERUNKOWĄ PIŁKAREK NOŻNYCH**

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

Promotor naukowy:
prof. dr hab. Adam Maszczyk

KATOWICE 2023

Spis treści

Wprowadzenie	4
1. Cel pracy i pytania badawcze	5
2. Materiał i metody badawcze	6
2.1. Materiał badawczy	6
2.2. Metody badawcze	8
2.3. Narzędzia analizy statystycznej	17
3. Wyniki.....	19
3.1. Analizy wstępne – statystyka opisowa oraz korelacje zmiennych pomiędzy procentowymi asymetriami siły i mocy mięśniowej KD, a wynikami testów szybkościowych wszystkich badanych	19
3.2. Różnice między grupami G1 i G2 w asymetrii siły i mocy mięśniowej KD.....	20
3.3. Analiza różnic w prędkości biegowej pomiędzy grupami o różnym poziomie asymetrii siły i mocy mięśniowej KD G1 i G2.....	23
3.3.1. Różnice w szybkości wielokierunkowej pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonymi w teście WJWG	23
3.3.2. Różnice w szybkości wielokierunkowej pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonymi w teście SJWB	25
3.3.3. Różnice w szybkości wielokierunkowej pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonych w teście WJ.....	28
3.3.4. Różnice w szybkości wielokierunkowej pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonych w teście PJ	31
3.4. Analiza korelacji pomiędzy procentem asymetrii siły i mocy mięśniowej KD a wynikami testów szybkościowych w grupach G1 i G2	33
4. Podsumowanie	35
5. Wnioski.....	36
Bibliografia autoreferatu	37

Oznaczenia i skróty używane w pracy

1RM – 1 powtórzenie maksymalne

ASY – asymetria siły i mocy mięśniowej

ATP – adenozyntrifosforan

cm – centymetr

df – ang. *degree of freedom*, stopnie swobody

DJ – ang. *drop jump*, skok po zeskoku

F – ang. *force*, siła

FFM – ang. *fat free mass* – beztłuszczowa masa ciała

FIFA – fr. *Fédération Internationale de Football Associatio* – Międzynarodowa Federacja Piłki Nożnej

G1 – grupa niezróżnicowana w sile i mocy pomiędzy prawą i lewą kończyną dolną

G2 – grupa zróżnicowana względem siły i mocy pomiędzy prawą i lewą kończyną dolną

in. – inni

kg – kilogram

KD – kończyny dolne

km/h – kilometr na godzinę

LKD – lewa kończyna dolna

m – metr

M – ang *mean*, średnia

ms – milisekunda

m/s – metr na sekundę

N – niuton

np. – na przykład

p – poziom istotności

Pmax – ang. *power*, moc maksymalna

PCr – fosfokreatyna

PJ – przysiad jednonóż

PKD – prawa kończyna dolna

PZPN – Polski Związek Piłki Nożnej

r – współczynnik korelacji Pearsona

s – sekundy

SD – ang. *standard deviation*, odchylenie standardowe

SEM – ang. *standard error of mean*, błąd standardowy

SJWB – skok jednonóż w bok

V – współczynnik zmienności

W – watt

WJ – wypychanie ciężaru jednonóż

WJWG – wyskok jednonóż w górę

\bar{x} – średnia wartość zmienne

Wprowadzenie

Niniejsza dysertacja porusza tematykę asymetrii siłowej mięśni kończyn dolnych i jej wpływu na szybkość wielokierunkową profesjonalnych piłkarek nożnych.

Większość czynności w piłce nożnej realizowana jest asymetryczną pracą kończyn dolnych (KD) (bieg, sprint, hamowanie, uderzenie piłki, skok i lądowanie). Kończyny dolne są nierównomiernie obciążane, ponieważ zawodnik używa jednej kończyny dolnej do uderzania czy prowadzenia piłki, a drugiej do stabilizacji pozycji.

Należy zauważyć, iż około 80% zawodniczek uczestniczących w oficjalnych krajowych rozgrywkach deklaruje prawonożność i to tej kończyny częściej używa w meczu (Żuk i in. 2019; Bishop i in. 2020; Nakahira i in. 2022). Na ME kobiet w 2009 aż 66,1% strzałów na bramkę wykonano prawą kończyną dolną, a 33,9% lewą kończyną dolną (Bergier i Niewolna 2012). Jednak asymetria pracy, czyli częstsze obciążanie nogi dominującej, może powodować problemy techniczne w postaci słabego wkładu siły i uderzenia piłki nogą nie preferowaną (Hart i in. 2014), zdrowotne, gdyż przy ponad 15% różnicy w sile mięśniowej pomiędzy kończynami zwiększa ryzyko urazu nogi słabszej lub przeciążenie nogi preferowanej (Chalmers i in. 2018; Raya-González i in. 2021) i motoryczne w postaci obniżenia sprawności fizycznej. Według doniesień literaturowych asymetria siły i mocy mięśniowej KD większa niż 8% może potencjalnie wpływać na wynik sportowy (Bishop i in. 2018) w postaci obniżenia wysokości wyskoku (Bell i in. 2014), obniżenia prędkości biegu podczas sprintu po linii prostej (Bishop i in. 2019 a, 2021 a) czy obniżenia prędkości biegu ze zmianą kierunku (Maloney i in. 2017; Bishop i in. 2021 d).

Natomiast istnieją badania, w których nie zaobserwowano związku pomiędzy asymetrią siły i mocy mięśniowej KD, a szybkością wielokierunkową, taką jak sprint po linii prostej (Lockie i in. 2014; Işın i in. 2022; Bishop i in. 2022 b) lub bieg ze zmianą kierunku (Hoffman i in. 2007; Dos' Santos i in. 2017, 2018; Loturco i in. 2019; Pardos-Mainer i in. 2021).

Z dotychczas przeprowadzonych badań dotyczących asymetrii nie można wyciągnąć konkluzyjnych wniosków (Bell i in. 2014; Raya-Gonzalez i in. 2021). Sam fakt wystąpienia asymetrii dostarcza ograniczone informacje na temat tego, czy różnica w sile i mocy mięśniowej między kończynami ma szkodliwy wpływ na sprawność fizyczną czy nie, czy te różnice należy korygować podczas treningu, oraz czy mogą osłabiać sprawność fizyczną i czy stanowią problem w uprawianiu danej dyscypliny sportowej.

1. Cel pracy i pytania badawcze

Celem pracy było zbadanie i określenie wpływu asymetrii siły i mocy mięśniowej pomiędzy prawą i lewą kończyną dolną na prędkość biegu po linii prostej i ze zmianą kierunku biegu (szybkość wielokierunkową) piłkarek nożnych.

Realizację tak sformułowanego celu badań sprowadzono do poszukiwania odpowiedzi na poniższe pytania:

1. Czy występują zależności pomiędzy asymetrią siły i mocy mięśniowej KD a szybkością wielokierunkową w badanej grupie zawodniczek?
2. Czy istnieją różnice w osiąganych wartościach prędkości biegu po linii prostej pomiędzy grupami o większej a o mniejszej asymetrii siły i mocy mięśniowej KD?
3. Czy istnieją różnice w osiąganych wartościach prędkości biegu ze zmianą kierunku między grupami o większej a o mniejszej asymetrii siły i mocy mięśniowej KD?
4. Czy zaobserwowane istotne różnice pomiędzy testami szybkości wielokierunkowej w aspekcie analizowanych grup są równocześnie istotnie skorelowane z procentowymi wynikami asymetrii siły i mocy mięśniowej KD w tych grupach?

Hipotezy badawcze:

1. Asymetria siły i mocy mięśniowej KD wpływa na szybkość wielokierunkową w badanej grupie zawodniczek.
2. Występują różnice w prędkości biegu po linii prostej pomiędzy grupami o większej a o mniejszej asymetrii siły i mocy mięśniowej KD.
3. Występują różnice w prędkości biegu ze zmianą kierunku pomiędzy grupami o większej a o mniejszej asymetrii siły i mocy mięśniowej KD.
4. Otrzymane różnice w testach szybkości wielokierunkowej w grupach badanych korelują z procentowymi wartościami asymetrii siły i mocy mięśniowej KD w tych grupach.

2. Materiał i metody badawcze

2.1. Materiał badawczy

Testy wykonano w Pracowni Siły i Mocy Mięśniowej oraz na hali sportowej Akademii Wychowania Fizycznego im. J. Kukuczki w Katowicach. W badaniu wzięło udział 50 prawonóżnych piłkarek nożnych, występujących w ekstralidze. Z powodu wprowadzonych kryteriów wyłączenia w toku badań wykluczono 20 zawodniczek. Ostatecznie do analizy zakwalifikowano wyniki uzyskane przez 30 badanych. Charakterystykę badanych przedstawiono w Tabeli 1. Zawodniczki zostały poinformowane, że na każdym etapie eksperymentu mogą odmówić dalszego udziału bez podania przyczyny. Wykonywane testy nie zagrażały zdrowiu uczestników, a badania były nieinwazyjne.

Kryteria włączenia do grupy badanej:

- udział w rozgrywkach organizowanych na poziomie najwyższej klasy rozgrywkowej w Polsce
- kwalifikacja lekarska potwierdzająca brak zaburzeń nerwowo-mięśniowych i mięśniowo-szkieletowych,
- minimalnie 60% rozegranych meczów w ekstralidze przez ostatnie 2 lata
- płeć żeńska
- regularny cykl menstruacyjny
- dominująca prawa kończyna dolna

Kryteria wyłączenia z grupy badanej:

- dominująca lewa kończyna dolna
- piłkarski staż treningowy w Ekstralidze poniżej 3 lat
- wiek poniżej 20
- urazy aparatu ruchu w ostatnich dwunastu miesiącach
- dolegliwości bólowe spowodowane miesiączką (deklaracja ustna)

Zawodniczki poproszono o zachowanie dotychczasowych nawyków żywieniowych oraz prawidłowej higieny snu przez cały czas trwania badania. Poproszono je również o niestosowanie żadnych suplementów ani stymulantów przez 24 godziny przed sesjami. Uczestniczki testowane zostały poinformowane o protokole i przebiegu badań, a następnie wyraziły pisemną zgodę na uczestnictwo. Udział w eksperymencie był dobrowolny i na każdym

z jego etapów zawodniczki mogły zrezygnować. Protokół badań został zaakceptowany przez Uczelnianą Komisję Bioetyczną ds. Badań Naukowych Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach (Uchwała Komisji Bioetycznej nr 3/2021).

Procentową różnicę siły i mocy względnej między KD uzyskanej z testów siłowych ustalono za pomocą przedstawionej procedury (Impellizzeri i in. 2007; Fort-Vanmeerhaeghe i in. 2015, 2016; Lockie i in. 2016; Madruga-Parera i in. 2019):

$$\text{MODUŁ. LICZBY } [(PKD - LKD) \div PKD] \times 100$$

gdzie:

PKD – prawa kończyna dolna

LKD – lewa kończyna dolna

Formułę Moduł Liczby zastosowano w celu uniknięcia ujemnego wyniku i sprawdzenia wyłącznie różnicy siły i mocy względnej pomiędzy KD, a nie dominancie jednej z nich. W celu dalszej analizy określono próg podziału randomizacyjnego do dwóch grup:

G1 – grupa o mniejszej asymetrii siły i mocy mięśniowej

G2 – grupa o większej asymetrii siły i mocy mięśniowej

Wartość progową, która kwalifikowała do grupy wyznaczono ze wzoru (Lockie i in. 2014; Dos'Santos i in. 2017, 2018):

$$\text{MEAN} + (0,2 \times \text{SD})$$

Wynik mniejszy lub równy wartości progowej określał grupę G1 „o mniejszej asymetrii”, a wynik powyżej progu określał grupę G2 „o większej asymetrii”.

Podkreślić należy, że wielkość asymetrii w żaden sposób nie pozwala określić, jakie wyniki siły i mocy mięśniowej osiągały zawodniczki. Badano jedynie wpływ różnic siły i mocy mięśniowej pomiędzy KD. W zależności od zastosowanego testu badającego siłę i moc pojedynczej kończyny, otrzymywano odmienne wartości. Dlatego część zawodniczek była w zależności od testu kwalifikowana raz do grupy G1 a raz do G2. Charakterystykę badanych zebrano w Tabeli 1, a licznosci grup G1 i G2 w Tabeli 2.

