

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
IM. JERZEGO KUKUCZKI W KATOWICACH

Monika Papla

**ZALEŻNOŚĆ MIĘDZY SIŁĄ I MOCĄ KOŃCZYN DOLNYCH
A EFEKTYWNOŚCIĄ ZMIANY KIERUNKU BIEGU U ZAWODNIKÓW
ZESPOŁOWYCH GIER SPORTOWYCH**

Autoreferat rozprawy na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

Promotor:
prof. dr hab. Michał Krzysztofik

Katowice 2024

Spis treści

1. Wstęp.....	4
2. Przedmiot rozprawy.....	8
2.1 Cel badań, pytania badawcze, hipoteza	8
2.2 Osiągnięcia naukowe	10
3. Materiał i metody badawcze	11
3.1. Metody analizy statystycznej	16
4. Wyniki badań.....	18
5. Dyskusja	20
6. Wnioski.....	26
7. Bibliografia.....	28

Skróty zastosowane w pracy

MAT- (ang. modified T-test) zmodyfikowany T-test

COD- (ang. change of direction) zmiana kierunku biegu

LP- (ang. leg press) trener do wypychania obciążenia kończynami dolnymi siedząc

CMJ- (ang. countermovement jump) skok pionowy z miejsca bez zamachu kończyn górnych

DJ- (ang. drop jump) skok pionowy po zeskoku w głąb

1RM- (ang. one-repetition maximum) jedno powtórzenie maksymalne

PAPE- (ang. post-activation performance enhancement) efekt poaktywacyjnego wzrostu sprawności fizycznej

RSI- (ang. reactive strength index) wskaźnik siły reaktywnej

AD- (ang. adductors) mięśnie przywodzące kończynę dolną

AB- (ang. abductors) mięśnie odwodzące kończynę dolną

1. Wstęp

Gry zespołowe takie jak koszykówka i piłka nożna charakteryzują się licznymi (od 550 do nawet 1000 razy) zmianami kierunku biegu (COD), a także zmianami prędkości poruszania się (Bloomfield i in. 2007; Drinkwater i in. 2008; McInnes i in. 1995; Papla i in. 2020). Dodatkowo autorzy zwracają uwagę na to, że sprinty na dystansie 3-5 metrów stanowią około 30% czasu gry, a pozostały czas to różnego rodzaju zmiany kierunku (Ben Abdelkrim i in. 2007; McInnes i in. 1995). Występują różnorodne sposoby oceny umiejętności COD takie jak bieg wahadłowy, test trójstożkowy, ZigZag, L-test, T-test, test zwinności Illinois (Sassi i in. 2009; Lockie i in. 2013; Hachana i in. 2013; Dugdale i in. 2018; Collins i in. 2018), dzięki czemu trenerzy mogą w praktyce zastosować odpowiedni dla specyfiki dyscypliny sportu test. Cechą wspólną wszystkich testów COD jest zdolność zawodnika do przyspieszania, zwalniania oraz ponownego przyspieszania w nowym kierunku co wymaga szybkiego dostosowania generowanej siły. Natomiast różnicuje je dystans biegu, liczba zmian kierunku w trakcie jednego testu oraz kąt zmiany kierunku biegu. Zgodnie z sugestiami Falch i in. (2019) oraz Bourgeois (2017) uważa się, że kąty zmiany poniżej 90° są uznawane za w większym stopniu zależne od poziomu prędkości, a te powyżej 90° . Ponadto, niektóre ze stosowanych testów, jak zmodyfikowany T-test (MAT) uwzględnia różne sposoby poruszania się tj. bieg w linii prostej, krok odstawno-dostawny oraz bieg tyłem, co odwzorowuje niektóre sytuacje meczowe (np. w koszykówce, siatkówce czy piłce ręcznej) oraz odróżnia go od innych testów COD (Lockie i in. 2014; Scanlan i in. 2021). W związku z tymi spostrzeżeniami badacze coraz częściej poszukują zmiennych które mają wpływ na uzyskanie lepszych wyników w próbach COD (Nimphius i in. 2010; Lockie i in. 2014; Bishop i in. 2020; O'Grady i in. 2021). Od dawna uważa się, że konwencjonalny trening siły i mocy mięśniowej kończyn dolnych przyczynia się do istotnego skrócenia czasu uzyskiwanego w testach COD (Brughelli i in. 2012). Jednak dowody naukowe nie są zgodne w kwestii, które z wskaźników siły i mocy mięśniowej kończyn dolnych są w największym stopniu powiązane z czasem uzyskanym w wybranych testach COD (Spiteri i in. 2014; Papla i in. 2020; Suarez-Arrones i in. 2020). Na przykład, Spiteri i in. wykazali, istotne ujemne korelacje między maksymalną siłą dynamiczną (w przysiadzie ze sztangą) i generowaną w warunkach izometrycznych (izometryczny martwy ciąg z wysokości uda) a czasem w T-test i 505. Z kolei, Papla i in. wykazali, że czas sprintu liniowego na dystansie 20 m, wynik testu jednego powtórzenia maksymalnego (1RM) podczas przysiadu ze sztangą oraz mocą uzyskaną podczas przysiadu z obciążeniem 50% 1RM a czasem w testach „ZigZag” i testem „L” to odrębne zmienne. Również Suarez-Arrones i in. wykazali, że

wysokość skoków pionowych z zamachem ramion (countermovement jump – CMJ with arm swing), sprint na dystansie 10 m, oraz poziom mocy uzyskany w przysiadzie to odrębne zdolności motoryczne, które nie tłumaczą czasu osiąganego w testach COD ze zmianą kierunku o kątach 90 i 180°.

Wśród powszechnie stosowanych testów COD, test MAT jest jednym z niewielu, który łączy różnorodne sposoby poruszania się. Test ten jest rekomendowany jako test COD dla koszykarzy i siatkarzy, ponieważ skutecznie odzwierciedla czynności ruchowe wykonywane w trakcie rywalizacji sportowej (Wen i in. 2018). Niemniej, zgodnie z najlepszą wiedzą autorki, tylko jedno badanie dotychczas analizowało związek między MAT a siłą oraz mocą mięśniową u koszykarzy (Scanlan i in. 2021). Badanie przeprowadzone przez Scanlan i in. (2021) wykazało, że czas uzyskany w MAT w dużej mierze opiera się na kilku wskaźnikach mocy i siły mięśniowej kończyn dolnych, takich jak odległość skoku w dal z miejsca, względna maksymalna siła generowana w warunkach izometrycznych uzyskana podczas martwego ciągu z wysokości uda oraz względna maksymalna siła uzyskana podczas CMJ i czas sprintu na dystansie 10 m. Ponadto, należy podkreślić, że wspomniane badanie uwzględniało próby testu MAT inicjowane wyłącznie przez kończynę dominującą (Scanlan i in. 2021). Dlatego nie wiadomo, czy strona, w którą rozpoczynany jest MAT może stanowić czynnik modyfikujący występowanie i poziom korelacji. Odległość pokonywana przez każdą kończynę dolną jako kończynę odstawną i dostawną pozostaje taka sama, niezależnie od tego, w którą stronę wykonywany jest pierwszy zwrot, a zmiany kierunku są wykonywane na przemian między obiema kończynami. Jednakże, strona zwrotu determinuje, która kończyna dwukrotnie będzie kończyną odstawną (podczas pierwszego zwrotu o kącie 90° i trzeciego zwrotu o kącie 180°). Czwarty zwrot wiąże się z wyhamowaniem i zmianą kierunku ruchu do tyłu. Dodatkowo, mimo że połowa odległości testu MAT jest pokonywana krokiem odstawno-dostawnym to brakuje badań dotyczących zależności uzyskiwanego czasu a siłą mięśni odwodzących i przywodzących kończynę dolną. W związku z powyższym sformułowanie deterministycznych modeli testów COD pomogłoby zidentyfikować najważniejsze zmienne powiązane z uzyskiwanym w nich czasem, a następnie zoptymalizować proces treningowy, w tym wybór ćwiczeń.

Specyficzność treningu jest kluczowym elementem w planowaniu programu treningowego dla optymalnego transferu adaptacji fizjologicznej na poprawę wyniku sportowego. Ćwiczenia bilateralne są fundamentalnym elementem treningów skoncentrowanych na budowaniu maksymalnej siły mięśniowej. Z drugiej strony, ćwiczenia

unilateralne wydają się lepiej odzwierciedlać ruchy takie jak bieganie czy zmiana kierunku, ponieważ są one wykonywane głównie unilateralnie. W związku z tym, wyselekcjonowanie odpowiednich ćwiczeń ma kluczowy wpływ na efektywność stosowanych metod treningowych. Ma to również szczególne znaczenie na przykład podczas programowania procesu treningowego z wykorzystaniem metody treningu kompleksowego (Kalinowski i in. 2022). Wspomniana metoda treningowa opiera się na wywoływaniu efektu poaktywacyjnego wzrostu sprawności fizycznej (ang. post-activation performance enhancement - PAPE) (Seitz i Haff 2016; Krzysztofik i in. 2021). Efekt PAPE odnosi się do wykonania ćwiczenia aktywacyjnego o wysokiej intensywności i niskiej objętości, które przyczynia się do zwiększenia sprawności fizycznej w następnym wykonywanym zadaniu ruchowym (Gołaś i in. 2016; Blazevich i Babault 2019; Krzysztofik i in. 2020). W praktyce treningowej oraz w badaniach naukowych, najczęściej stosuje się ćwiczenie oporowe z obciążeniem przekraczającym 80%1RM przed zadaniem eksplozywnym o podobnym wzorcu ruchowym (Seitz i Haff 2016). Na przykład przysiad ze sztangą wykonywany przed skokiem pionowym. Ponieważ liczne badania potwierdziły skuteczność PAPE w krótkotrwałej poprawie sprawności fizycznej (Chen i in. 2017; Tsoukos i in. 2019; Timon i in. 2019; Krzysztofik i Wilk 2020; Ciocca i in. 2021) to powszechne stało się stosowanie wspomnianych kompleksów podczas treningów oraz jako część rozgrzewki przed rywalizacją sportową (O'Grady i in. 2021; Finlay i in. 2022). Jak wspomniano wcześniej, wybrane pary ćwiczeń PAPE powinny charakteryzować się zbliżonymi wzorcami ruchowymi. Wynika to z faktu, że istnieje duże prawdopodobieństwo, że efekt PAPE występuje głównie lokalnie (Seitz i Haff 2016; Cuenca-Fernández i in. 2017; Wong i in. 2020). W związku z tym, na przykład wykonanie przysiadu ze sztangą może poprawić wynik skoku pionowego, ale efekt może nie być tak istotny w skoku w dal. Niemniej jednak wymagania, zarówno podczas treningu, jak i zawodów sportowych, obejmują realizację złożonych zadań ruchowych, często w różnych kierunkach, takich jak bieganie ze zmianą kierunku. Wśród wielu metodologii treningowych ukierunkowanych na kształtowanie siły i mocy mięśniowej trening kompleksowy staje się coraz bardziej popularny (Freitas i in. 2017; Soriano i in. 2017). Biorąc jednak pod uwagę, że test MAT obejmuje różne sposoby poruszania się, nie jest jasne, jakie ćwiczenia należy wykorzystać jako aktywację w treningu kompleksowym. Ponieważ bieganie stanowi naprzemienne jednostronne ruchy to wydaje się, że ćwiczenia unilateralne mogą być w tym przypadku skuteczniejsze niż bilateralne jako ćwiczenie aktywacyjne (Krzysztofik i in. 2023). Dodatkowo, podczas testu MAT połowa dystansu jest pokonywana poprzez krok odstawno-dostawny. Z tego powodu ćwiczenia uwzględniające ruchy lateralne mogą być również pożądane. W związku z tym, połączenie

ćwiczeń unilateralnych o wysokiej intensywności angażujących prostowniki stawu kolanowego oraz mięśnie odwodzące kończynę dolną może odzwierciedlać test MAT i stanowić skuteczną kombinację aktywacyjną do implementacji w treningu kompleksowym. Niemniej, konieczne jest wcześniejsze ustalenie związku między czasem uzyskiwanym w teście MAT a siłą i mocą kończyn dolnych, a następnie empiryczne potwierdzenie skuteczności w treningu.

Biorąc pod uwagę, że wiele dyscyplin sportowych charakteryzuje się dynamicznymi, jednostronnymi czynnościami ruchowymi, takimi jak skoki czy zmiany kierunku to warunki te mogą prowadzić do rozwinięcia asymetrycznych adaptacji nerwowomięśniowych kończyn dolnych (Hewit i in. 2012; Menzel i in. 2013). Znacząca asymetria siły czy mocy kończyn dolnych może stanowić istotny czynnik ryzyka urazów oraz może wpływać na obniżenie sprawności fizycznej (Hewit i in. 2012; Impellizzeri i in. 2007; McElveen in. 2010; Newton i in. 2006). Na przykład, Maloney i in. (2016), Bishop i in. (2021) oraz Michailidis i in. (2020) wykazali, że asymetria między kończynami dolnymi mierzona poprzez wysokość skoku pionowego unilateralnie jest pozytywnie powiązana z czasem sprintu na dystansie 20m. Jednak Maloney i in. (2016) badali grupę zdrowych, ale niewytrenowanych mężczyzn, podczas gdy Bishop i in. (2021) oraz Michailidis i in. (2020) przeprowadzili badania na grupie piłkarzy nożnych w wieku od 10 do 15 lat (Maloney i in. 2016; Michailidis i in. 2020; Bishop i in. 2021). Z kolei Lockie i in. (2014) stwierdzili, że asymetria dolnych kończyn nie wpływa na czas testu 505 (180° COD) u zawodników gier zespołowych. Autorzy sugerowali, że wartość asymetrii międzykończynowej zbliżona do 10% w wysokości skoku pionowego wykonywanego unilateralnie nie powinna mieć wpływu na czas sprintu (Lockie i in. 2014). Mając na uwadze, że kąty zmiany w poszczególnych testach COD mogą decydować o zależnościach, należy ustalić, czy istnieje powiązanie między asymetrią w poziomie mocy kończyn dolnych, a czasem w testach COD o innych kątach zmiany.

2. Przedmiot rozprawy

2.1 Cel badań, pytania badawcze, hipoteza

Celem cyklu badań było ustalenie zależności między wybranymi testami COD tj. „L”, „ZigZag” oraz MAT, a wybranymi wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych oraz czasem sprintu. Następnie, po weryfikacji zmiennych korelujących z czasem uzyskiwanym w teście MAT, celem stało się określenie skuteczności połączenia ćwiczeń jako kompleksu aktywacyjnego do wywołania efektu poaktywacyjnego wzmocnienia sprawności fizycznej, ocenianego na podstawie czasu uzyskiwanego w teście MAT.

Pytania badawcze zawarte w cyklu publikacji:

Badanie 1:

1. Czy i jak względna moc szczytowa uzyskana podczas LP lub/i czas sprintu na dystansie 5 oraz 20 m będzie skorelowana z czasem w testach „L” oraz „ZigZag”?
2. Czy i jak asymetria między kończynami dolnymi w poziomie uzyskanej względnej mocy szczytowej podczas LP lub/i czas sprintu na dystansie 5 oraz 20 m będzie skorelowana z czasem w testach „L” oraz „ZigZag”?

Badanie 2:

1. Czy kierunek, w którym rozpoczynany jest test MAT ma wpływ na występujące korelacje między badanymi zmiennymi?
2. Czy i jak następujące zmienne: wysokość, maksymalna prędkość, poziom względnej mocy maksymalnej podczas skoku pionowego oraz wysokość, czas kontaktu, wskaźnik siły reaktywnej, poziom względnej mocy maksymalnej podczas skoku pionowego po zeskoku w głąb, czas sprintu na dystansie 5 oraz 20m i poziom generowanej mocy podczas LP będą skorelowane z czasem testu MAT rozpoczynanego w dominującą lub niedominującą stronę?
3. Czy i jak siła uzyskana w warunkach maksymalnego dobrowolnego skurczu izometrycznego podczas odwodzenia i/lub przywodzenia kończyn dolnych będzie skorelowana z czasem testu MAT rozpoczynanego w lewą lub prawą stronę?

Badanie 3:

1. Jak kompleks aktywacyjny składający się z przysiadów o wysokiej intensywności i skoków po zeskoku w głąb wpłynie na czas testu MAT?
2. Czy sposób wykonania kompleksu aktywacyjnego (unilateralnie vs. bilateralnie) będzie różnicował wpływ na czas uzyskany w teście MAT?

Hipoteza:

Badanie 1:

1. Moc uzyskana podczas LP będzie ujemnie skorelowana z czasem w testach „L” oraz „ZigZag”.
2. Asymetria w poziomie uzyskanej mocy szczytowej podczas LP będzie pozytywnie skorelowana z czasem w testach „L” oraz „ZigZag”.

Badanie 2:

1. Siła i moc uzyskana podczas LP, poziom względnej mocy uzyskanej podczas CMJ i DJ będzie ujemnie skorelowana z czasem testu MAT.
2. Siła generowana w warunkach izometrycznych podczas testów odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych będzie ujemnie skorelowane z czasem testu MAT.
3. Strona, w którą rozpoczynany jest test MAT będzie różnicowała poziom korelacji między siłą generowaną w warunkach izometrycznych podczas testów odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych, a czasem w teście MAT.

Badanie 3:

1. Kompleks aktywacyjny wykonywany w sposób unilateralny (przysiad w wykroku oraz skok lateralny po zeskoku w głąb) w istotny i natychmiastowy sposób przyczyni się do skrócenia czasu w teście MAT.
2. Sposób wykonania kompleksu aktywacyjnego (unilateralnie vs. bilateralnie) będzie miał istotny wpływ na czas uzyskany w teście MAT.

2.2 Osiągnięcia naukowe

Przedmiotem rozprawy jest osiągnięcie naukowe przedstawione w postaci trzech tematycznych prac opublikowanych w czasopiśmie z listy JCR. Łączna wartość punktowa prac wynosi **IF= 5.9; MEiN= 270**.