Tabela 1. Charakterystyka grupy badanej (n = 30)

	\bar{x}	SD	V
Wiek [lata]	23	3	9,76
Wysokość ciała [cm]	165,9	5,07	3,05
Masa ciała [kg]	57,58	5,09	8,84
Staż treningowy [lata]	4	0,98	24,56
Poziom tkanki tłuszczowej [%]	15,68	3,7	23,72
Masa mięśniowa [kg]	27,03	2,22	8,22
Beztłuszczowa masa ciała [kg]	48,45	3,73	7,71

\bar{x} – średnia wartość zmiennej; SD – odchylenie standardowe; V – współczynnik zmienności

Tabela 2. Porównanie liczebności grup G1 i G2 wyłonionych na podstawie testów siły i mocy mięśniowej KD

Grupa	Liczba	Skumul. Liczba	Procent
WJWG			
G1	14	14	46,67
G2	16	30	53,33
SJWB			
G1	14	14	46,67
G2	16	30	53,33
WJ			
G1	16	16	53,33
G2	14	30	46,67
PJ			
G1	16	16	53,33
G2	14	30	46,67

G1 – grupa o mniejszej asymetrii siły i mocy mięśniowej; G2 – grupa o większej asymetrii siły i mocy mięśniowej; WJWG – wyskok jednonóż w górę; SJWB – skok jednonóż w bok; WJ – wypychanie ciężaru jednonóż; PJ – przysiad jednonóż

2.2. Metody badawcze

Materiał zebrano w dwóch okresach pomiarowych. Były to okres przygotowawczy zimowy (30 osób podzielono na dwie grupy 15 osobowe, pierwsza grupa 1 i 4 dzień w tygodniu, druga grupa 2 i 5 dzień w tygodniu) i letni (20 osób podzielono na dwie 10 osobowe grupy, pierwsza grupa 1 i 4 dzień w tygodniu, druga grupa 2 i 5 dzień w tygodniu). Każda uczestniczka wykonała ten sam protokół testowy.

W pierwszy dzień sesji zapoznano uczestniczki z przebiegiem poszczególnych testów sprawności fizycznej, dokonano pomiaru parametrów antropometrycznych, ocenę prędkości

biegu po linii prostej i ze zmianą kierunku oraz maksymalnej mocy mięśniowej KD. Analiza poziomu siły i mocy KD została przeprowadzona na drugiej sesji eksperymentalnej. Każda z sesji była wykonywana z 72 godz. przerwą wypoczynkową od treningu oporowego o tej samej porze dnia (między 10:00–11:30). Standaryzowany protokół rozgrzewki poprzedzał każdą sesję badania: 10 min. jazda na cykloergometrze z kadencją między 70–80 obrotów na minutę oraz obciążeniem zewnętrznym pozwalającym generować moc na poziomie 100 W oraz 2 obwody składające się z: krążenia ramion – w przód, w tył; skłonów – w przód, w bok; wypadów – w przód, w bok, w tył; wymachów – w przód, w bok, w tył; przysiadów; po 10 powtórzeń w każdym ćwiczeniu. Następnie w celu zwiększenia pobudzenia nerwowo-mięśniowego każda z uczestniczek wykonała po 2 powtórzenia: 5 m przyspieszenia, hamowania, podskoki, skoki i sprint (Chmura 2014). W dniu rozpoczęcia badania po pomiarach antropometrycznych zawodniczki przystąpiły do rozgrzewki i następnie wykonały testy szybkościowe. Potem po 15 min przerwie wykonały 10 × wypady w bok, w przód, w tył, przysiady, by utrzymać temperaturę ciała, po czym przeprowadzono testy mocy maksymalnej (1RM) podczas wypychania ciężaru jednonóż (WJ) i przysiadu jednonóż (PJ) na urządzeniu Keiser Leg Press (WJ) i później Keiser Squat (PJ) zgodnie z procedurą przedstawioną przez Earle (Earle 2006; Baechle i in. 2008). W takcie drugiego dnia sesji po rozgrzewce zadaniem badanych było przeprowadzić testy siły szczytowej WJWG, SJWB i testy mocy szczytowej WJ i PJ przy obciążeniu zewnętrznym 50% 1RM. Przed rozpoczęciem ćwiczenia zawodniczki otrzymywały sygnał startowy (komenda ustna „GO”) i rozpoczynały ćwiczenie w ciągu 10 sekund.

POMIARY ANTROPOMETRYCZNE

Pomiar masy oraz analizę składu ciała przeprowadzono za pomocą wagi InBody 370 (Biospace, Korea Południowa) wykorzystującej metodę bioimpedancji elektrycznej. Pomiar wysokości ciała dokonano za pomocą stadiometru (ADE MZ10042).

TESTY SIŁY MIĘŚNIOWEJ KOŃCZYN DOLNYCH

Test na platformie dynamometrycznej ForceDecks FD4000 Dual Force Platforms (Vald, Wielka Brytania)

Badanie przeprowadzono na podwójnej platformie dynamometrycznej, gdzie badane wykonały maksymalne wyskoki pionowe jednonóż z zamachem w górę (WJWG) i skoki jednonóż z zamachem w bok (SJWB). Przed testem zostały dokładnie poinstruowane jak wykonać badanie, a następnie wykonały skok próbny w górę i w bok jednonóż na każdą stronę, by zapoznać się z testem.

Protokół skoku WJWG wyglądał następująco: zawodniczki stojąc na platformie, po ustabilizowaniu pozycji wyjściowej na jednej nodze, wykonywały zamach w dół obniżając środek ciężkości ciała i maksymalne odbicie w górę, lądując na platformie tą samą nogą (ruch ramion był dozwolony). Zadaniem badanej było odbić się jak najmocniej i skoczyć jak najwyżej.

SJWB wyglądał następująco: Zawodniczki stojąc na platformie w tej samej pozycji, jak podczas wyskoku w górę, wykonały zamach w dół przez obniżenie środka ciężkości ciała i maksymalne odbicie w bok, lądując obok platformy na drugiej nodze. Zadaniem było odbić się jak najmocniej i skoczyć jak najdalej. Do pomiaru użyto najwyższą wartość z trzech prób w danym skoku. Pomiędzy powtórzeniami zastosowano przerwę 10 sekund, a pomiędzy skokiem PKD, a LKD zastosowano przerwę 3 min. Pomiędzy testami skocznościowymi zastosowano 3–5 minutową przerwę wypoczynkową w celu odbudowy ATP i PCr (Bompa i in. 2013; Ammar i in. 2020).

Oprogramowanie ForceDecks (VALD Performance, Software) pozwoliło na wygenerowanie najwyższej wartości uzyskanej podczas fazy koncentrycznej skoku [F] (siła szczytowa fazy koncentrycznej, ang. *Peak Concentric Force*). Moc szczytowa [P] nie była zarejestrowana, ze względu na brak informacji o prędkości podczas skoku w bok jednonóż, gdyż badana lądowała poza platformą. Siła szczytowa generowana w koncentrycznej fazie ruchu [F] została wyrażona w wartościach uzyskanych z uwzględnieniem FFM [N/kg].

Tabela 3. Parametry opisowe uzyskanych wartości podczas pomiarów diagnostycznych siły względnej wszystkich badanych oraz w grupach G1 i G2

	wszystkie badane razem			G1			G2		
	\bar{x}	SD	V	\bar{x}	SD	V	\bar{x}	SD	V
WJWG									
PKD [N/kg]	25,59	2,81	10,97	25,13	2,78	11,06	25,99	2,86	11,01
LKD [N/kg]	24,84	2,54	10,22	24,9	2,85	11,43	24,8	2,33	9,41
Moduł PKD i LKD	1,48	1,32	89,12	0,42	0,23	54,56	2,42	1,16	48,03
Procent asymetrii	5,98%	5,17	86,44	1,73%	1,01	57,93	9,71%	4,37	45,03
SJWB									
PKD [N/kg]	21,87	2,79	12,74	21,25	2,63	12,36	22,41	2,89	12,9
LKD [N/kg]	21,74	2,69	12,38	21,32	2,76	12,93	22,11	2,67	12,06
Moduł PKD i LKD	1,4	1,24	88,57	0,3	0,2	68,03	2,37	0,9	38,06
Procent asymetrii	6,45%	5,7	88,47	1,43%	1,01	70,45	10,85%	4,24	39,06

\bar{x} – średnia wartość zmiennej; SD – odchylenie standardowe; V – współczynnik zmienności,

Moduł PKD i LKD = wartość bezwzględna różnicy PKD – LKD

Analiza porównawcza statystyk opisowych wykazała, iż podczas pomiaru diagnostycznego siły mięśniowej największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazała w całej badanej grupie siła WJWG PKD (SD = 2,81), w grupie G1 siła WJWG LKD (SD = 2,85) i w grupie G2 siła SJWB PKD (SD = 2,89).

PROTOKÓŁ TESTU 1RM

Test siły maksymalnej 1RM na urządzeniach pneumatycznych Keiser Leg Press i Keiser Squat

Badane rozpoczynały pierwszych 5–10 powtórzeń z obciążeniem wynoszącym 50% masy ciała. Dla kolejnych 3–5 powtórzeń obciążenie zwiększono do poziomu 120% masy ciała (Maior 2020). Badanie obejmujące 3–5 prób miało określić maksymalny poziom siły mięśniowej każdej z zawodniczek (Falcone i in. 2015; Gołaś i in. 2016 a). Jeśli zawodniczka była w stanie wykonać 5 powtórzeń, kontynuowała zgodnie z procedurą Earle, jeśli nie była w stanie wykonać więcej niż 5 powtórzeń, wówczas jej 1RM oszacowano według wzoru (Baechle i in. 2008):

$$1RM = \text{obciążenie} \times (1 + 0,333 \times \text{liczba wykonanych powtórzeń})$$

TESTY MOCY MIĘŚNIOWEJ KOŃCZYN DOLNYCH

Test na urządzeniu pneumatycznym Keiser Leg Press (Keiser, USA)

Test polegał na wypychaniu ciężaru jedno nogą siedząc (WJ). Regulowana pozycja siedząca chroniła dolną część pleców, utrzymując ją ustabilizowaną, co umożliwiało lepsze rozciąganie mięśni pośladkowych i dzięki czemu były bardziej aktywne w czasie ćwiczenia. Zgięcie w stawie kolanowym między udem a podudziem wynosiło 90°. Kończyna dolna, która nie brała udziału w teście, znajdowała się zgięta w stawie kolanowym obok siedzenia. Ruch był wykonywany w pełnym zakresie anatomicznym (Fielding i in. 2002; Callahan i in. 2007). Badane po części rozgrzewkowej wykonały dla oswojenia 2 × PKD, 2 × LKD na 30% 1RM i po 1 min. przerwie przystąpiły do testu: 3 × PKD i 3 × LKD ciężar o obciążeniu 50% 1RM. Pomiędzy powtórzeniami zastosowano 10 sekundową przerwę, a pomiędzy próbami prawej i lewej kończyny dolnej przewidziano 3-minutowy okres odpoczynku (Bompa i in. 2013; Ammar i in. 2020).

Maszyny pomiarowe Keiser umożliwiają wykonanie precyzyjnego, kontrolowanego ruchu, co skutkuje większą dokładnością i powtarzalnością otrzymanych wyników. Badana jest moc szczytowa mięśni KD zaangażowanych w konkretny ruch, a nie mięśni wspomagających. Maksymalna jednostronna moc szczytowa nóg podczas WJ jest ważnym predyktorem wartości

osiąganych w sprincie po linii prostej na 10 i 20 m oraz ze zmianą kierunku biegu (Arin i in. 2012). Urządzenie Keiser Leg Press zastosowano do oceny mocy mięśniowej piłkarzy nożnych (Redden i in. 2018, 2019; Papla i in. 2022) lub piłkarek nożnych w innych badaniach (Fischerova 2021 a, b).

Test na urządzeniu pneumatycznym Kaiser A300 Squat (Keiser Corporation, USA)

Test rozpoczynał się z pozycji przysiadu, 90° pomiędzy udem i podudziem, barki znajdowały się pod ramionami obciążników, ręce trzymały uchwyty. Przyjęta pozycja wyjściowa była bez oporu zewnętrznego. Oznacza to, iż tyczka regulująca położenie obciążników była włożona tak, by ciężar był odczuwalny dopiero przy ruchu w górę. Ruch polegał na jak najszybszym eksplozywnym wyproście kolana z przysiadu jednonóż z nogą zakroczną w powietrzu przy obciążeniu 50% 1RM. W teście zastosowano taką samą komendę rozpoczynającą test, takie same przerwy wypoczynkowe i taką samą liczbę powtórzeń w rozgrzewce i teście, jak we wcześniejszym protokole (WJ). Do analizy wykorzystano najlepszy wynik z 3 prób.

Urządzenie Keiser Squat służyło do oceny poziomu generowanej mocy mięśniowej podczas przysiadu w badaniach u zawodników sportów zespołowych (Gołaś i in. 2016 a) lub piłkarzy nożnych (Maior 2020; Papla i in. 2020). Urządzenie Keiser podczas obu testów wygenerowało najwyższą wartość uzyskaną podczas fazy koncentrycznej ruchu (moc szczytowa [Pmax]) przy obciążeniu 50% 1RM. Moc szczytowa została wyrażona w wartościach uzyskanych z uwzględnieniem FFM [W/kg]. Obciążenie zewnętrzne 50% 1RM zostało wybrane na podstawie zakresu wskazanego jako optymalny do uzyskania mocy szczytowej (Siegel i in. 2002).