Prace zostały przedstawione pod wspólnym tematem: **"Zależność między siłą i mocą kończyn dolnych a efektywnością zmiany kierunku biegu u zawodników zespołowych gier sportowych"**

Wykaz opublikowanych prac:

1. **Monika Papla**, Agata Latocha, Wojciech Grzyb, Artur Gołaś. „*Relationship between lower limb power output, sprint and change of direction performance in soccer players.*” *Baltic Journal of Health and Physical Activity* 2022;14(3):Article3. <https://doi.org/10.29359/BJHPA.14.3.03>

[MEiN: 70]

2. **Monika Papla**, Dawid Perenc, Adam Zając, Adam Maszczyk, Michał Krzysztofik. „*Contribution of Strength, Speed and Power Characteristics to Change of Direction Performance in Male Basketball Players*”. *Applied Sciences* 2022, 12, 8484. <https://doi.org/10.3390/app12178484>

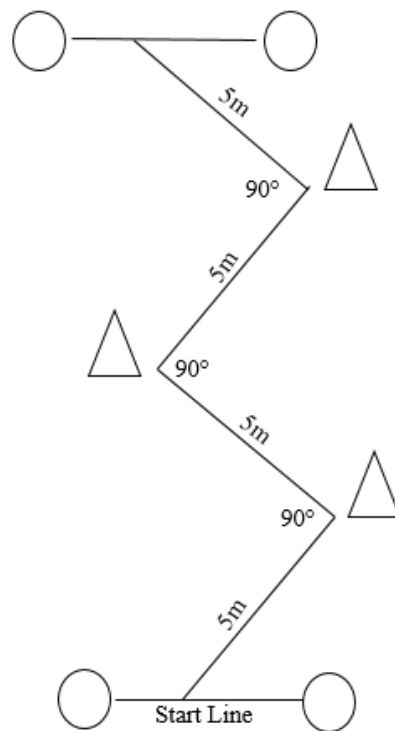
[IF: 2.7 MEiN: 100]

3. **Monika Papla**, Paulina Ewertowska, Michał Krzysztofik. „*Acute Effects of Complex Conditioning Activities on Athletic Performance and Achilles Tendon Stiffness in Male Basketball Players*”. *Journal of Sports Science and Medicine* (22), 281 - 287. <https://doi.org/10.52082/jssm.2023.281>

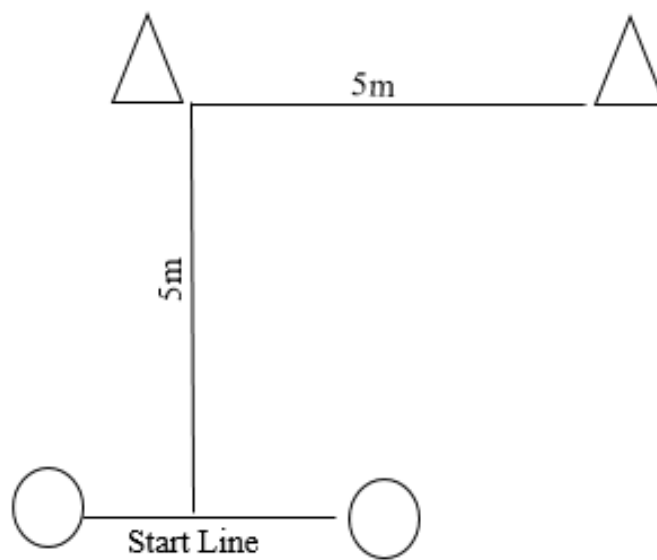
[IF: 3.2 MEiN: 100]

3. Materiał i metody badawcze

W pierwszym badaniu udział wzięło 24 zawodowych piłkarzy pierwszoligowego zespołu (wiek = $24,8 \pm 8,2$ lata, masa ciała = $77,4 \pm 16,9$ kg, wysokość ciała = $179,5 \pm 14,5$ cm, doświadczenie treningowe w piłce nożnej = $10 \pm 1,5$ lat). Testy przeprowadzono podczas przerwy zimowej sezonu rozgrywkowego w celu wyeliminowania dodatkowych czynników, a kryteria włączenia obejmowały: a) doświadczenie treningowe powyżej 8 lat, b) regularny udział w rywalizacji sportowej na poziomie krajowym, c) brak urazu w okresie 6 miesięcy poprzedzających badania. Badanie składało się z dwóch sesji eksperymentalnych, które odbywały się o tej samej porze dnia i były poprzedzone jednakowym protokołem rozgrzewki. Podczas pierwszej sesji eksperymentalnej wszyscy uczestnicy wykonali testy biegowe tj. sprint na dystansie 5 i 20 m, a także test „ZigZag” oraz „L”. Testy te były przeprowadzane na hali ze sztuczną nawierzchnią. Czasy biegów były rejestrowane przez zestawy fotokomórek Witty Gate (Microgate, Bolzano, Włochy) o precyzji pomiaru 0,01 s. W przypadku biegów po linii prostej, fotokomórki były ustawione na linii startowej, 5 i 20 m, natomiast podczas testów COD jak zaprezentowano na Ryc. 1 i 2. Po rozgrzewce uczestnicy wykonali dwie próby sprintu na dystansie 20 m. Następnie po 5 minutowej przerwie wypoczynkowej przystąpili do testów COD. Każdy uczestnik w losowej kolejności wykonał dwa testy COD na dystansie 20 m o kącie zmiany wynoszącym 90° : „ZigZag” oraz test „L”. Zadaniem uczestnika było pokonanie odcinka z obiegnięciem wyznaczonych pachołków w teście „ZigZag” i dotknięciem pachołków w teście „L”, zmieniając kierunek biegu. Każdy test biegowy został wykonany dwa razy z 3-minutową przerwą między próbami. Podczas każdej próby uczestnicy zostali poinformowani o wykonaniu jej tak szybko, jak to możliwe. Najlepszy czas z każdego testu został zachowany do dalszej analizy. Podczas każdej próby uczestnicy startowali, gdy byli gotowi, aby wyeliminować wpływ czasu reakcji.



Rycina 1. Graficzna prezentacja testu „ZigZag”.



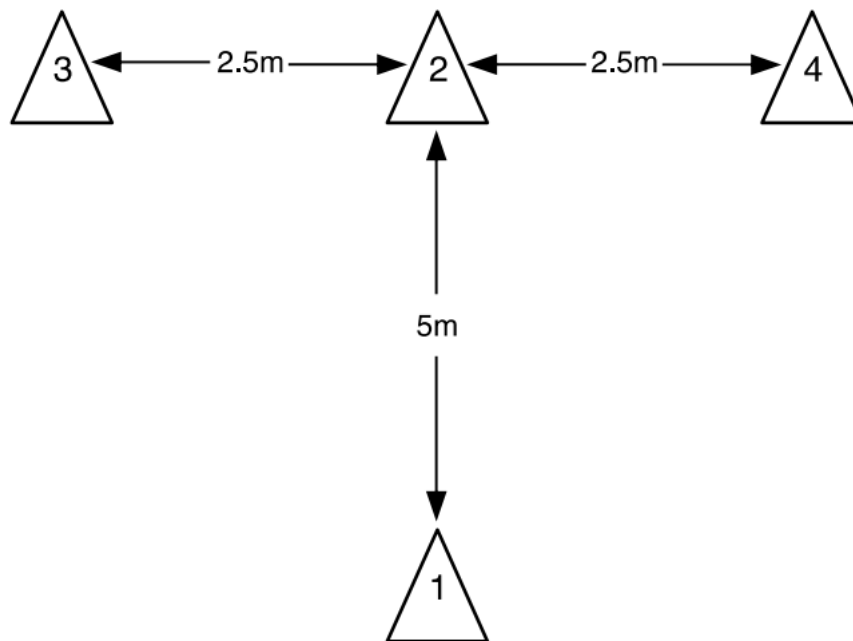
Rycina 2. Graficzna prezentacja testu „L”.

Podczas drugiej sesji eksperymentalnej dokonano oceny względnej szczytowej mocy podczas LP wykonywanego z zastosowaniem trenera Keiser Air420 (Keiser Corporation, Fresno, CA, USA). Po wykonaniu jednakowej rozgrzewki jak podczas pierwszej sesji eksperymentalnej każdy uczestnik wykonał dwa powtórzenia LP bilateralnie, a następnie każdą kończyną z osobna. Ćwiczenie polegało na wypychaniu platform trenera z pozycji siedzącej, rozpoczynając ze stawami kolanowymi zgiętymi pod kątem 90°, aż do pełnego wyprost. Uczestnicy zostali poinformowani o wykonaniu wyprost stawu kolanowego tak szybko, jak to możliwe. Pomiędzy próbami przeprowadzano 3 min. przerwy, a do dalszej analizy zachowano najlepsze wyniki. Ocenie poddano względną moc szczytową [W/kg m.c.]. Obciążenie zewnętrzne wynosiło 120% masy ciała badanych. Do obliczenia asymetrii w poziomie względnej szczytowej mocy podczas LP wykorzystano wskaźnik LSI (ang. limb symmetry index) uzyskany po zastosowaniu następującego wzoru (Bishop i in. 2016):

$$LSI(\%) = \left(2 * \frac{(prawa\ noga - lewa\ noga)}{prawa\ noga + lewa\ noga} \right) * 100.$$

W drugim badaniu udział wzięło 19 koszykarzy drugoligowego zespołu (wiek = 22,7 ± 3,4 lata, masa ciała = 86,5 ± 5,7 kg, wysokość ciała = 192,6 ± 4,8 cm, doświadczenie treningowe w koszykówce = 5,8 ± 2,3 lat). Testy przeprowadzono na początku sezonu, a kryteria włączenia obejmowały: a) doświadczenie treningowe powyżej 5 lat, b) regularny udział w rywalizacji sportowej na poziomie krajowym, c) brak zaburzeń nerwowomięśniowych i układu mięśniowo-szkieletowego w okresie 6 miesięcy poprzedzających badania. Badanie składało się z dwóch sesji eksperymentalnych, które odbywały się o tej samej porze dnia i były poprzedzone jednakowym protokołem rozgrzewki. Podczas pierwszej sesji eksperymentalnej wszyscy uczestnicy wykonali testy biegowe tj. sprint na dystansie 5 i 20 m, a także test MAT (Ryc. 3). Czasy biegów były rejestrowane przez zestawy fotokomórek Witty Gate (Microgate, Bolzano, Włochy). W przypadku biegów po linii prostej, fotokomórki były ustawione na linii startowej, 5 i 20 m, natomiast podczas testu MAT wyłącznie na linii startowej. Po rozgrzewce uczestnicy wykonali dwie próby sprintu na dystansie 20 m. Następnie po 5 minutowej przerwie wypoczynkowej przystąpili do testu MAT. Zadaniem uczestnika było pokonanie 20 m odcinka z wyznaczonymi pachołkami, zmieniając kierunek biegu tj. 5 m biegu w przód, dotykając górnej części środkowego pachołka, następnie krokiem odstawno-dostawnym przesuwali się o 2,5 m w lewo lub w prawo, w zależności od próby, aby dotknąć kolejnego pachołka. Następnie, ponownie krokiem odstawno-dostawnym przesuwali się 5 m w przeciwnym kierunku, dotykali pachołka, przesuwali się o 2,5 m z powrotem do środkowego znacznika,

a następnie biegiem w tył przez bramki pomiarowe do linii końcowej. Przeprowadzono cztery próby, z dwiema rozpoczętymi zwrotami na lewą stronę i dwiema na prawą stronę. Każdy test biegowy został wykonany dwa razy z 3-minutową przerwą między próbami. Podczas każdej próby uczestnicy zostali poinformowani o wykonaniu zadania tak szybko, jak to możliwe. Najlepszy czas z każdego testu został zachowany do dalszej analizy. Podczas każdej próby uczestnicy startowali, gdy byli gotowi, aby wyeliminować wpływ czasu reakcji.



Rycina 3. Graficzna prezentacja testu MAT.

Podczas drugiej sesji eksperymentalnej dokonano pomiaru wybranych zmiennych kinematycznych podczas CMJ i DJ, względnej mocy szczytowej podczas LP oraz siły generowanej w warunkach izometrycznych testów odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych. Pomiar skoków zostały wykonane za pomocą platformy dynamometrycznej (Force Decks, Vald Performance, Albion, Australia; częstotliwość próbkowania 1000Hz). CMJ był rozpoczynany z pozycji stojącej z wyprostowanymi stawami kolanowymi i tułowiem, stopami ustawionymi na szerokość obręczy barkowej oraz dłońmi na biodrach. Następnie, uczestnicy zostali poproszeni o wykonanie przysiadu do poziomu wybranego przez siebie i natychmiastowego wykonania maksymalnego skoku pionowego. Po każdym skoku zawodnik wracał do pozycji wyjściowej, a procedurę powtarzano dwukrotnie. Oceniano następujące

zmiennie: wysokość skoku [cm], szczytową prędkość [m/s], oraz względną szczytową moc [W/kg m.c.]. DJ był wykonywany ze skrzyni o wysokości 60 cm. Uczestnicy zostali poinstruowani, aby zainicjować skok swobodnym opadem (a nie wyskokiem) ze skrzyni rozpoczynając jedną kończyną, a następnie "wyskoczyć jak najszybciej i jak najwyżej po kontakcie z podłożem". Oceniano następujące zmiennie: czas kontaktu (s), wysokość skoku (cm), wskaźnik siły reaktywnej (z ang. reactive strength index – RSI), oraz względną szczytową moc (W/kg m.c.). Skoki były uznawane za nieprawidłowe, jeśli zawodnik ugiął kończyny dolne podczas lotu, lądował poza platformą lub wyskakiwał ze skrzyni w przypadku DJ. Do dalszej analizy wykorzystano najlepsze skoki pod względem wysokości spośród wykonanych prób. Ocenę siły w warunkach izometrycznych podczas odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych wykonano za pomocą systemu dynamometrów GroinBar Hip Strength Testing System (Vald Performance, Albion, Australia; częstotliwość próbkowania 50Hz). Próba była przeprowadzana w pozycji leżąc tyłem, z indywidualnie dopasowaną wysokością czujnika dynamometru, aby zapewnić zgięcie stawu kolanowego i biodrowego równego 45° . Podczas testu przywodzenia kłykcie przyśrodkowe kości udowej przylegały do czujnika, natomiast podczas odwodzenia kłykcie boczne kości udowej. Przeprowadzono dwie maksymalne wolicjonalne próby z 3-minutowymi przerwami, a uczestnicy zostali poinstruowani, aby przez 5 s naciskać na czujniki urządzenia maksymalnie i jak najszybciej. Próba, w której uzyskano najwyższą wartość siły została zachowana do dalszej analizy. Do oceny szczytowej mocy podczas LP ponownie wykorzystano trener Keiser Air420 (Keiser Corporation, Fresno, CA, USA). Obciążenie zewnętrzne wynosiło $60\%1RM$, a przebieg testu był jednakowy jak podczas Badania 1.

W badaniu trzecim wzięły udział dwa zespoły koszykówki, 26 koszykarzy, którzy zostali losowo i równo przydzieleni do jednej z dwóch różnych grup eksperymentalnych: i) wykonującej bilateralny kompleks aktywacyjny (B-CA) (wiek: 24 ± 6 lat, masa ciała: 87 ± 11 kg, wzrost: 191 ± 8 cm, doświadczenie w treningu koszykarskim: 15 ± 5 lat) lub ii) unilateralny kompleks aktywacyjny (U-CA) (wiek: $25,5 \pm 8,6$ lat, masa ciała: $89,2 \pm 12,7$ kg, wzrost: 197 ± 17 cm, doświadczenie w treningu koszykarskim: $12 \pm 6,5$ lat). Wszyscy zawodnicy w tym badaniu mieli dominującą lewą kończynę jako preferowaną kończynę odbicia podczas dwutaktu. Kryteria włączenia obejmowały: i) brak zaburzeń nerwowomięśniowych i układu mięśniowo-szkieletowego, ii) regularny udział w rywalizacji sportowej na poziomie krajowym, iii) doświadczenie treningowe powyżej 5 lat. Badania zostały przeprowadzone w przerwie międzysezonowej. Ze względu na wyniki drugiego badania, które wskazało istotne ujemne

korelacje między uzyskaną siłą LP oraz siłą generowaną w warunkach izometrycznych podczas testów przywodzenia i odwodzenia kończyn dolnych, a czasem w teście MAT to w trzecim badaniu, w celu zapewnienia większej trafności ekologicznej, zdecydowano się zastosować przysiady ze sztangą zamiast LP. Decyzja ta wynikała z podobnej aktywności mięśniowej prostowników stawu kolanowego między tymi ćwiczeniami (Sjöberg i in. 2021). Dodatkowo, zastosowano skoki lateralne po zeskoku w głąb, w celu zaangażowania mięśni odwodzących kończynę dolną, podobnie jak podczas kroku odstawno-dostawnego (Lewis i in. 2018). W związku z tym, grupa B-CA wykonywała 2 serie po 4 powtórzenia przysiadów ze sztangą z obciążeniem wynoszącym 80% 1RM, a następnie 10 DJ, podczas gdy grupa U-CA wykonywała 2 serie po 2 powtórzenia przysiadów w wykroku jednonóż ze sztangą z obciążeniem wynoszącym 80% 1RM, a następnie 5 skoków lateralnych po zeskoku w głąb na każdą kończynę. Między seriami zastosowano 3 min przerwę wypoczynkową, podczas gdy w obrębie kompleksu aktywacyjnego nie było przerw. Pięć minut przed i 6 minut po wykonaniu kompleksów aktywacyjnych wykonano pomiary zmiennych kinematycznych podczas CMJ oraz czasu testu MAT. Ten czas przerwy wypoczynkowej został wybrany, ponieważ największy efekt PAPE odnotowywany jest zazwyczaj w okresie 5-7 minut po ćwiczeniu aktywacyjnym (Wilson i in. 2013; Seitz i Haff 2016).

3.1. Metody analizy statystycznej

W badaniu drugim i trzecim przed rozpoczęciem realizacji dokonano oszacowania minimalnej liczebności próby. W badaniu drugim do analizy przyjęto następujące parametry testu statystycznego: korelacja dwuwymiarowa, moc statystyczna przyjęta na poziomie 0,8, poziom istotności 0,05, a siła korelacji w zakresie 0,53-0,67 na podstawie wcześniejszego badania, w którym analizowano determinanty czasu w teście MAT (Scanlan i in. 2021). W oparciu o powyższe założenia ustalono, że wymagana liczebność próby mieści się w przedziale od 15 do 25 osób. Z kolei w trzecim badaniu do analizy przyjęto następujące parametry testu statystycznego: ANOVA dla powtarzanych pomiarów, w schemacie wewnątrz i między czynnikowym (dwie grupy uczestników, dwa punkty pomiarów), moc statystyczna przyjęta na poziomie 0,8, poziom istotności 0,05, wielkość efektu 0,29-0,46 na podstawie metaanalizy dotyczącej wpływu efekt poaktywacyjnego wzmocnienia aktywacyjnego na sprawność fizyczną (Seitz i Haff, 2016). Powyższe analizy zostały przeprowadzone przy użyciu oprogramowania G*Power w wersji 3.1.9.2 (Dusseldorf, Niemcy).