Przysiad pojedynczy to złożone ćwiczenie, które wymaga maksymalnej siły, stabilności i równowagi KD (Arin i in. 2012). Ocenia moc KD w osi pionowej, która jest potrzebna w trakcie fazy przyspieszenia (Bompa i Buzzichelli 2018).

Tabela 4. Parametry opisowe uzyskanych wartości podczas pomiarów diagnostycznych mocy względnej wszystkich badanych oraz w grupach G1 i G2

	wszystkie badane razem			G1			G2		
	\bar{x}	SD	V	\bar{x}	SD	V	\bar{x}	SD	V
WJ [50% 1RM]									
PKD [W/kg]	16,41	2,11	12,84	15,88	1,26	7,93	17,01	2,71	15,92
LKD [W/kg]	16,08	2,05	12,76	15,97	1,5	9,37	16,2	2,6	16,05
Moduł PKD i LKD	1,07	0,89	83,66	0,3	0,22	74,28	1,94	0,41	21,29
Procent asymetrii	6,49%	5,71	88,54	1,88%	1,39	73,7	11,76%	3,93	33,47
PJ [50% 1RM]									
PKD [W/kg]	8,97	1,43	15,98	9,56	1,29	13,45	8,29	1,32	15,94
LKD [W/kg]	8,99	1,35	14,98	9,51	1,32	13,88	8,39	1,14	13,64
Moduł PKD i LKD	0,68	0,46	68,21	0,31	0,23	73,93	1,09	0,25	23,14
Procent asymetrii	8,06%	5,96	74	3,33%	2,39	71,9	13,46%	3,7	27,46

\bar{x} – średnia wartość zmiennej; SD – odchylenie standardowe; V – współczynnik zmienności

Moduł PKD i LKD = wartość bezwzględna różnicy PKD – LKD

Analiza porównawcza statystyk opisowych wykazała, iż podczas pomiaru diagnostycznego mocy mięśniowej największe bezwzględne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazała w całej badanej grupie moc WJ PKD (SD = 2,11), w grupie G1 moc PJ LKD (SD = 1,32) i w grupie G2 moc WJ PKD (SD = 2,71).

TESTY SZYBKOŚCIOWE

Szybkość po linii prostej 5, 10, 20, 30 m

Zdolność szybkości po linii prostej oceniana była na podstawie osiągnięcia średniej prędkości na dystansie 5, 10, 20 i 30 m (*czas ukończenia testu ÷ dystans*) (Loturco i in. 2019). Pomiar wykonywany był z wykorzystaniem fotokomórek (Witty Gate, Microgate, Włochy) z precyzją do 0,1 s. Test przeprowadzono na hali sportowej. Po przyjęciu pozycji startowej, stojącej z preferowaną nogą z przodu, badane rozpoczynały sprint bez sygnału zewnętrznego (Bishop i in. 2019). Przed rozpoczęciem uczestniczki wykonały dwa próbne biegi, aby zapoznać się z procedurą testu. Uczestniczki wykonały sprinty (starały się przebiec dystans) na odcinku 10 m i 30 m (Bishop i in. 2019). 3 pary fotokomórek były ustawione na starcie, na 5-tym i 10-tym metrze (dla pomiarów na dystansie 10 m). Następnie fotokomórki przestawiono na 20-ty i na 30-ty metr (dla pomiarów na dystansie 30 m). Pod uwagę wzięto lepszy czas z dwóch prób, a między próbami zastosowano 3 minutową przerwę wypoczynkową w celu resyntezy ATP i PCr (Bompa 2013; Ammar i in. 2020). Sprint na dystansie 10 m, który w meczu piłkarskim

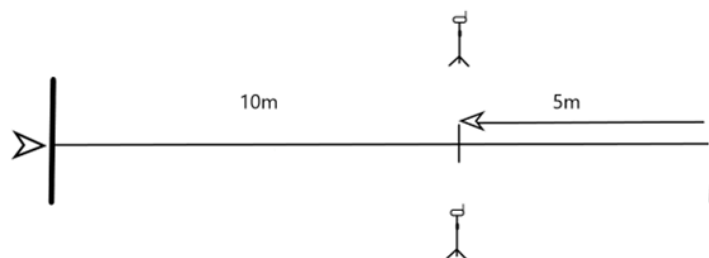
zawodnicy pokonują najczęściej (Di Salvo i in. 2009; Vigne i in. 2010), ocenia zdolność przyspieszania. Dystans 30 m jest często stosowany do oceny prędkości maksymalnej w piłce nożnej (Kutlu i in. 2012; Lago-Peñas i in. 2014), ponieważ rzadko zawodnicy pokonują dłuższy (Bompa i in. 2013). W piłce nożnej szybkość zawodnika oceniana jest za pośrednictwem prędkości biegu [km/h lub m/s], od której rozpoczyna się sprint (Chmura 2016).

Pomiar szybkości ze zmianą kierunku biegu

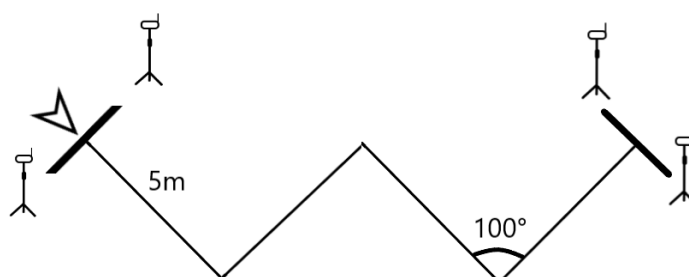
Pomiaru szybkości ze zmianą kierunku dokonano za pomocą dwóch testów: 505 (Draper i Lancaster 1985) i Zigzag (Little i Williams 2005). Zawodniczki test wykonały dwukrotnie, w analizie uwzględniono lepszy z otrzymanych wyników. Pomiędzy każdą próbą i testami zawodniczka miała 3 min przerwę wypoczynkową w celu resyntezy ATP i PCr (Bompa 2013; Ammar i in. 2020). Badane zaczynały z pozycji stojącej z nogą preferowaną z przodu, 0,3 m za linią startową.

W teście 505 mierzona była średnia prędkość biegu na dystansie 10 m, podczas której zawodniczka musiała wyhamować na 5 m, wykonać pojedynczą zmianę kierunku o 180°, ustawiając 1 stopę na linii wyznaczonej lub za linią, i następnie przyspieszyć dalsze 5 m z powrotem do bramki, a więc łącznie na dystansie 10 m (Wykres 4). Zawodniczka startowała 10 m przed fotokomórką, by przebiec przez nią już w pełni rozpędzona. Każda badana dokładnie zapoznała się z wzorami ruchu i była zobowiązana do przeprowadzenia 2 udanych prób z wykonaniem obrotu zarówno przez nogę prawą (dominująca), jak i lewą. Test 505 był stosowany wielokrotnie w ocenie szybkości zmiany kierunku biegu w piłce nożnej (Lockie i in. 2018; Bishop i in. 2019, 2021 e, 2022 a, 2022 b).

Test Zigzag składał się z czterech 5-metrowych odcinków oznaczonych pachołkami ustawionymi pod kątem 100° (Little i Williams 2005). Zawodniczka musiała przebiec odcinek 20 m, zmieniając co 5 m kierunek o 100° (Wykres 5). Test wykonały dwukrotnie, oceniany był najlepszy wynik. Test Zigzag wymaga naprzemiennego przyspieszenia, zwalniania i zmian kierunku biegu, podobnie jak może to wymuszać sytuacja meczowa (Mujika i in. 2009) i był stosowany w ocenie szybkości zmian kierunku u kobiet wyczynowo uprawiających sport (Nimphius i in. 2010; Loturco i in. 2019; Fischerova i in. 2021 b; Freitas i in. 2021).



Wykres 1. Wykres przedstawiający test 505. Kreskami pionowymi zaznaczono start i metę oraz zaznaczono lokalizację fotokomórek (ilustracja zaadaptowana z Draper i Lancaster 1985)



Wykres 2. Wykres przedstawiający test Zigzag. Zaznaczone miejsce startu, mety i rozmieszczenie fotokomórek (ilustracja zaadaptowana, źródło: Loturco i in. 2019)

Analiza porównawcza statystyk opisowych uzyskanych wartości podczas pomiarów testowych w całej badanej grupie wykazała największe bezwzględne i względne zróżnicowanie prędkości na odcinku 5 m ($SD = 0,24$ i $V = 5,64$) (Tabela 5).

Tabela 5. Parametry opisowe uzyskanych wartości prędkości podczas pomiarów testowych wszystkich badanych

Prędkość na odcinku	Wszystkie badane razem		
	\bar{x}	SD	V
5 m [m/s]	4,34	0,24	5,64
10 m [m/s]	5,13	0,23	4,46
20 m [m/s]	6,05	0,23	3,78
30 m [m/s]	6,5	0,23	3,5
Zigzag [m/s]	3,82	0,19	5,07
505 PKD [m/s]	4,01	0,14	3,44
505 LKD [m/s]	3,98	0,22	5,41

\bar{x} – średnia wartość zmiennej; SD – odchylenie standardowe; V – współczynnik zmienności

Tabela 6. Parametry opisowe uzyskanych wartości podczas pomiarów testowych pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonymi w testach WJWG i SJWB

	WJWG [ASY %]						SJWB [ASY %]					
	G1			G2			G1			G2		
	\bar{x}	SD	V	\bar{x}	SD	V	\bar{x}	SD	V	\bar{x}	SD	V
5 m [m/s]	4,29	0,21	4,98	4,38	0,27	6,13	4,41	0,14	3,18	4,28	0,3	7,04
10 m [m/s]	5,09	0,19	3,71	5,17	0,26	5,02	5,31	0,16	3	5,06	0,26	5,21
20 m [m/s]	6,02	0,21	3,43	6,08	0,25	4,09	6,33	0,18	3,01	5,98	0,25	4,11
30 m [m/s]	6,47	0,19	2,95	6,52	0,26	3,98	6,57	0,21	3,19	6,23	0,23	3,59
Zigzag [m/s]	3,96	0,16	3,98	4,35	0,11	2,67	3,99	0,14	3,59	4,03	0,14	3,36
505 PKD [m/s]	3,59	0,26	6,79	4,25	0,13	3,25	3,96	0,15	3,8	4	0,26	6,56
505 LKD [m/s]	3,81	0,19	4,9	3,85	0,2	5,29	3,81	0,19	5,02	3,84	0,2	5,24

\bar{x} – średnia wartość zmiennej; SD – odchylenie standardowe; V – współczynnik zmienności

Uwaga. Każda uczestniczka kwalifikowana była do grupy G1 bądź G2 ze względu na wartości asymetrii siły mięśniowej uzyskane podczas każdego testu różnicującego siłę kończyn, dlatego średnia wartość szybkości biegowej dla danej grupy nie jest stała.

Analiza porównawcza statystyk opisowych uzyskanych wartości pomiarów testowych podczas WJWG (Tabela 6) wykazała największe względne zróżnicowanie prędkości biegu na 5 m w grupie G2 (SD=0,27) i największe bezwzględne zróżnicowanie prędkości biegu w teście 505 LKD (V=6,79). Podczas SJWB największe względne zróżnicowanie wartości badanych parametrów wykazała prędkość biegu na 10 m i 505 PKD w grupie G2, odpowiednio (SD = 0,27) i największe bezwzględne zróżnicowanie prędkości biegu na 5 m (V = 7,04).

Tabela 7. Parametry opisowe uzyskanych wartości podczas pomiarów testowych pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonymi w testach WJ i PJ

	WJ [ASY %]						PJ [ASY %]					
	G1			G2			G1			G2		
	\bar{x}	SD	V	\bar{x}	SD	V	\bar{x}	SD	V	\bar{x}	SD	V
5 m [m/s]	4,34	0,24	5,61	4,34	0,26	5,89	4,35	0,21	4,76	4,33	0,29	6,7
10 m [m/s]	5,13	0,22	4,28	5,13	0,25	4,82	5,23	0,21	4,14	5,09	0,24	4,8
20 m [m/s]	6,17	0,22	3,71	6,03	0,24	3,96	6,06	0,25	4,12	6,04	0,21	3,5
30 m [m/s]	6,61	0,24	3,69	6,49	0,22	3,42	6,49	0,27	4,23	6,5	0,17	2,59
Zigzag [m/s]	4,02	0,12	3,06	4,21	0,16	3,93	3,97	0,13	3,37	4,25	0,14	3,36
505 PKD [m/s]	4,01	0,16	4,08	3,95	0,27	6,74	3,99	0,24	6,02	3,97	0,19	4,81
505 LKD [m/s]	3,81	0,21	5,55	3,91	0,18	4,65	3,81	0,22	5,69	4,01	0,17	4,44

\bar{x} – średnia wartość zmiennej; SD – odchylenie standardowe; V – współczynnik zmienności

Uwaga. Każda uczestniczka kwalifikowana była do grupy G1 bądź G2 ze względu na wartości asymetrii mocy mięśniowej uzyskane podczas każdego testu różnicującego moc kończyn, dlatego średnia wartość szybkości biegowej dla danej grupy nie jest stała.

Analiza porównawcza statystyk opisowych uzyskanych wartości podczas pomiarów testowych podczas PJ wykazała największe względne i bezwzględne zróżnicowanie prędkości biegu na odcinku 5 m w grupie G2 ($SD=0,29$ i $V=6,7$). W teście WJ największe względne i bezwzględne zróżnicowanie wykazała zmienna prędkości biegu ze zmianą kierunku w teście 505 PKD ($SD=0,27$ i $V=6,74$) (Tabela 7).

2.3. Narzędzia analizy statystycznej

W celu rozwiązania problemu badawczego zostały zastosowane analizy empiryczne oraz eksploracyjne o charakterze porównawczym i modelowym (Maestas i Preuhs 2000, McCullough i Wilson 2005; Maszczyk i in. 2011, 2012, 2013).

Ponieważ siła i moc szczytowa zostały wyrażone w wartościach uzyskanych z uwzględnieniem beztłuszczowej masy ciała (FFM), wartość FFM obliczona została ze wzoru:

$$FFM = TBM - FM$$

gdzie:

FFM – beztłuszczowa masa ciała (ang. *fat-free mass*)

TBM – całkowita masa ciała (ang. *total body mass*)

FM – masa tłuszczowa (ang. *fat mass*)

W pierwszej kolejności, w celu zdefiniowania powstałych macierzy danych, zastosowano statystyki opisowe (wartości średnie, odchylenia standardowe i współczynnik zmienności oraz tabele liczości).

Normalność rozkładu zmiennych została sprawdzona testem Shapiro-Wilka a jednorodność wariancji testem Levene'a. Weryfikacja występowania różnic pomiędzy analizowanymi wynikami testów szybkościowych w aspekcie badanych grup G1 i G2 została wykonana z wykorzystaniem jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA. Gdy występowały istotne statystycznie różnice zastosowano testy post-hoc (Tukey HSD). Przyjęto poziom istotności dla wykonywanych analiz $p<0,05$. Dla ujednoznaczniania i potwierdzenia otrzymanych wyników przeprowadzony został dodatkowo test wielkości efektu (ES) test

d Cohena, który jest zdefiniowany jako różnica między średnimi podzielona przez miarę zmienności danych, konkretnie wielkość odchylenia standardowego:

$$d = \frac{x_1 - x_2}{Sp}; \quad Sp = \sqrt{\frac{SD1^2 + SD2^2}{2}}$$

gdzie:

x_1 i x_2 – średnie arytmetyczne poszczególnych grup

Sp – odpowiada odchyleniu standardowemu całej grupy

$SD1$ i $SD2$ – odchylenie standardowe poszczególnych grup

Wynik wielkości efektu zinterpretowano jako małą ($> 0,2$ i $< 0,5$), umiarkowaną ($\geq 0,5$ i $< 0,8$) lub dużą ($\geq 0,8$) (Cohen 1988). Kształtowanie się powiązań pomiędzy procentowymi asymetriami siły i mocy KD, a wynikami testów szybkościowych w grupach G1 i G2, zostało sprawdzone za pomocą współczynnika korelacji liniowej Pearsona. W zależności od wielkości współczynnika korelacje uznawano za małą (0–0,29), umiarkowaną (0,30–0,49), dużą (0,50–0,69), bardzo dużą (0,70–0,89) (Mikołajec i in. 2022). Podsumowując, przeprowadzona została komplementarna analiza danych statystycznych z zastosowaniem programu komputerowego Statistica, wersja 15 (StatSoft Polska Sp. z o.o.) oraz arkusza kalkulacyjnego Excel programu Microsoft Office, wersja 2013 (Microsoft, Poland).

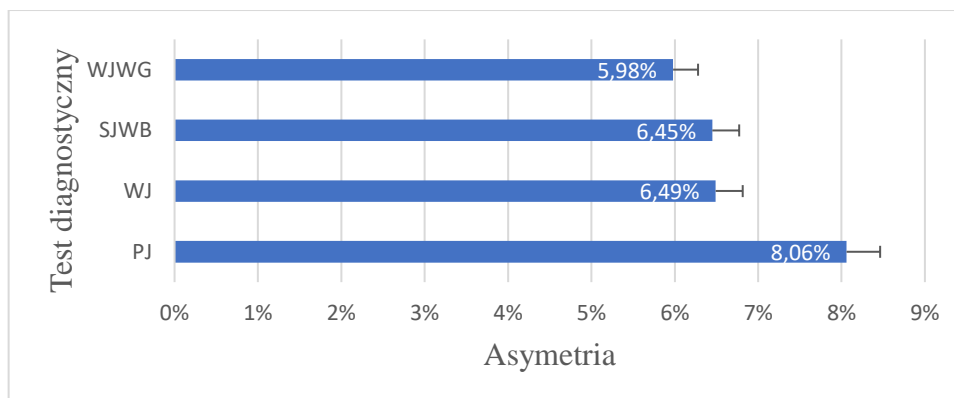
3. Wyniki

3.1. Analizy wstępne – statystyka opisowa oraz korelacje zmiennych pomiędzy procentowymi asymetriami siły i mocy mięśniowej KD, a wynikami testów szybkościowych wszystkich badanych

Sprawdzono rozkłady wszystkich analizowanych zmiennych, uzyskanych podczas przeprowadzonych pomiarów. Parametry oraz statystyki opisowe zmiennych podczas pomiarów testowych i diagnostycznych siły i mocy mięśniowej KD, w całej badanej grupie oraz w poszczególnych grupach zaprezentowano w tabelach 3–7 w rozdziale 4.

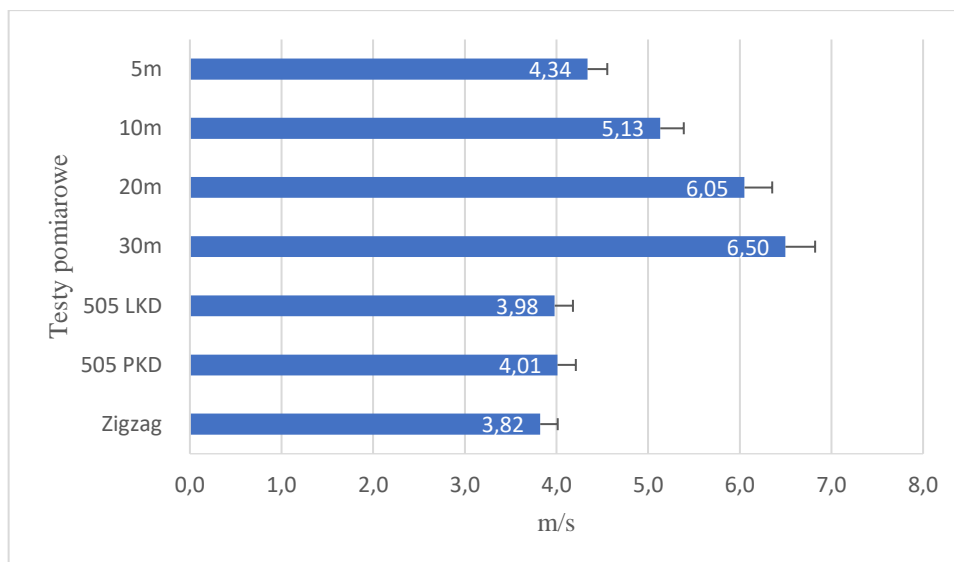
W przeprowadzonych pomiarach wszystkie wariancje zmiennych miały rozkład normalny z niewielkimi odchyleniami lewo lub prawostronnymi, mieszczącymi się jednak w zakresach normalności. Na wykresach zaznaczono wartość średniej arytmetycznej (słupkiem) i błąd średni średniej (SEM) (wąsami).

Analiza porównawcza statystyk opisowych uzyskanych wartości pomiarów diagnostycznych asymetrii siły i mocy mięśniowej KD w całej badanej grupie wykazała, iż największe zróżnicowanie wartości asymetrii uzyskano w teście PJ (ASY = 8,06%) a najmniejsze w WJWG (ASY = 5,98%) (Wykres 6).



Wykres 3. Procent asymetrii siły i mocy mięśniowej pomiędzy prawą i lewą KD u wszystkich badanych z uwzględnieniem pomiarów WJWG, SJWB, WJ i PJ (średnia + SEM)

Analiza wyników pomiarów testowych szybkości wielokierunkowej u wszystkich badanych wykazała, iż największą prędkość biegu osiągnięto na dystansie 30 m (6,5 m/s), najmniejszą na 5 m (4,34 m/s) po linii prostej. Z kolei w biegach ze zmianą kierunku największą prędkość biegu (4,01 m/s) odnotowano podczas 505 PKD a najmniejszą (3,98 m/s) w teście Zigzag (Wykres 7).



Wykres 4. Prędkość biegu po linii prostej i ze zmianą kierunku u wszystkich badanych (średnia + SEM)

Tabela 8 przedstawia wyniki analizy korelacji pomiędzy procentowymi wartościami asymetrii siły i mocy mięśniowej KD a wynikami testów szybkościowych. W grupie badanej nie zaobserwowano istotnie statystycznych korelacji pomiędzy analizowanymi zmiennymi w testach SJWB, WJ, PJ. Zaobserwowano jedynie słabą korelację ujemną pomiędzy wielkością asymetrii uzyskanej w teście WJWG a prędkością biegu uzyskaną w teście 505 ($r = -0,37$; $p < 0,05$).

Tabela 8. Współczynniki korelacji pomiędzy procentami asymetrii siły i mocy mięśniowej KD, a wynikami testów szybkościowych

	5 m [m/s]	10 m [m/s]	20 m [m/s]	30 m [m/s]	505 PKD [m/s]	505 LKD [m/s]	Zigzag [m/s]
WJWG [ASY %]	0,04	0,04	0,14	0,11	0,25	-0,37	0,23
SJWB [ASY %]	-0,16	-0,24	-0,25	-0,25	0,24	0,21	-0,02
WJ [ASY %]	0,05	0,04	-0,01	0,04	-0,06	-0,11	-0,01
PJ [ASY %]	-0,13	-0,19	-0,03	0,01	-0,29	-0,17	-0,04

3.2. Różnice między grupami G1 i G2 w asymetrii siły i mocy mięśniowej KD

Jednoczynnikowa analiza wariancji wykazała, że wystąpiły istotne różnice pomiędzy grupami G1 i G2 w aspekcie asymetrii siły i mocy mięśniowej KD we wszystkich testach

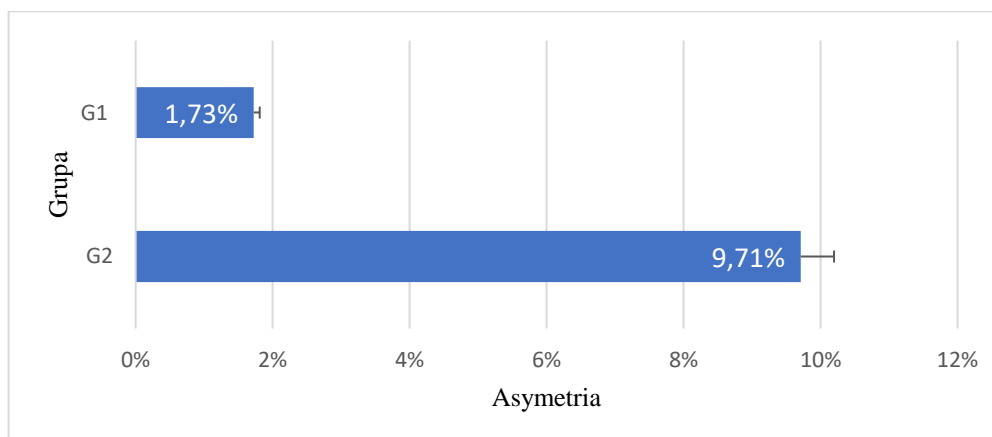
diagnostycznych (Tabela 9 i Wykresy 8–11). Największe zróżnicowanie wystąpiło pomiędzy wielkościami asymetrii mocy KD pomiędzy grupami G1 i G2 w teście WJ (F: 88,53; $p < 0,01$; ES: 3,25), natomiast najmniejsze w teście siły mięśniowej WJWG (F: 44,47; $p < 0,01$; ES: 2,58).