We wszystkich badaniach przedstawionych w cyklu dane zostały przedstawione jako średnie z odchyleniami standardowymi (\pm SD) oraz 95% przedziałami ufności (95%CI). Istotność statystyczną ustalono na poziomie $p < 0,05$. W każdym przypadku dokonano weryfikacji normalności rozkładu badanych zmiennych za pomocą testu Shapiro-Wilka, a w badaniu trzecim przeprowadzono również testy Levene'a i Mauchly'ego w celu sprawdzenia homogeniczności i sferyczności analizowanych danych. W badaniu pierwszym do ustalenia zależności między czasem uzyskanym w badanych testach biegowych, a uzyskanym poziomem mocy w LP wykorzystano współczynnik korelacji Pearson'a. W badaniu drugim do określenia związku między wszystkimi zmiennymi mierzonymi podczas prób siły i mocy kończyn dolnych zastosowano współczynnik korelacji rang Spearmana. W obu badaniach korelacje były oceniane następująco: trywialna (0,0–0,09), niewielka (0,10–0,29), umiarkowana (0,30–0,49), duża (0,50–0,69), bardzo duża (0,70–0,89), niemal doskonała (0,90–0,99) oraz doskonała (1,0) (Hopkins i in. 2009). Następnie w badaniu drugim zastosowano metodę regresji krokowej w procedurze selekcji progresywnej. W analizach regresji jako zmienne niezależne (predyktory) ustalono: siłę w warunkach izometrycznych rozwijaną podczas testów odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych, szczytową moc w LP, parametry kinematyczne w CMJ i DJ oraz czas sprintu, natomiast czas w teście MAT został uznany za zmienną zależną. Do oceny dokładności dopasowania modelu do analizowanych danych posłużono się współczynnikiem determinacji (R^2). W badaniu trzecim do oceny wpływu kompleksów aktywacyjnych na czas w teście MAT zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji z powtarzanymi pomiarami ($2 \times$ [grupa B-CA vs. U-CA] \times 2 punkty czasowe [przed- vs. po-kompleksach aktywacyjnych]). Gdy stwierdzono istotną interakcję lub efekt główny, zastosowano testy post-hoc z korektą Bonferroniego do analizy porównań parami. Wielkość efektu dla średnich została wyrażona za pomocą standaryzowanych wskaźników efektu Hedges g , które zostały zinterpretowane jako $\leq 0,20$ "mały", 0,21-0,79 "średni", a $> 0,80$ jako "duży" (Cohen 2013). Wszystkie analizy statystyczne zostały przeprowadzone za pomocą programu SPSS (wersja 25.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA).

4. Wyniki badań

W badaniu pierwszym współczynnik korelacji Pearsona nie wykazał żadnych istotnych statystycznie korelacji między poziomem uzyskanej mocy podczas LP i wskaźnikiem LSI a czasem uzyskanym w sprincie na dystansie 5 i 20m oraz w testach „L” oraz „ZigZag”. W badaniu drugim wykazano istotne ujemne korelacje między czasem uzyskanym w teście MAT inicjowanym w lewą stronę, a wysokością CMJ ($r = -0.686$; $p < 0.01$), wysokością DJ ($r = -0.544$; $p < 0.01$), siłą w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia ($r = -0.563$; $p < 0.01$) i odwodzenia ($r = -0.481$; $p < 0.05$) lewej kończyny dolnej, siłą generowaną w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia prawej kończyny dolnej ($r = -0.481$; $p < 0.05$) oraz mocą szczytową uzyskaną przez lewą ($r = -0.716$; $p < 0.01$) i prawą kończynę dolną ($r = -0.636$; $p < 0.01$) podczas LP. Z kolei między czasem w teście MAT inicjowanym w prawą stronę wykazano istotne ujemne korelacje z wysokością CMJ ($r = -0.455$; $p < 0.05$), siłą w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia ($r = -0.575$; $p < 0.01$) i odwodzenia ($r = -0.84$; $p < 0.05$) lewą kończynę dolną, siłą generowaną w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia ($r = -0.583$; $p < 0.01$) i odwodzenia ($r = -0.768$; $p < 0.01$) prawej kończyny dolnej oraz mocą szczytową uzyskaną przez lewą ($r = -0.659$; $p < 0.01$) i prawą kończynę dolną ($r = -0.588$; $p < 0.01$) podczas LP. Analiza regresji wykazała, że model uwzględniający poziom mocy szczytowej lewej kończyny dolnej podczas LP, siły generowanej w warunkach izometrycznych uzyskanej podczas przywodzenia lewej kończyny dolnej, wysokość CMJ jest w stanie w 93% wyjaśnić czas uzyskany w teście MAT inicjowany w lewą stronę. Wspomniany model regresji przyjął następujący wzór:

$$Y_{MAT\ LEFT} = 7,927 - 0,001 \times Leg\ Press_{LEFT} - 0,002 \times AD_{LEFT} - 0,028 \times CMJ_{JH}$$

Oznacza to, że w wyniku wzrostu szczytowej mocy uzyskanej przez lewą kończynę dolną podczas LP ($Leg\ Press_{LEFT}$) o jednostkę [W], czas MAT inicjowany w lewą stronę zmniejszy się o 0,001 s. Podobnie, jeśli siła generowana w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia lewej kończyny dolnej (AD_{LEFT}) lub wysokość CMJ (CMJ_{JH}) zwiększy się, to czas MAT inicjowany w lewą stronę ($Y_{MAT\ LEFT}$) poprawi się odpowiednio o 0,002 s lub 0,028 s.

Z kolei, model składający się z siły generowanej w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia i odwodzenia lewej kończyny dolnej może w 83% wyjaśnić czas uzyskany w teście MAT inicjowany w prawą stronę. Model ten przyjął poniższy wzór:

$$Y_{MAT\ RIGHT} = 8,86 - 0,002 \times AB_{LEFT} - 0,001 \times AD_{LEFT}$$

Zakłada to, że jeśli siła generowana w warunkach izometrycznych podczas odwodzenia (AB_{LEFT}) lub przywodzenia (AD_{LEFT}) lewej kończyny dolnej wzrośnie o jednostkę [N], to czas MAT inicjowany w prawą stronę ($Y_{MAT\ RIGHT}$) zmniejszy się odpowiednio o 0,002 s lub 0,001 s.

Przeprowadzone analizy w trakcie trzeciego badania nie wykazały istotnego statystycznie wpływu wybranych kompleksów aktywacyjnych na czas testu MAT, niezależnie od kierunku jego inicjacji.

5. Dyskusja

Celem cyklu badań było przeanalizowanie związku między czasem uzyskiwanym w testach „L”, „ZigZag” oraz MAT, a wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych oraz czasem sprintu u zawodników gier zespołowych. Kolejnym krokiem, po ustaleniu zmiennych korelujących, było określenie skuteczności połączenia ćwiczeń jako kompleksu aktywacyjnego w celu wywołania efektu poaktywacyjnego wzrostu sprawności fizycznej, ocenianego na podstawie zmian w czasie osiągniętym w teście MAT. Najważniejszym osiągnięciem przedstawionego cyklu był fakt, że czas uzyskany w teście MAT, ale nie w testach „L” i „ZigZag”, jest istotnie powiązany z wybranymi wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych. Wykazano, że poziom względnej mocy szczytowej uzyskanej podczas LP zarówno przez obie kończyny dolne, jak i każdą z osobna, nie był istotnie skorelowany ani z czasem uzyskiwanym w teście „L”, ani w teście „ZigZag” u piłkarzy nożnych. Ponadto stopień asymetrii międzykończynowej w poziomie względnej mocy szczytowej uzyskanej podczas LP nie miał istotnego związku z czasem uzyskiwanym w wspomnianych testach COD. Z kolei w przypadku testu MAT wykazano, że strona, w którą test ten jest inicjowany, determinuje stopień i poziom istotności powiązań ze wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych. Ponadto, analiza regresji wykazała, że model uwzględniający poziom mocy szczytowej uzyskanej przez lewą kończynę dolną podczas LP, siłę maksymalną generowaną w warunkach izometrycznego przywodzenia lewej kończyny dolnej oraz wysokość CMJ, jest w stanie w 93% wyjaśnić czas uzyskany w teście MAT inicjowanym w lewą stronę. Dodatkowo, model składający się z siły maksymalnej generowanej w warunkach izometrycznego przywodzenia i odwodzenia lewej kończyny dolnej może w 83% wyjaśnić czas uzyskany w teście MAT inicjowanym w prawą stronę. Natomiast wbrew postawionej hipotezie kompleks aktywacyjny, obejmujący przysiady i DJ o wysokiej intensywności, nie wykazał natychmiastowego wpływu na czas uzyskiwany w kolejnym teście MAT, niezależnie od tego, czy ćwiczenia były wykonywane bilateralnie czy unilateralnie oraz w którą stronę został inicjowany test MAT.

Testy COD mają jedną wspólną cechę - wymagają od zawodnika umiejętności powtarzanego przyspieszania, hamowania oraz ponownego przyspieszania w nowym kierunku. Biorąc pod uwagę, że faza przyspieszania wymaga generowania wysokich wartości siły (Nagahara i in. 2018), można założyć, że jej poziom będzie decydujący dla wyników testów COD. Z drugiej strony, testy różnią się pod względem dystansu, liczby oraz kąta zmiany kierunku, a także sposobu poruszania się. Zgodnie z sugestiami Falch i in. (2019)

oraz Bourgeois (2017), kąty zmiany poniżej 90 stopni zależą od osiągniętej prędkości, natomiast te powyżej 90 stopni są głównie związane z poziomem siły kończyn dolnych (Bourgeois 2017; Falch i in. Ponadto, niektóre testy wymagają nie tylko poruszania się do przodu, ale także w tył lub lateralnie, co skutkuje odmiennymi wymaganiami dotyczącymi utrzymania koordynacji, stabilizacji ciała i obniżania środka ciężkości. W związku z tym nie istnieje uniwersalny test do oceny umiejętności COD, a stopień związku między poszczególnymi wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych może się znacznie różnić w zależności od danego testu. Niemniej badania dotyczące powiązań między wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych a czasem wykonywania testów, o zbliżonych charakterystykach, również przynoszą niejednoznaczne wyniki (Spiteri i in. 2014; Nimphius i in. 2018; Pereira i in. 2018; Loturco i in. 2020).

Na przykład w badaniach przeprowadzonych na światowej klasy graczach piłki ręcznej (kadra olimpijska mężczyzn i kobiet), zaobserwowano istotne, duże ujemne korelacje między prędkością w teście „ZigZag” a wysokością CMJ oraz bardzo duże ze średnimi prędkościami sprintu na dystansie 10 i 20 m (Pereira i in. 2018). Z kolei Loturco i in. (2018) nie odnotowali istotnych związków między średnią mocą w półprzysiadzie, wysokością CMJ, średnimi prędkościami sprintu na dystansie 5 i 10 m, a średnią prędkością w teście „ZigZag” u młodych piłkarzy. Badanie pierwsze przeprowadzone w ramach tego cyklu częściowo potwierdza wyniki uzyskane przez Loturco i in. (2018), ponieważ również nie zaobserwowano statystycznie istotnych korelacji między mocą generowaną przez kończyny dolne podczas LP, zarówno gdy test był wykonywany bilateralnie jak i unilateralnie, a czasem sprintu na 5 i 20 m oraz czasem w teście „L” i „ZigZag”. Natomiast Pereira i in. (2018), w przeciwieństwie do Loturco i in. (2018), wykazał istotne, ujemne korelacje między wysokością CMJ a średnią prędkością w teście „ZigZag”. Te sprzeczne wyniki mogą wynikać ze znacznych różnic między badanymi grupami. Podczas gdy w badaniu Pereira i in. (2018) grupa była mieszana (15 mężczyzn i 23 kobiet) i składała się z reprezentantów piłki ręcznej na igrzyskach olimpijskich w wieku powyżej 20 i 30 lat, to próba w badaniu Loturco i in. (2018) obejmowała tylko młodych elitarnych piłkarzy (n=25) poniżej 20 roku życia (średnia wieku wynosiła 17,6 lat). Natomiast w badaniu pierwszym w ramach tego cyklu udział wzięli (n=24) elitarni piłkarze nożni w średnim wieku 25 lat. Ponadto, poziom sprawności fizycznej wśród uczestników również różnił się. W badaniu Pereira i in. (2018) średnia prędkość podczas testu „ZigZag” wynosiła odpowiednio 3,67 m/s dla mężczyzn i 3,43 m/s dla kobiet, natomiast w badaniu Loturco i in. (2018) uczestnicy mieli niższą średnią prędkość, wynoszącą 3,44 m/s. Z kolei, w badaniu pierwszym tego cyklu średnia prędkość uzyskana podczas testu „ZigZag” wynosiła 3,01 m/s.

Warto również podkreślić, że wspomniane badania uwzględniały testy przeprowadzane w różnych okresach. W badaniu pierwszym tego cyklu był to okres przerwy zimowej, w badaniu Loturco i in. (2018) - okres przedstartowy, a w badaniu Pereira i in. (2018) testy przeprowadzono na obozie treningowym. Dodatkowo, w badaniach Pereira i in. (2018) analizę korelacji przeprowadzono dla całej badanej grupy bez rozróżnienia ze względu na płeć uczestników. Podsumowując, wydaje się, że dyscyplina, płeć, poziom wytrenowania, a także okres treningowy może determinować występowanie i poziom korelacji między czasem oraz prędkością w teście „ZigZag”, a wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych.

Gry zespołowe wymagają od zawodników poruszania się w wielu kierunkach, w tym do przodu, na boki oraz do tyłu, często na ograniczonej przestrzeni (Bloomfield i in. 2007). Specyficzny test, który łączy te różnorodne sposoby poruszania się, to test MAT (Sassi i in. 2009). To sprawia, że ten test COD ma wszechstronne zastosowanie, m.in. w siatkówce, koszykówce oraz piłce ręcznej (Sassi i in. 2009; Spiteri i in. 2014; Pereira i in. 2018; Scanlan i in. 2021). Z drugiej strony oznacza to konieczność przeprowadzenia bardziej szczegółowych badań, oceniających szerokie spektrum wskaźników siły i mocy mięśniowej kończyn dolnych. Z uwagi na to, że w teście MAT połowa dystansu pokonywana jest krokiem odstawno-dostawnym, kluczowe wydaje się ustalenie związku z siłą generowaną przez mięśnie przywodzące i odwodzące kończynę dolną. Niemniej, według najlepszej wiedzy autorki, badania poświęcone korelacją między czasem czy prędkością w MAT, a testami oceniającymi siłę czy moc mięśni przywodzących i odwodzących kończynę dolną, nie były do tej pory przeprowadzone. Co więcej, wyniki badań wykorzystujących powszechnie stosowane testy siły i mocy kończyn dolnych do wyjaśnienia czasu oraz średniej prędkości w teście MAT również nie są jednoznaczne. Na przykład, Pereira i in. (2018) wykazali istotne bardzo duże ujemne korelacje czasu w MAT z wysokością CMJ oraz prędkością w sprincie na dystansie 20 m, natomiast Sassi i in. (2009) nie stwierdzili związku między czasem MAT, czasem sprintu na dystansie 10 m i wysokością CMJ z zamachem ramion u studentów wychowania fizycznego. Ponadto, badania Spiteri i in. (2014) w grupie koszykarek wykazały istotne ujemne powiązania między testem MAT a wynikiem 1RM w przysiadzie ze sztangą oraz siłą generowaną w warunkach izometrycznych uzyskaną w martwym ciągu z wysokości ud, ale nie z mocą uzyskaną w CMJ. Dodatkowo, Scanlan i in. (2021) wykazał istotne powiązania między czasem w MAT a siłą generowaną w warunkach izometrycznych uzyskaną w martwym ciągu z wysokości ud, czasem sprintu na dystansie 10 m, względną siłą w CMJ oraz odległością skoku w dal z miejsca. Jednak nie wykazał istotnego związku z czasem sprintu na dystansie 5 m i

wysokością skoku pionowego po rozbiegu. Natomiast badanie 2 w ramach tego cyklu potwierdziło brak związku z czasem sprintu na dystansie 5 m oraz względną mocą w CMJ. Podobnie jak w badaniu Spiteri i in. (2014), ale z drugiej strony również wykazało istotne, ujemne korelacje z wysokością CMJ, podobnie jak u Pereira i in. (2018), lecz nie u Sassi i in. (2009). Odmienne wyniki wspomnianych badań w stosunku do rezultatów Sassi i in. (2009) wydają się wynikać z faktu różnego poziomu wytrenowania uczestników wspomnianych badań. W badaniu Sassi i in. (2009) udział brali studenci, podczas gdy w pozostałych byli to regularnie trenujący zawodnicy koszykówki czy piłki ręcznej. Podsumowując wyniki powyższych badań, można zauważyć, że wysokość CMJ wydaje się być najczęściej wskazywaną zmienną, która ma związek z czasem uzyskiwanym w teście MAT.

Warto podkreślić, że chociaż połowa dystansu w teście MAT jest pokonywana krokiem odstawno-dostawnym, to według najlepszej wiedzy autorki brakuje badań, które poszukiwałyby związku między czasem testu MAT a siłą lub/i mocą generowaną przez mięśnie odwodzące i przywodzące kończyny dolne. W związku z tym celem badania 2 w ramach tego cyklu było ustalenie, czy istnieje związek między poziomem siły generowanej w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia i odwodzenia kończyny dolnej a czasem uzyskiwanym w teście MAT. Kolejnym aspektem, który wydaje się, że nie był dotąd badany, jest ustalenie czy strona, w którą inicjowany jest test MAT, determinuje związki między uzyskiwanym czasem w tym teście a wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych. Dodatkowo, przeprowadzony przegląd literatury wykazał, że prawdopodobnie nie istnieją badania, w których oceniano związki między czasem MAT a wskaźnikami siły i mocy dla każdej z kończyn dolnych oddzielnie. W przypadku mocy generowanej podczas LP zaobserwowano istotne, ujemne duże i bardzo duże związki z czasem MAT niezależnie od strony, w którą był on inicjowany. Zauważono również bardzo dużą ujemną korelację między siłą generowaną w warunkach izometrycznych mięśni odwodzących obie kończyny dolne a czasem w MAT inicjowanym w prawą stronę. Jednak w przypadku MAT inicjowanego w lewą stronę, siła korelacji była słabsza, tj. umiarkowana do dużej, a w przypadku siły generowanej w warunkach izometrycznych przez mięśnie odwodzące prawą kończynę dolną nie były istotne. Ponadto, modele regresji różniły się również w zależności od strony, w którą inicjowany był pierwszy zwrot. W prawdzie pokonana odległość przez każdą kończynę dolną jako dostawną i odstawną jest taka sama bez względu na to, od której strony wykonuje się pierwszy zwrot, a zmiany kierunku są wykonywane na przemian między kończynami, to podczas zwrotu najpierw w lewo, prawa noga jest dwukrotnie kończyną dostawną (podczas pierwszego o kącie 90°

i trzeciego zwrotu o kącie 180°). Czwarty zwrot polega na wyhamowaniu i przejściu do poruszania się tyłem. Wyniki tego badania wskazują, że podczas MAT inicjowanego najpierw na prawą stronę, siła generowana w warunkach izometrycznych podczas odwodzenia i przywodzenia lewej kończyny dolnej w dużej mierze wyjaśniają czas tego testu. W tej sytuacji, jako że lewa noga była dwukrotnie kończyną dostawną, wydaje się, że jej siła do ponownego przyspieszenia była kluczowa dla czasu MAT. Wyniki te podkreślają pierwszy zwrot jako czynnik różnicujący zależności między wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych a czasem testu MAT. Dodatkowo, należy zauważyć, że wszyscy zawodnicy w tym badaniu mieli dominującą lewą kończynę jako preferowaną kończynę odbicia podczas dwutaktu.