Tabela 9. Wynik testu ANOVA, porównanie wartości asymetrii siły i mocy mięśniowej KD pomiędzy grupami G1 i G2

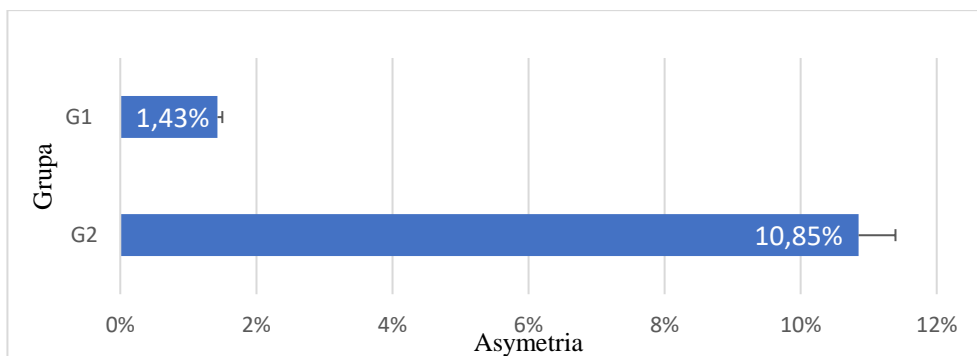
Procent asymetrii w grupach	F	P	ES
G1 [ASY %] vs. G2 [ASY %] – WJWG	44,47	0,01	2,58
G1 [ASY %] vs. G2 [ASY %] – SJWB	65,68	0,01	3,06
G1 [ASY %] vs. G2 [ASY %] – WJ	88,53	0,01	3,35
G1 [ASY %] vs. G2 [ASY %] – PJ	81,53	0,01	3,25

df (stopnie swobody) = 28

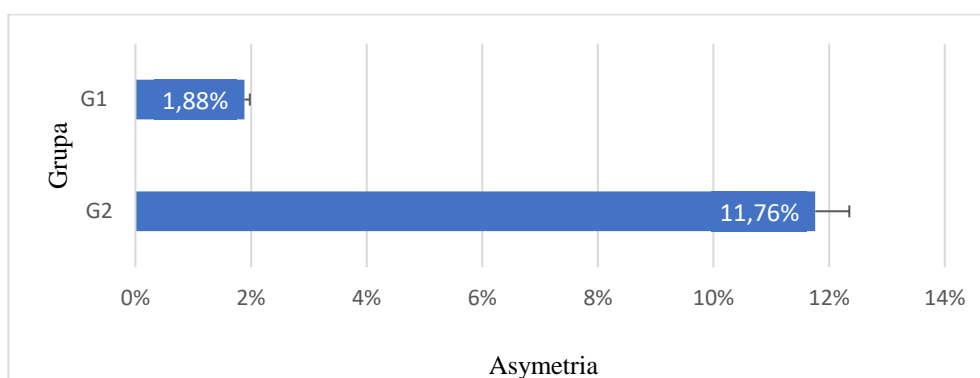
W testach skocznościowych dla WJWG asymetria siły w grupie G1 wyniosła 1,73%, a w grupie G2 9,71% (Wykres 8). W teście SJWB grupa G1 miała średnia asymetrie siły 1,43%, a grupa G2 10,85% (Wykres 9). Dla testu WJ wielkość średniej asymetrii mocy dla grupy G1 wyniosła 1,88%, dla grupy G2 11,76% (Wykres 10). Dla testu PJ średnia asymetria mocy wyniosła w grupie G1 3,33%, a grupie G2 13,47% (Wykres 11).



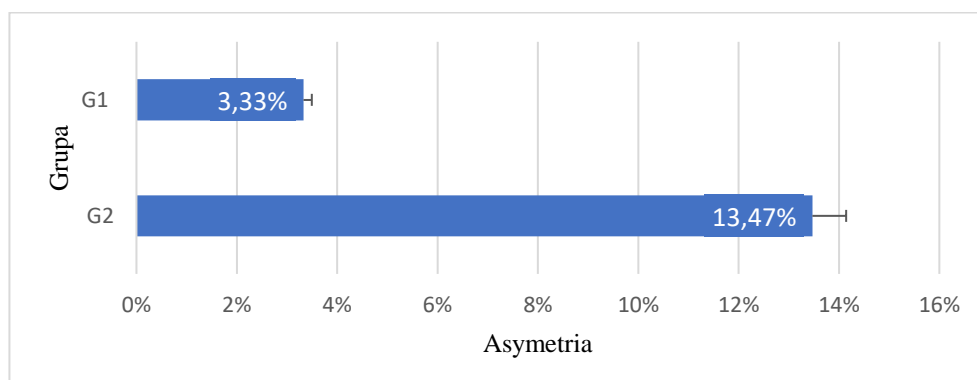
Wykres 5. Procent asymetrii siły mięśniowej pomiędzy prawą i lewą KD w teście WJWG, w grupach G1 i G2 (średnia + SEM)



Wykres 6. Procent asymetrii siły mięśniowej pomiędzy prawą i lewą KD w teście SJWB, w grupach G1 i G2 (średnia + SEM)



Wykres 7. Procent asymetrii mocy mięśniowej pomiędzy prawą i lewą KD w teście WJ, w grupach G1 i G2 (średnia + SEM)

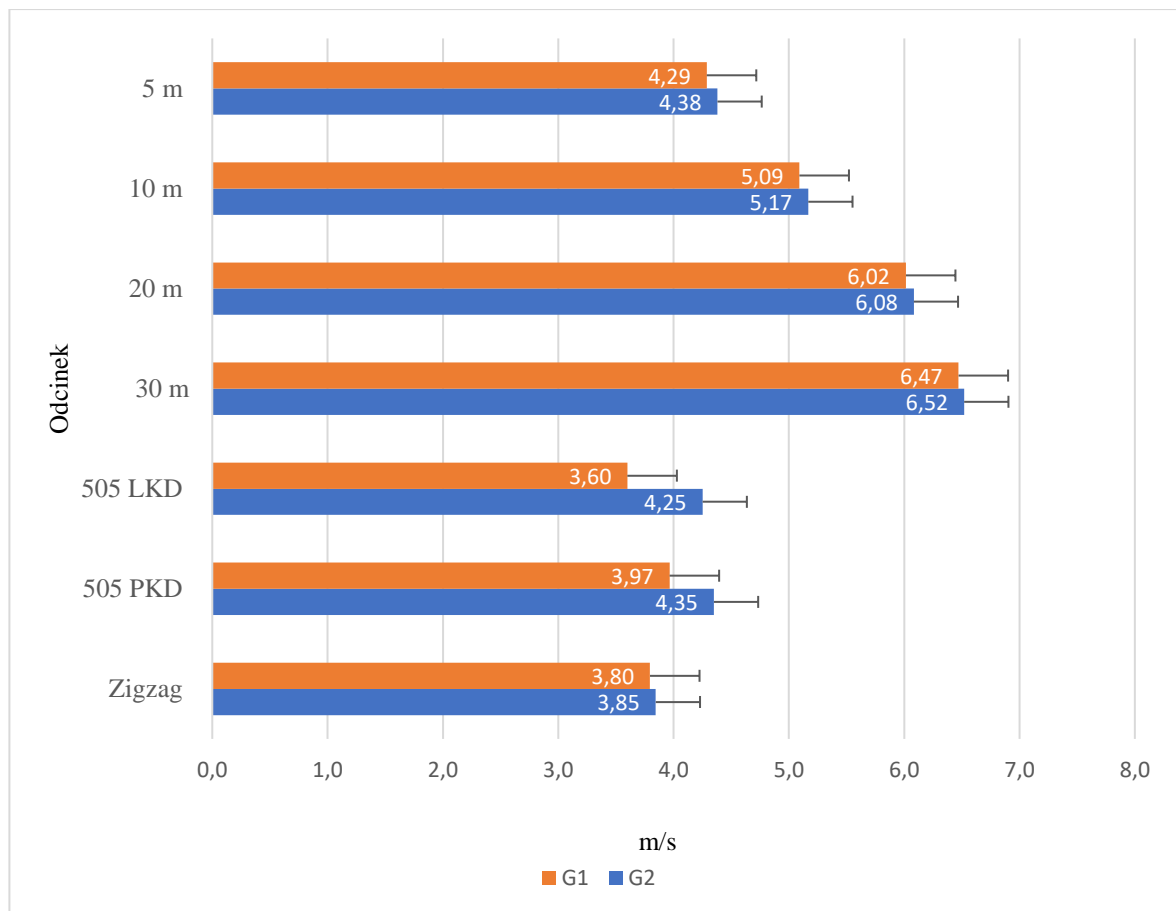


Wykres 8. Procent asymetrii mocy mięśniowej pomiędzy prawą i lewą KD w teście PJ w grupach G1 i G2 (średnia + SEM)

3.3. Analiza różnic w prędkości biegowej pomiędzy grupami o różnym poziomie asymetrii siły i mocy mięśniowej KD G1 i G2

3.3.1. Różnice w szybkości wielokierunkowej pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonymi w teście WJWG

Na wykresie 12 przedstawiono średnie prędkości biegu (m/s) uzyskane na poszczególnych odcinkach w trakcie testów pomiędzy grupami G1 i G2, zróżnicowanych w teście WJWG.



Wykres 9. Prędkość w grupach G1 i G2 (kryterium WJWG) w testach biegowych na odcinkach 5 m G1 (średnia + SEM)

W celu zbadania różnic pomiędzy grupami, przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji, porównującą wartości prędkości biegu uzyskane na poszczególnych odcinkach w grupach G1 i G2. Ponieważ wartość $p < 0,05$ (Tabela 10) odrzucono hipotezę zerową o braku różnic pomiędzy grupami w teście 505 PKD i LKD. Dla zmiennych różnicujących wykonano testy post-hoc (Tabela 11).

Tabela 10. Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA, porównanie średnich wartości prędkości biegu pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonymi w teście WJWG

Prędkość na odcinku	F	p	ES
5 m [m/s]	1,08	0,31	0,37
10 m [m/s]	0,83	0,37	0,35
20 m [m/s]	0,66	0,43	0,26
30 m [m/s]	0,33	0,57	0,22
505 PKD [m/s]	4,98	0,04	2,77
505 LKD [m/s]	6,15	0,03	3,21
Zigzag [m/s]	0,49	0,49	0,21

df (stopnie swobody) = 28

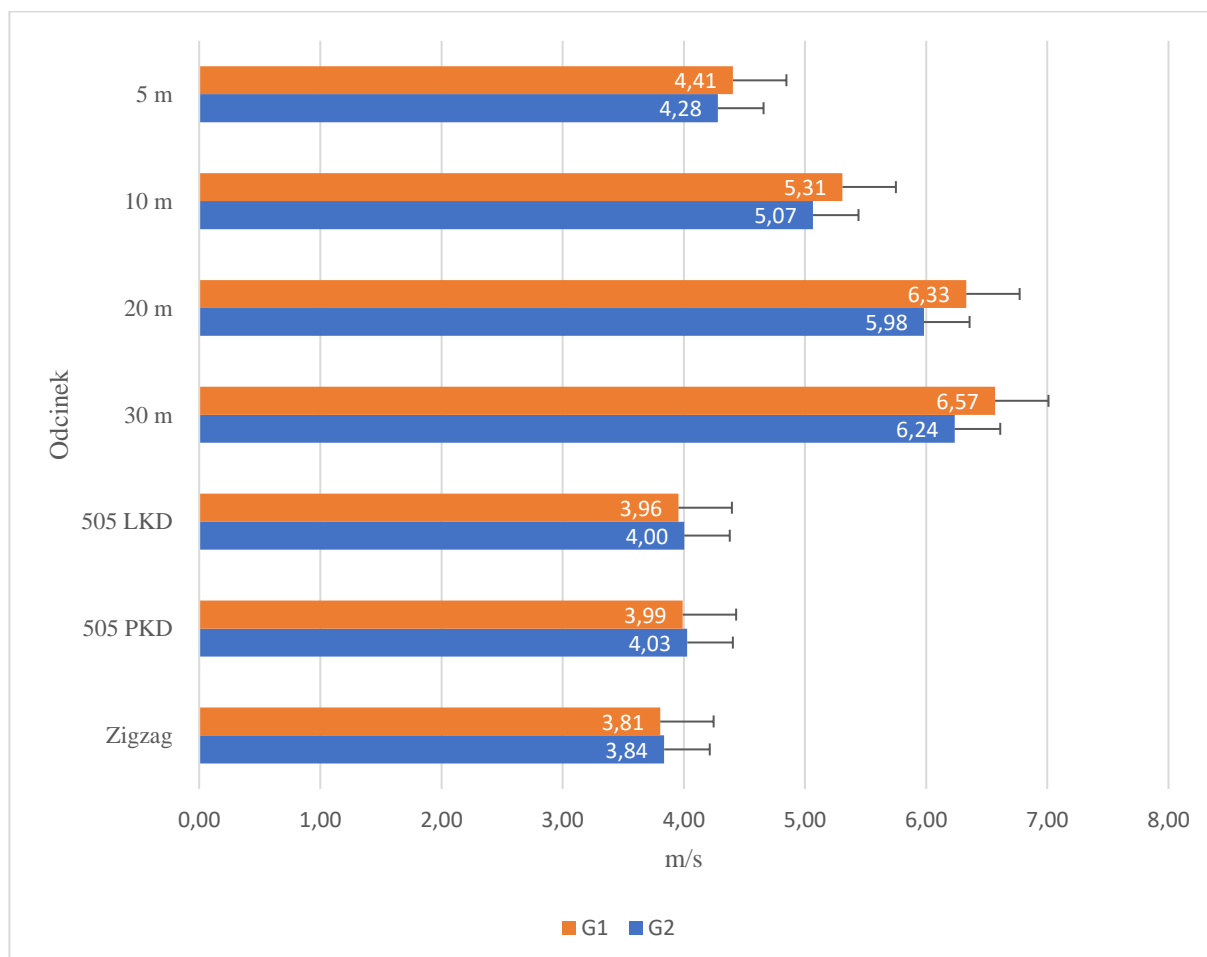
Tabela 11. Prędkość w grupach G1 i G2 (kryterium WJWG) w testach biegowych na odcinkach (średnia)