Jednym z rozwiązań treningowych, które pozwalają w natychmiastowy i krótkotrwały, sposób poprawić sprawność fizyczną, jest wykorzystanie efektu PAPE. W praktyce polega to na zastosowaniu ćwiczeń lub kompleksów aktywacyjnych, angażujących grupy mięśni, które są również zaangażowane w kolejno podejmowane zadanie ruchowe. Ponadto, kluczowym czynnikiem moderującym efekt PAPE jest intensywność zastosowanej aktywacji. Rekomendowane jest stosowanie intensywności równej lub przekraczającej 80% 1RM, a w przypadku ćwiczeń plajometrycznych stosowanie dodatkowego obciążenia zewnętrznego lub wykonywania ich z podwyższeń (Seitz i Haff 2016). Biorąc powyższe pod uwagę oraz wyniki drugiego badania, celem kolejnego etapu stało się ustalenie natychmiastowego wpływu kompleksu aktywacyjnego, który znacząco angażuje prostowniki stawu kolanowego oraz mięśnie odwodzące kończynę dolną na czas w teście MAT. Zatem, wspomniany kompleks aktywacyjny obejmował przysiady w wykroku ze sztangą (2 serie po 2 powtórzenia na stronę) oraz skoki lateralne po zeskoku w głąb (2 serie po 5 powtórzeń na stronę). Dodatkowo, jako komparator przyjęto zbliżony kompleks aktywacyjny (2 serie po 4 powtórzenia przysiadów oraz 2 serie po 10 powtórzeń DJ) z tą różnicą, że był on wykonywany bilateralnie. Wbrew przyjętej hipotezie, oba zastosowane kompleksy aktywacyjne nie wykazały natychmiastowego wpływu na czas uzyskiwany w teście MAT. Pomimo że duża liczba dowodów empirycznych potwierdza skuteczność zarówno ćwiczeń oporowych o wysokiej intensywności (Wilson i in. 2013; Esformes i Bampouras 2013; Suchomel i in. 2015; Beato i in. 2019; Krzysztofik i in. 2022; 2023), jak i ćwiczeń plajometrycznych (Turner i in. 2015; Dello Iacono i in. 2017; Krzysztofik i in. 2023) w wywoływaniu efektu PAPE, to zastosowany w badaniu trzecim kompleks był nieskuteczny. Czynniki modyfikujące odpowiedzi PAPE (Seitz i Haff 2016) wydają się dotyczyć głównie równowagi pomiędzy zmęczeniem a wywołanym przez ćwiczenie aktywacyjne pobudzeniem. Dlatego też wydaje się, że wyjaśnienie tych wyników leży

w niekorzystnej proporcji wywołanego zmęczenia i pobudzenia. W literaturze wielokrotnie podkreślano, że zastosowana aktywność aktywacyjna wywołuje pewien poziom pobudzenia i zmęczenia (Seitz i Haff 2016), kiedy zmęczenie zanika, a pobudzenie utrzymuje się na wysokim poziomie, następuje poprawa sprawności fizycznej. Wydaje się zatem, że w obecnym badaniu poziom pobudzenia i zmęczenia był niekorzystny przy obu zastosowanych kompleksach aktywacyjnych. W związku z powyższym wydaje się, że kolejne badania powinny zweryfikować efektywność zastosowania niższej objętości kompleksu aktywacyjnego (np. pojedynczej serii). Z drugiej strony, zastosowane kompleksy aktywacyjne również nie miały negatywnego wpływu na czas MAT. Biorąc pod uwagę ostatnie dowody naukowe, które wskazują, że wykonywanie treningu do momentu niewielkiej utraty prędkości czy generowanej mocy (~10%) (Rodiles-Guerrero i in. 2022; Jukic i in. 2023) przyczynia się do większych przyrostów siły i mocy mięśniowej niż większe spadki (>20%), można założyć, że badane połączenie ćwiczeń (kompleks aktywacyjny i MAT) może być wykorzystywane w ramach treningu kompleksowego. Niemniej wymaga to weryfikacji przez długoterminowe badania.

Odkrycia tego cyklu badań należy rozważyć w kontekście jego ograniczeń. Przede wszystkim, w przypadku poszukiwania powiązań między czasem wybranych testów COD a mocą generowaną podczas ćwiczeń oporowych, skupiono się wyłącznie na jednym ćwiczeniu - czyli LP. Istnieje więc możliwość, że moc generowana podczas innych ćwiczeń oporowych, angażujących inne grupy mięśniowe, silnie zaangażowane podczas sprintu, wykazywałaby istotne zależności z czasem w analizowanych testach, a takimi ćwiczeniami jak wypychanie bioder czy martwy ciąg. Dodatkowo, ograniczono się do pomiaru czasu sprintu jedynie na dystansie 5 i 20 m, podczas gdy wcześniejsze badania (Loturco i in. 2018) wykazały istotne ujemne zależności między czasem w sprincie na 10 m a czasem w badanych testach COD. Ponadto, przeprowadzono ocenę jedynie maksymalnej siły w warunkach izometrycznych, a nie dynamicznych, podczas testów odwodzących i przywodzących kończynę dolną. Analizowano również jedynie powiązania między skokami pionowymi wykonanymi bilateralnie. Dlatego też, przyszłe badania powinny skoncentrować się na poszukiwaniu zależności między skokami horyzontalnymi i lateralnymi, wykonywanymi zarówno bilateralnie, jak i unilateralnie. Należy również zauważyć, że w badaniu trzecim nie zastosowano schematu krzyżowego (ang. crossover study), co zwiększyło ryzyko wpływu czynników osobniczych na wyniki. Dodatkowo, zastosowano tylko jeden określony czas przerwy po wykonaniu kompleksów aktywacyjnych. Nie można więc wykluczyć, że efekt PAPE mógłby wystąpić po zastosowaniu innych czasów przerwy wypoczynkowej. Co więcej,

analizowano efektywność tylko jednej objętości i intensywności (tj. 80%1RM i DJ z 60 cm). W związku z tym, przyszłe badania powinny ocenić zastosowanie innej objętości ćwiczeń oraz indywidualnie dobraną wysokość podwyższenia podczas DJ. Należy również zauważyć, że grupę badanych stanowili wyłącznie dobrze wytrenowani (McKay i in. 2021) zawodnicy piłki nożnej i koszykówki. Fakt ten powoduje, że odkryte zależności powinny być zweryfikowane w grupach zawodników innych dyscyplin sportu lub sportowców o innym poziomie wytrenowania, a także u kobiet.

Rezultaty uzyskane w niniejszym cyklu badań dostarczają szeregu implikacji praktycznych. Trenerzy i zawodnicy nie powinni oczekiwać, że wzrost generowanej mocy podczas LP spowoduje skrócenie czasu uzyskiwanego w testach „ZigZag” czy „L”. Natomiast wieloaspektowe podejście oraz ukierunkowanie treningu na poprawę wskaźników siły i mocy kończyn dolnych takich jak wysokość CMJ, moc podczas LP, siła generowana w warunkach izometrycznych podczas odwodzenia i przywodzenia kończyn dolnych mogą przyczynić się do redukcji czasu w teście MAT.

6. Wnioski

W oparciu o analizę wyników uzyskanych w cyklu badań można sformułować następujące wnioski:

Badanie 1:

1. Względna moc szczytowa osiągnięta podczas testu LP oraz czas sprintu na dystansie 5 i 20 m nie przejawiają istotnego związku z czasem uzyskanym w testach "L" i "ZigZag" u wytrenowanych piłkarzy nożnych.
2. Asymetria międzykończynowa w poziomie względnej mocy szczytowej uzyskanej podczas LP nie koreluje w sposób istotny statystycznie z czasem w testach "L" oraz "ZigZag" wśród wytrenowanych piłkarzy nożnych.

Badanie 2:

1. Strona, w którą inicjowany jest test MAT, determinuje siłę korelacji między uzyskiwanym w tym teście czasem a wskaźnikami siły i mocy kończyn dolnych w grupie wytrenowanych koszykarzy. Czas MAT inicjowany w lewą stronę jest ujemnie skorelowany z wysokością CMJ i DJ oraz poziomem mocy generowanej zarówno przez jedną, jak i drugą kończynę podczas

LP, podobnie jak w przypadku testu MAT inicjowanego w prawą stronę z pominięciem wysokości DJ w grupie wytrenowanych koszykarzy.