505 PKD [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 3,96	M = 4,35
G1		0,04
G2	0,04	
505 LKD [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 3,59	M = 4,25
G1		0,03
G2	0,03	

Analiza statystyczna wskazuje, iż wystąpiły istotne statystycznie różnice pomiędzy grupami G1 i G2 w prędkości biegu ze zmianą kierunku w testach 505 PKD i LKD. W grupie o wyższej asymetrii siły mięśniowej KD odnotowano wyższe prędkości biegu ze zmianą kierunku, niż w grupie o mniejszej asymetrii siły mięśniowej KD.

3.3.2. Różnice w szybkości wielokierunkowej pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonymi w teście SJWB

Na wykresie 13 przedstawiono średnie prędkości biegu (m/s) uzyskane na poszczególnych odcinkach w trakcie testów pomiędzy grupami G1 i G2, zróżnicowanych w teście SJWB.



Wykres 10. Prędkość w grupach G1 i G2 (kryterium SJWB) w testach biegowych na odcinkach (średnia + SEM)

W celu zbadania różnic pomiędzy grupami, przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji, porównującą wartości prędkości biegu uzyskane na poszczególnych odcinkach w grupach G1 i G2. Ponieważ wartość $p < 0,05$ (Tabela 12) odrzucono hipotezę zerową o braku różnic pomiędzy grupami dla odcinków 5, 10, 20 i 30 m. Dla zmiennych różnicujących wykonano testy post-hoc (Tabela 13).

Tabela 12. Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA, porównanie średnich wartości prędkości biegu pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonymi w teście SJWB

Prędkość na odcinku	F	p	ES
5 m [m/s]	4,13	0,04	0,56
10 m [m/s]	5,19	0,04	1,16
20 m [m/s]	5,43	0,04	1,61
30 m [m/s]	4,72	0,04	1,54
505 PKD [m/s]	0,54	0,47	0,29
505 LKD [m/s]	0,34	0,56	0,19
Zigzag [m/s]	0,20	0,65	0,15

df (stopnie swobody) = 28

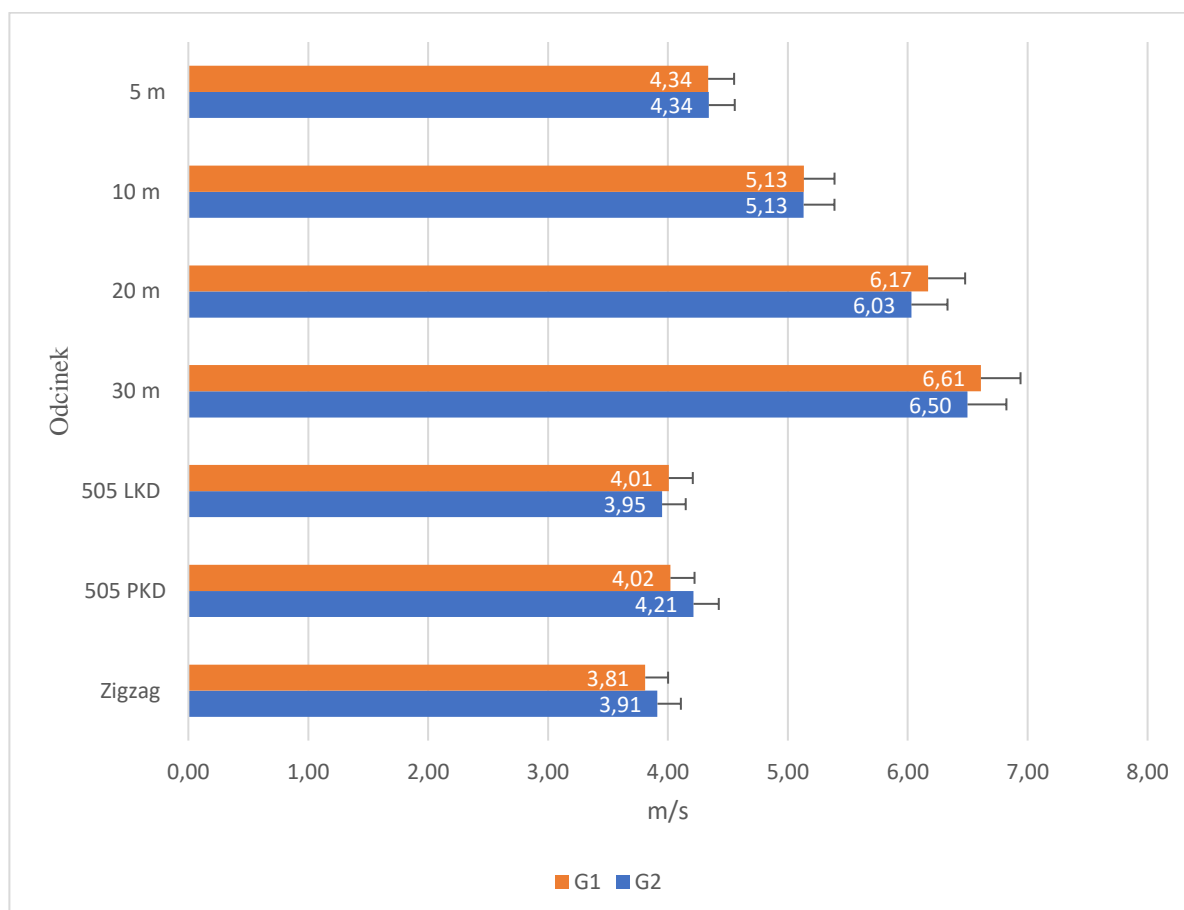
Tabela 13. Wynik testu post-hoc dla prędkości uzyskanych w testach biegowych na badanych odcinkach pomiędzy grupami G1 i G2 (podział według testu SJWB)

5 m [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 4,41	M = 4,28
G1		0,04
G2	0,04	
10 m [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 5,31	M = 5,06
G1		0,04
G2	0,04	
20 m [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 6,33	M = 5,98
G1		0,4
G2	0,04	
30 m [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 6,57	M = 6,23
G1		0,4
G2	0,04	

Wyniki analizy statystycznej wskazują na występowanie różnic w prędkości biegu na odcinkach 5, 10, 20 i 30 m. Zaobserwowano wyższą wartość prędkości w grupie G1, tzn. zawodniczki o niskim poziomie asymetrii siły mięśniowej KD uzyskanymi podczas testu SJWB były szybsze w biegu po linii prostej, niż zawodniczki o wyższym poziomie asymetrii siły mięśniowej KD.

3.3.3. Różnice w szybkości wielokierunkowej pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonych w teście WJ

Na wykresie 14 zaprezentowano uzyskane prędkości biegu na poszczególnych odcinkach (m/s) podczas sprawdzianów szybkościowych w grupach G1 i G2, wyznaczonych na podstawie wyników asymetrii mocy KD w teście WJ.



Wykres 11. Prędkość w grupach G1 i G2 (kryterium WJ) w testach biegowych na odcinkach (średnia + SEM)

Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji prędkości biegu pomiędzy grupami G1 i G2 (kryterium WJ) na poszczególnych odcinkach (Tabela 14). Pozwoliła ona na odrzucenie hipotezy o braku różnic pomiędzy grupami dla prędkości uzyskanych na odcinkach 20 m, 30 m, oraz testów Zigzag i 505 PKD ($p < 0,05$). Dla zmiennych różnicujących wykonano testy post-hoc (Tabela 15).

Tabela 14. Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA, porównanie średnich wartości prędkości biegu pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonymi w teście WJ

Prędkość na odcinku	F	p	ES
5 m [m/s]	0,00	0,96	0
10 m [m/s]	0,00	0,99	0
20 m [m/s]	4,22	0,03	0,61
30 m [m/s]	3,00	0,04	0,52
505 PKD [m/s]	3,17	0,04	1,34
505 LKD [m/s]	0,50	0,49	0,27
Zigzag [m/s]	3,19	0,04	0,51

df (stopnie swobody) = 28

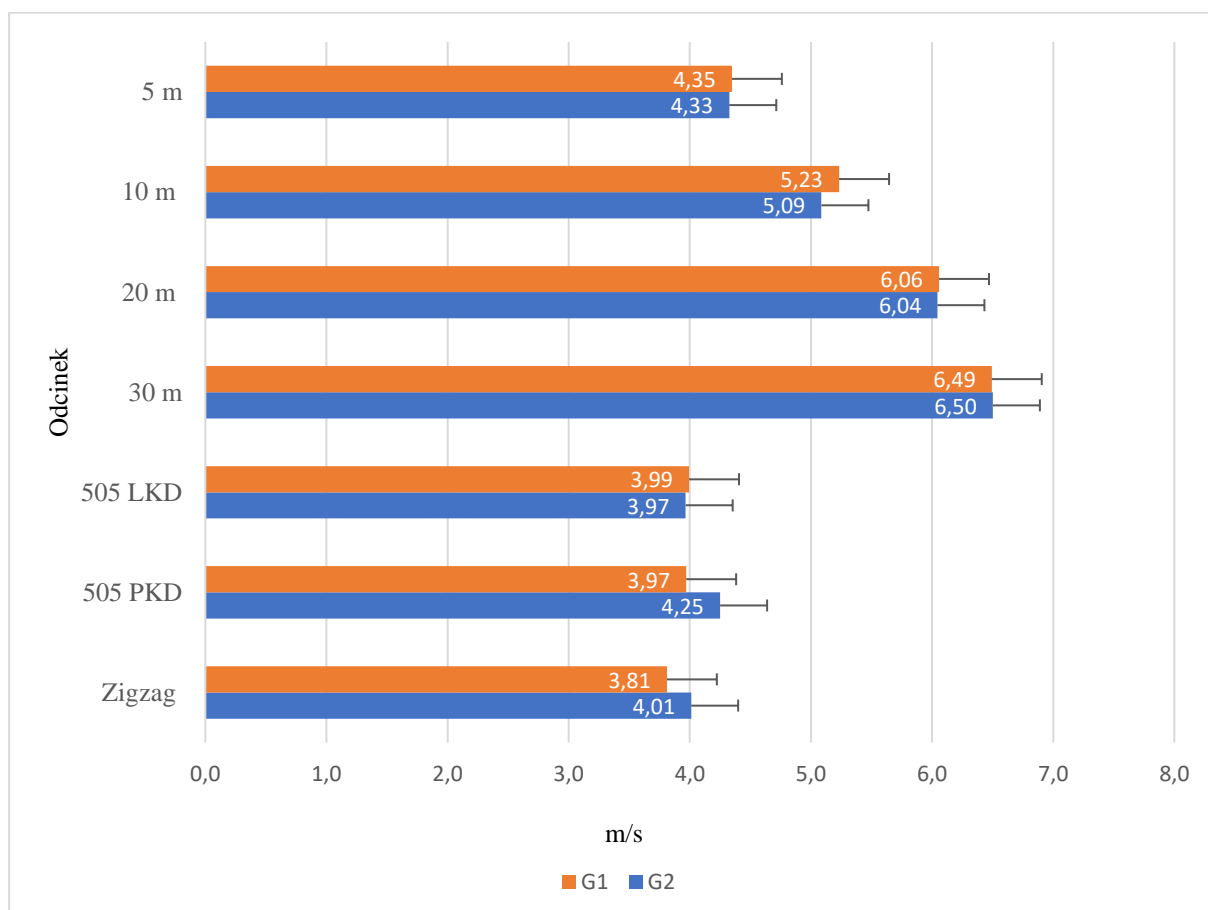
Tabela 15. Wynik testu post-hoc dla prędkości uzyskanych w testach biegowych na badanych odcinkach pomiędzy grupami G1 i G2 (podział według testu WJ)

20 m [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 6,17	M = 6,03
G1		0,03
G2	0,03	
30 m [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 6,61	M = 6,49
G1		0,04
G2	0,04	
505 PKD [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 4,02	M = 4,21
G1		0,04
G2	0,04	
Zigzag [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 3,81	M = 3,91
G1		0,04
G2	0,04	

Wyniki analiz wskazują na występowanie statystycznie istotnych różnic w prędkości biegu pomiędzy grupami w testach szybkościowych 20 m, 30 m, Zigzag i 505 PKD. Piłkarki zakwalifikowane do grupy o mniejszej asymetrii uzyskiwały wyższe prędkości biegowe na odcinkach prostych 20 m (G1 = 6,17 m/s; G2 = 6,03 m/s) i 30 m (G1 = 6,61 m/s; G2 = 6,49 m/s), natomiast te o większej asymetrii przebiegały szybciej odcinki ze zmianą kierunku biegu 505 PKD (G1 = 4,02 m/s; G2 = 4,21 m/s) i Zigzag (G1 = 3,81 m/s; G2 = 3,91 m/s).

3.3.4. Różnice w szybkości wielokierunkowej pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonych w teście PJ

Na wykresie 15 zaprezentowano uzyskane prędkości biegu na poszczególnych odcinkach (m/s) podczas sprawdzianów szybkościowych w grupach G1 i G2, wyznaczonych na podstawie wyników asymetrii mocy KD w teście PJ.



Wykres 12. Prędkość w grupach G1 i G2 (kryterium PJ) w testach biegowych na odcinkach (średnia + SEM)

Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji prędkości biegu pomiędzy grupami G1 i G2 (kryterium PJ) na poszczególnych odcinkach (Tabela 16). Pozwoliła ona na odrzucenie hipotezy o braku różnic pomiędzy grupami dla prędkości uzyskanych dla odcinka 10 m, oraz w testach Zigzag i 505 PKD ($p < 0,05$). Dla zmiennych różnicujących wykonano testy post-hoc (Tabela 17).

Tabela 16. Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA, porównanie średnich wartości prędkości biegu pomiędzy grupami G1 i G2 wyznaczonymi w teście PJ

Prędkość na odcinku	F	p	ES
5 m [m/s]	0,06	0,81	0,08
10 m [m/s]	5,06	0,03	0,62
20 m [m/s]	0,02	0,88	0,09
30 m m/s]	0,01	0,92	0,04
505 PKD [m/s]	4,30	0,03	2,07
505 LKD [m/s]	0,12	0,73	0,09
Zigzag [m/s]	5,06	0,03	1,02

df (stopnie swobody) = 28

Tabela 17. Wynik testu post-hoc dla prędkości uzyskanych w testach biegowych na badanych odcinkach pomiędzy grupami G1 i G2 (podział według testu WJ)

10 m [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 5,23	M = 5,09
G1		0,03
G2	0,03	
505 PKD [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 3,97	M = 4,25
G1		0,03
G2	0,03	
Zigzag [m/s]		
Grupa	G1	G2
	Wartości różnicujące [m/s]	
	M = 3,81	M = 4,01
G1		0,03
G2	0,03	

Wyniki analiz wskazują na występowanie statystycznie istotnych różnic w prędkości biegu pomiędzy grupami w biegu na 10 m i w testach Zigzag i 505 PKD. Piłkarki zakwalifikowane do grupy o mniejszej asymetrii uzyskiwały wyższe prędkości biegowe na odcinku 10 m (G1 = 5,23 m/s; G2 = 5,09 m/s), natomiast te o większej asymetrii przebiegały szybciej odcinki ze zmianą kierunku biegu 505 PKD (G1 = 3,97 m/s; G2 = 4,25 m/s) i Zigzag (G1 = 3,81 m/s; G2 = 4,01 m/s).

3.4. Analiza korelacji pomiędzy procentem asymetrii siły i mocy mięśniowej KD a wynikami testów szybkościowych w grupach G1 i G2

W tabeli 18 zaprezentowano współczynniki korelacji pomiędzy poziomem asymetrii siły i mocy mięśniowej KD a prędkościami uzyskanymi w testach szybkościowych wewnątrz grup G1 i G2. Sprawdzone, czy w grupach o niskiej i wysokiej wartości asymetrii istnieje korelacja pomiędzy uzyskiwanymi prędkościami a poziomem asymetrii. Dla uzyskanych danych wyznaczono współczynniki korelacji Pearsona.

Tabela 18. Współczynniki korelacji r-Pearsona pomiędzy procentem asymetrii siły i mocy mięśniowej KD, a prędkością biegu w testach szybkościowych dla grup G1 i G2

	5 m [m/s]	10 m [m/s]	20 m [m/s]	30 m [m/s]	505 PKD [m/s]	505 LKD [m/s]	Zigzag [m/s]
WJWG ASY [%] – G1	0,25	0,2	0,03	0,07	0,01	0,16	0,31
WJWG ASY [%] – G2	0,24	0,16	0,08	0,02	-0,39	-0,41	-0,09
SJWB ASY [%] – G1	0,64	0,55	0,64	0,64	0,29	0,28	-0,18
SJWB ASY [%] – G2	0,02	0,02	0,16	0,19	-0,18	-0,24	-0,22
WJ ASY [%] – G1	0,31	0,33	0,66	0,68	0,21	0,11	0,26
WJ ASY [%] – G2	0,01	0,1	0,01	0,05	-0,67	-0,01	-0,67
PJ ASY [%] – G1	0,28	0,65	0,28	0,21	0,07	0,01	0,22
PJ ASY [%] – G2	-0,13	0,01	0,19	0,19	-0,66	-0,35	-0,71

Kiedy dokonano podziału ze względu na wyniki testu WJWG, zaobserwowano spadek prędkości biegowej towarzyszący wzrostowi asymetrii siły KD w teście 505 PKD ($r = -0,39$) i 505 LKD ($r = -0,41$) w grupie G2. W pozostałych porównaniach nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic. W grupach podzielonych według testu SJWB zaobserwowano korelacje pomiędzy prędkością biegu po linii prostej na odcinkach 5, 10, 20 i 30 m ($r = 0,64$; $r = 0,55$; $r = 0,64$; $r = 0,64$) a poziomem asymetrii w grupie G1. Czyli w grupie o nieznacznej asymetrii podniesieniu jej towarzyszył wzrost prędkości biegu po linii prostej.

Po podziale według wyników testu WJ zaobserwowano wzrost prędkości w biegu po linii prostej na odcinku 20 i 30 m wraz ze wzrostem asymetrii mocy KD w grupie o jej niskim poziomie ($r = 0,66$; $r = 0,68$). Natomiast w grupie G2 wzrost poziomu asymetrii korelował z uzyskiwaniem niższych prędkości w testach 505 PKD i Zigzag ($r = -0,67$; $r = -0,67$). W grupach podzielonych według kryterium PJ zaobserwowano wzrost uzyskiwanych prędkości towarzyszący wzrostowi asymetrii mocy KD w grupie G1 w biegu na 10 m ($r = 0,65$). Natomiast w grupie G2 wraz ze wzrostem asymetrii spadała prędkość uzyskiwana w testach 505 KD oraz Zigzag ($r = -0,66$; $r = -0,71$).

4. Podsumowanie

Podsumowując, zawodniczki o małej różnicy w sile i mocy mięśniowej KD osiągały wyższe prędkości biegu po linii prostej, ale mimo wszystko wzrost asymetrii w tej grupie korelował ze wzrostem prędkości (grupa G1). Analogicznie, pomimo iż grupa o wyższej asymetrii uzyskiwała wyższe prędkości średnie w testach Zigzag i 505, to wzrostowi prędkości w tej grupie towarzyszył spadek asymetrii. Oczywiście czynników wpływających na prędkość biegu jest bardzo dużo, i na podstawie tak nielicznej próby wnioskowanie jest utrudnione, ale zaobserwowano, że niewielka asymetria w sile i mocy mięśniowej KD korzystnie wpływa na prędkość biegu zarówno po linii prostej jak i ze zmianą kierunku biegu.

Przeprowadzone badanie ma pewne ograniczenia. Uzyskane wyniki pozwalają zaobserwować pewne powtarzające się tendencje we wpływie asymetrii na szybkość wielokierunkową, ale w zależności od wyboru testu różnicującego wyniki kształtują się nieco inaczej. Aby uzyskać jednoznaczne potwierdzenie, czy asymetria siły i mocy mięśniowej KD wpływa na szybkość wielokierunkową, należałoby przeprowadzić dodatkowe badania, np. zwiększyć liczebność grup badanych, czy włączyć do niego grupę osób o asymetrii większej niż 15%.

Wyniki zaprezentowane w pracy mogą mieć charakter aplikacyjny – oprócz rozwoju zdolności szybkościowo-siłowych, które są podstawowym celem treningu siłowego piłkarek nożnych, warto byłoby w planie treningowym uwzględnić informacje o wielkości asymetrii. Asymetria na niewielkim poziomie, lecz nieprzekraczająca 15%, może być korzystna dla szybkości wielokierunkowej w takim sporcie jakim jest piłka nożna.

5. Wnioski

Na podstawie zebranych w toku badań wyników dotyczących wpływu różnic siły i mocy mięśniowej pomiędzy KD na szybkość sprintu po linii prostej i ze zmianą kierunku biegu u profesjonalnych piłkarek nożnych, sformułowano następujące wnioski:

W odpowiedzi na postawione pytania badawcze, w oparciu o uzyskane wyniki, sformułowano następujące wnioski:

1. Nie wykryto istotnych zależności pomiędzy asymetrią siły i mocy mięśniowej KD i szybkością wielokierunkową dla całej badanej populacji piłkarek.
2. Po dokonaniu podziału na grupy zaobserwowano, że zawodniczki z mniejszą asymetrią siły i mocy mięśniowej KD (grupa G1) osiągały większą prędkość po linii prostej niż zawodniczki z większą asymetrią siły i mocy mięśniowej KD (grupa G2).
3. Po dokonaniu podziału na grupy zaobserwowano, że zawodniczki z większą asymetrią siły i mocy mięśniowej KD (grupa G2) osiągały większą prędkość ze zmianą kierunku biegu, niż zawodniczki z mniejszą asymetrią siły i mocy mięśniowej KD (grupa G1).
4. Wszystkie zaobserwowane istotne różnice pomiędzy testami szybkości wielokierunkowej w aspekcie analizowanych grup są równocześnie istotnie skorelowane z procentowymi różnicami siły i mocy mięśniowej KD w tych grupach.

Bibliografia autoreferatu

1. Ammar, A., Riemann, B.L., Abdelkarim, O., Driss, T., Hökelmann, A. (2020). Effect of 2- vs. 3-Minute Interrepetition Rest Period on Maximal Clean Technique and Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(9), 2548–2556.
2. Arin, A., Jansson, D. i Skarphagen, K., (2012). Maximal unilateral leg strength correlates with linear sprint and change of direction speed. K. Institute: *Department of Food and Nutrition, and Sport Science University of Goteborg*, praca doktorska.
3. Baechle, T.R., Earle, R.W., Wathen, D. (2008). Resistance training. W: *Essentials of Strength Training and Conditioning 3th edithion*. T.R. Baechle, R.W. Earle, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, str. 381–412.
4. Bell, D.R., Sanfilippo, J.L., Binkley, N. i Heiderscheit, B.C. (2014). Lean mass asymmetry influences force and power asymmetry during jumping in collegiate athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(4), 884–891.
5. Bergier, J. i Niewolna, N. (2012). Technical training for shooting goals for one-side oriented players in the UEFA Women`s Euro 2009. *Journal of Kinesiology and Exercise Sciences*, 22 (60), 143–152.
6. Bishop, C., Brashill, C., Abbott, W., Read, P., Lake, J., Turner, A. (2021 d). Jumping Asymmetries Are Associated With Speed, Change of Direction Speed, and Jump Performance in Elite Academy Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(7), 1841–1847.
7. Bishop, C., Pereira, L.A., Reis, V.P., Read, P., Turner, A.N., Loturco, I. (2020). Comparing the magnitude and direction of asymmetry during the squat, countermovement and drop jump tests in elite youth female soccer players. *Journal Sports Science*, 38(11–12), 1296–1303.
8. Bishop, C., Perez-Higueras Rubio, M., Gullon, I.L., Maloney, S., i Balsalobre-Fernandez, C. (2022 b). Jump and change of direction speed asymmetry using smartphone apps: between-session consistency and associations with physical performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(4), 927–934.
9. Bishop, C., Read, P., McCubbine, J., Turner, A. (2021a). Vertical and Horizontal Asymmetries Are Related to Slower Sprinting and Jump Performance in Elite Youth Female Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(1), 56–63.

10. Bishop, C., Turner, A., Maloney, S., Lake, J., Loturco, I., Bromley, T., Read, P. (2019a). Drop Jump Asymmetry is Associated with Reduced Sprint and Change-of-Direction Speed Performance in Adult Female Soccer Players. *Sports (Basel)*, 7(1), 29.
11. Bishop, C., Turner, A., Read, P. (2018). Effects of inter-limb asymmetries on physical and sports performance: A systematic review. *Journal Sports Science*, 36(10), 1135–1144.
12. Bompa, T., Buzzichelli, C. (2018). *Periodization of Strength Training for Sports 6th edition*, Wydawnictwo Human Kinetics.
13. Bompa, T., Zajac, A., Waszkiewicz, Z., Chmura, J. (2013). *Przygotowanie sprawnościowe w zespołowych grach sportowych*. Katowice: Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego, str. 207.
14. Callahan, D., Phillips E., Carabello, R., Frontera, W.R., Fielding, R.A. (2007). Assessment of lower extremity muscle power in functionally-limited elders, *Aging Clinical Experimental Research*, 19(3), 194–199.
15. Chalmers, S., Debenedictis, T.A., Zacharia, A., Townsley, S., Gleeson, C., Lynagh, M., Townsley, A., Fuller, J.T. (2018). Asymmetry during Functional Movement Screening and injury risk in junior football players: A replication study. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 28(3), 1281–1287.
16. Chmura, J. (2016a). Charakterystyka zespołowych gier sportowych, Piłka nożna. W: Zajac A., Chmura J., red. *Współczesny system szkolenia w zespołowych grach sportowych*. Katowice: Wydawnictwo AWF, str. 25–60.
17. Chmura, J. (2016b). Kształtowanie szybkości w grach zespołowych. W: Zajac A., Chmura J., red. *Współczesny system szkolenia w zespołowych grach sportowych*. Katowice: Wydawnictwo AWF, str. 165–174.
18. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, str. 25–74.
19. Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., i Drust, B. (2009). Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 30(3), 205–212.
20. Dos'Santos, T., Thomas, C., Jones, P.A. and Comfort, P. (2018). Asymmetries in Isometric Force-Time Characteristics Are Not Detrimental to Change of Direction Speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(2), 520–527.

21. Dos'Santos, T., Thomas, C., Jones, P., Comfort, P. (2017). Asymmetries in single and triple hop are not detrimental to change of direction speed. *Journal Trainology*, 6(2), 35–41.
22. Draper, J.A., i Lancaster, M.G. (1985). The 505 test: A test for agility in the horizontal plane. *Australian Journal for Science and Medicine in Sport*, 17(1), 15–18.
23. Earle R.W. (2006). Weight training exercise prescription. In NE: NSCA, *Essentials of Personal Training Symposium Workbook*. Lincoln, Certification Commission, str. 3–39.
24. Falcone, P.H., Tai, C.Y., Carson, L.R., Joy, J.M., Mosman, M.M., McCann, T.R., Crona, K.P., Kim, M.P., Moon, J.R. (2015). Caloric expenditure of aerobic, resistance, or combined high-intensity interval training using a hydraulic resistance system in healthy men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(3), 779–785.
25. Fielding, R.A., LeBrasseur, N.K., Cuoco, A., Bean, J., Mizer, K., Fiatarone, M.A. (2002). Single High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *Journal of the American Geriatrics Society*, 50(4), 655–662.
26. Fischerova, P., Krosta, R., Gołaś, A., Terbalyan, A., Nitychoruk, M., Maszczyk, A. (2021 b). Effect of power on agility, linear speed and change of direction deficit in female soccer players, *Physical Activity Review*, 9(1), 109–116.
27. Fischerova, P., Nitychoruk, M., Smolka, W., Żak M., Gołaś, A., Maszczyk, A. (2021 a). The impact of strength training on the improvement of jumping ability and selected power parameters of the lower limbs in soccer players. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 13(1), 83–90.
28. Fort-Vanmeerhaeghe, A., Gual, G., Romero-Rodriguez, D., Unnitha, V. (2016). Lower Limb Neuromuscular Asymmetry in Volleyball and Basketball Players. *Journal Human Kinetics*, 50(1), 135–143.
29. Fort-Vanmeerhaeghe, A., Montalvo, A.M., Sitja-Rabert, M., Kiefer, A.W. and Myer, G.D. (2015). Neuromuscular asymmetries in the lower limbs of elite female youth basketball players and the application of the skillful limb model of comparison. *Physical Therapy in Sport*, 16(4), 317–323.
30. Freitas, T.T., Alcaraz, P.E., Calleja-González, J., Arruda, A.F.S., Guerriero, A., Kobal, R., Reis, V.P., Pereira, L.A., Loturco, I. (2021). Differences in Change of Direction Speed and Deficit Between Male and Female National Rugby Sevens Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(11), 3170–3176.

31. Gołaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K., Stastny, P. (2016a). Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *Journal Human Kinetics*, 52(1), 95–106.
32. Hart, N., Nimphius, S., Spiteri, T., Newton, R. (2014). Leg strength and lean mass symmetry influences kicking performance in Australian Football. *Journal of Sports Science Medicine*, 13(1), 157–165.
33. Hoffman, J.R., Ratamess, N.A., Klatt, M., Faigenbaum, A.D., i Kang, J. (2007). Do bilateral power deficits influence direction-specific movement patterns? *Research in Sports Medicine*, 15(2), 125–132.
34. Impellizzeri, F.M., Rampinini, E., Maffiuletti, N., i Marcora, S.M. (2007). A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Medicine Science Sports Exercise*, 39(11), 2044–2050.
35. Işın, A., Akdağ, E., Özdoğan, E., Çetin, E., Bishop, C. (2022). Associations between differing magnitudes of inter-limb asymmetry and linear and change of direction speed performance in male youth soccer players. *Biomedical Human Kinetics*, 14(1) 67–74.
36. Kutlu, M., Yapıcı, H., Yoncalık, O., i Celik, S. (2012). Comparison of a new test for agility and skill in soccer with other agility tests. *Journal of Human Kinetics*, 33, 143–150.
37. Lago-Peñas, C., Rey, E., Casáis, L., i Gómez-López, M. (2014). Relationship between performance characteristics and the selection process in youth soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 40, 189–199.
38. Little, T., Williams, A.G. (2005). Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 76–78.
39. Lockie, R., Dawes, J., Jones, M. (2018). Relationships between Linear Speed and Lower-Body Power with Change-of-Direction Speed in National Collegiate Athletic Association Divisions I and II Women Soccer Athletes. *Sports (Basel)*, 6(2), 30.
40. Lockie, R.G., Callaghan, S.J., Berry, S.P., Cooke, E.R.A, Jordan, C.A., Luczo, T.M. i Jeffriess, M.D. (2014). Relationship between unilateral jumping ability and asymmetry on multidirectional speed in team-sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(12), 3557–3566.
41. Lockie, R.G., Stage, A.A., Stokes, J.J., Orjalo, A.J., Davis, D.L., Giuliano, D.V. (2016). Relationships and Predictive Capabilities of Jump Assessments to Soccer-Specific Field Test Performance in Division I Collegiate Players. *Sports (Basel)*, 4(4), 56.

42. Loturco, I., Pereira, L.A., Kobal, R., Abad, C.C.C., Rosseti, M., Carpes, F.P., Bishop, C. (2019). Do asymmetry scores influence speed and power performance in elite female soccer players? *Biology of Sport*, 36(3), 209–216.
43. Madruga-Parera, M., Romero-Rodríguez, D., Bishop, C., Beltran-Valls, M.R., Latinjak, A.T., Beato, M. (2019). Effects of Maturation on Lower Limb Neuromuscular Asymmetries in Elite Youth Tennis Players. *Sports (Basel)*, 7(5), 106.
44. Maestas, C., Preuhs, R.R. (2000). Modeling volatility in political time series. *Electoral Studies*, 19(1), 95–110.
45. Maior, A.S. (2020). Absolute and relative peak power during pneumatic squat exercise using different percentages of loads in elite soccer players. *Human Movement*, 21(3), 64–70.
46. Maloney, S.J., Richards, J., Nixon, D.G., Harvey, L.J., Fletcher, I.M. (2017). Do stiffness and asymmetries predict change of direction performance? *Journal of Sports Science*, 35(6), 547–556.
47. Maszczyk, A., Roczniok, R., Czuba, M., Zajac, A., Waszkiewicz, Z., Mikołajec, K., Stanula, A. (2012). Application of regression and neural models to predict competitive swimming performance. *Perceptual & Motor Skills*, 114(2), 610–624.
48. Maszczyk, A., Gołaś, A., Pietraszewski, P., Roczniok, R., Zajac, A., Stanula, A. (2013). Application of Neural and Regression Models in Sports Results Prediction. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 117, 482–487.
49. Maszczyk, A., Zajac, A., Ryguła, I. (2011). A Neural Network model approach to athlete selection. *Sport Engineering*, 13, 83–93.
50. McCullough, B.D., Wilson, B. (2005). On the accuracy of statistical procedures in Microsoft Excel 2003. *Computational Statistics and Data Analysis*, 49, 1244–1252.
51. Mikołajec, K., Gabryś, T., Gryko, K., Prończuk, M., Krzysztofik, M., Trybek, G. i Maszczyk, A. (2022). Relationship among the Change of Direction Ability, Sprinting, Jumping Performance, Aerobic Power and Anaerobic Speed Reserve: A Cross-Sectional Study in Elite 3x3 Basketball Players. *Journal of Human Kinetics*, 85(1), 105–113.
52. Mujika, I., Santisteban, J., Impellizzeri, F.M., i Castagna, C. (2009). Fitness determinants of success in men's and women's football. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 107–114.
53. Nakahira, Y., Taketomi, S., Kawaguchi, K., Mizutani, Y., Hasegawa, M., Ito, C., Uchiyama, E., Ikegami, Y., Fujiwara, S., Yamamoto, K., Nakamura, Y., Tanaka, S.,

- Ogata, T. (2022). Kinematic Differences Between the Dominant and Nondominant Legs During a Single-Leg Drop Vertical Jump in Female Soccer Players. *The American Journal of Sports Medicine*, 50(10), 2817–2823.
54. Nimphius, S., Mcguigan, M.R., Newton, R.U. (2010). Relationship Between Strength, Power, Speed, and Change of Direction Performance of Female Softball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 885–889.
 55. Papla, M., Krzysztofik, M., Wojdala, G., Rocznik, R., Oslizlo, M., & Golas, A. (2020). Relationships between Linear Sprint, Lower-Body Power Output and Change of Direction Performance in Elite Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6119.
 56. Papla, M., Latocha, A., Grzyb, W., Golas, A. (2022). Relationship between lower limb power output, sprint and change of direction performance in soccer players. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*. 14(3), artykuł 3.
 57. Pardos-Mainer, E., Bishop, C., Gonzalo-Skok O., Nobari, H., Pérez-Gómez, J., Lozano, D. (2021). Associations between Inter-Limb Asymmetries in Jump and Change of Direction Speed Tests and Physical Performance in Adolescent Female Soccer Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3474.
 58. Raya-González, J., Clemente, F.M., Castillo, D. (2021). Analyzing the Magnitude of Interlimb Asymmetries in Young Female Soccer Players: A Preliminary Study. *International journal of environmental research and public health*, 18(2), 475.
 59. Redden, J. (2019). Assessing Lower Limb Strength, Power and Asymmetry in Elite Soccer Players using the Keiser Air 420 Seated Leg Press. *University of Bath* [praca doktorska].
 60. Redden, J., Stokes, K., Williams, S. (2018). Establishing the Reliability and Limits of Meaningful Change of Lower Limb Strength and Power Measures during Seated Leg Press in Elite Soccer Players. *Journal of Sports Science Medicine*, 17(4), 539–546.
 61. Siegel, J.A., Gilders, R.M., Staron, R.S., Hagerman, F.C. (2002). Human muscle power output during upper- and lower-body exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 173–178.
 62. Vigne, G., Gaudino, C., Rogowski, I., Alloatti, G., i Hautier, C. (2010). Activity profile in elite Italian soccer team. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 304–310.
 63. Żuk, B., Sutkowski, M., Paško, S., i Grudniewski, T. (2019). Posture correctness of young female soccer players. *Scientific Reports*, 9(1), 11179.