2. Czas uzyskany w teście MAT inicjowany zarówno w lewą, jak i prawą stronę jest odwrotnie proporcjonalny do siły generowanej w warunkach izometrycznych podczas testów przywodzenia i odwodzenia kończyn dolnych.

3. Najsilniejszymi predyktorami czasu MAT podczas gdy test był inicjowany w lewą stronę były: wysokość CMJ, poziom siły generowanej w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia lewej kończyny dolnej oraz mocy uzyskanej przez lewą kończynę dolną podczas LP. W badanej grupie model ten wyjaśniał 93% czasu uzyskiwanego w MAT. Z kolei, w przypadku testu MAT inicjowanego w prawą stronę najsilniejszym predyktorem był poziom siły generowanej w warunkach izometrycznych podczas przywodzenia i odwodzenia lewej kończyny dolnej. W badanej grupie model ten wyjaśniał 83% czasu uzyskiwanego w MAT.

Badanie 3:

1. Zastosowane kompleksy aktywacyjne nie wykazały istotnego statystycznie natychmiastowego wpływu na czas uzyskany w teście MAT.

2. Sposób wykonania ćwiczeń połączonych, jako kompleks aktywacyjny (unilateralnie vs. bilateralnie) nie wpływa na czas uzyskany w teście MAT.

7. Bibliografia

- Beato, Marco, Kevin L. De Keijzer, Zygimantas Leskauskas, William J. Allen, Antonio Dello Iacono, i Stuart A. McErlain-Naylor. 2019. „Effect of Postactivation Potentiation After Medium vs. High Inertia Eccentric Overload Exercise on Standing Long Jump, Countermovement Jump, and Change of Direction Performance”. *Journal of Strength and Conditioning Research* Publish Ahead of Print (czerwiec). <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003214>.
- Ben Abdelkrim, N., S. El Fazaa, J. El Ati, i Z. Tabka. 2007. „Time-Motion Analysis and Physiological Data of Elite under-19-Year-Old Basketball Players during Competition * Commentary”. *British Journal of Sports Medicine* 41 (2): 69–75. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.032318>.
- Bishop, Chris, Richard Clarke, Tomás T. Freitas, Ademir F. S. Arruda, Aristide Guerriero, Maurício S. Ramos, Lucas A. Pereira, i Irineu Loturco. 2020. „Change-of-Direction Deficit vs. Deceleration Deficit: A Comparison of Limb Dominance and Inter-Limb Asymmetry between Forwards and Backs in Elite Male Rugby Union Players”. *Journal of Sports Sciences*, grudzień, 1–8. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1857578>.
- Bishop, Chris, Paul Read, Shyam Chavda, i Anthony Turner. 2016. „Asymmetries of the Lower Limb: The Calculation Conundrum in Strength Training and Conditioning”. *Strength & Conditioning Journal* 38 (6): 27–32. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000264>.
- Bishop, Chris, Paul Read, Jermaine McCubbine, i Anthony Turner. 2021. „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. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002544>.
- Blazevich, Anthony J., i Nicolas Babault. 2019. „Post-activation Potentiation Versus Post-activation Performance Enhancement in Humans: Historical Perspective, Underlying Mechanisms, and Current Issues”. *Frontiers in Physiology* 10 (listopad): 1359. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01359>.
- Bloomfield, Jonathan, Remco Polman, i Peter O’Donoghue. 2007. „Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer”. *Journal of Sports Science & Medicine* 6 (1): 63–70.
- Bourgeois, Francis A. 2017. „Strength, speed-strength and performance in change of direction tasks in rugby union athletes”.
- Brughelli, Matt, John Cronin, Greg Levin, i Anis Chaouachi. 2012. „Understanding Change of Direction Ability in Sport”. *Sports Medicine*, 1045–63. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838120-00007>.
- Buchheit, Martin, Bachar Haydar, i Said Ahmaidi. 2012. „Repeated Sprints with Directional Changes: Do Angles Matter?” *Journal of Sports Sciences* 30 (6): 555–62. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.658079>.
- Chen, Zong-Rong, Shin-Liang Lo, Min-Hsien Wang, Ching-Fang Yu, i Hsien-Te Peng. 2017. „Can Different Complex Training Improve the Individual Phenomenon of Post-Activation Potentiation?” *Journal of Human Kinetics* 56 (1): 167–75. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0034>.
- Ciocca, Gianmarco, Harald Tschan, i Antonio Tessitore. 2021. „Effects of Post-Activation Performance Enhancement (PAPE) Induced by a Plyometric Protocol on Deceleration Performance”. *Journal of Human Kinetics* 80 (październik): 5–16. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0085>.
- Cohen, Jacob. 2013. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*.

- Collins, Kyle S., Jared W. Coburn, Andrew J. Galpin, i Robert G. Lockie. 2018. „Relationships and Reliability Between a Drive Block Test and Traditional Football Performance Tests in High School Offensive Line Players”. *Journal of Strength and Conditioning Research*, grudzień. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002757>.
- Condello, Giancarlo, Carlo Minganti, Corrado Lupo, Cinzia Benvenuti, Daniele Pacini, i Antonio Tessitore. 2013. „Evaluation of Change-of-Direction Movements in Young Rugby Players”. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 8 (1): 52–56. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.1.52>.
- Cuenca-Fernández, Francisco, Ian C. Smith, Matthew J Jordan, Brian R. MacIntosh, Gracia López-Contreras, Raúl Arellano, i Walter Herzog. 2017. „Nonlocalized postactivation performance enhancement (PAPE) effects in trained athletes: a pilot study”. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, nr 42 (10) (lipiec): 1122–25. <https://doi.org/doi:10.1139/apnm-2017-0217>.
- Dello Iacono, Antonio, Domenico Martone, Mirjana Milic, i Johnny Padulo. 2017. „Vertical- vs. Horizontal-Oriented Drop Jump Training: Chronic Effects on Explosive Performances of Elite Handball Players”. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001555>.
- Drinkwater, Eric J, David B Pyne, i Michael J McKenna. 2008. „Design and Interpretation of Anthropometric and Fitness Testing of Basketball Players”: *Sports Medicine* 38 (7): 565–78. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838070-00004>.
- Dugdale, James H., Calum A. Arthur, Dajo Sanders, i Angus M. Hunter. 2018. „Reliability and validity of field-based fitness tests in youth soccer players”. *European Journal of Sport Science*, grudzień. <https://doi.org/doi.org/10.1080/17461391.2018.1556739>.
- Esformes, Joseph I., i Theodoros M. Bampouras. 2013. „Effect of Back Squat Depth on Lower-Body Postactivation Potentiation”. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828d4465>.
- Falch, Hallvard Nygaard, Håvard Guldteig Rædergård, i Roland van den Tillaar. 2019. „Effect of Different Physical Training Forms on Change of Direction Ability: A Systematic Review and Meta-Analysis”. *Sports Medicine - Open* 5 (1): 53. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0223-y>.
- Finlay, Mitchell James, Craig Alan Bridge, Matt Greig, i Richard Michael Page. 2022. „Upper-Body Post-activation Performance Enhancement for Athletic Performance: A Systematic Review with Meta-analysis and Recommendations for Future Research”. *Sports Medicine*, kwiecień, 847–71. <https://doi.org/doi 10.1007/s40279-021-01598-4>.
- Freitas, Tomás T., Alejandro Martinez-Rodriguez, Julio Calleja-González, i Pedro E. Alcaraz. 2017. „Short-term adaptations following Complex Training in team-sports: A meta-analysis”. *PLOS ONE*, czerwiec. <https://doi.org/doi 10.1371/journal.pone.0180223>.
- Gołaś, Artur, Adam Maszczyk, Adam Zajac, Kazimierz Mikołajec, i Petr Stastny. 2016. „Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports”. *Journal of Human Kinetics* 52 (1): 95–106. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0197>.
- Hachana, Younes, Helmi Chaabene, Mohamed A. Nabil, Ahmed Attia, Jamel Moualhi, i Mohamed Elloumi. 2013. „Test-Retest Reliability, Criterion-Related Validity, and Minimal Detectable Change of the Illinois Agility Test in Male Team Sport Athletes”. *Journal of Strength and Conditioning Research*, październik. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182890ac3>.
- Hewitt, Jennifer K., John B. Cronin, i Patria A. Hume. 2012. „Asymmetry in multi-directional jumping tasks”. *Physical Therapy in Sport*, listopad, 238–42. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2011.12.003>.

- Hopkins, William G., Stephen W. Marshall, Alan M. Batterham, i Juri Hanin. 2009. „Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science”. *Medicine and Exercise Science*, nr 41: 3–12. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>.
- Impellizzeri, Franco M., Ermanno Rampinini, Nicola A. Maffiuletti, i Samuele M. Marcora. 2007. „A Vertical Jump Force Test for Assessing Bilateral Strength Asymmetry in Athletes”. *Medicine & Science in Sport & Exercise*. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31814fb55c>.
- Jukic, Ivan, Katarina Prnjak, Andrew King, Michael R Mcguigan, i Eric R. Helms. 2023. „Velocity loss is a flawed method for monitoring and prescribing resistance training volume with a free-weight back squat exercise”. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s00421-023-05155-x>.
- Kalinowski, Rafał, Anna Pisz, Dominik Kolinger, Michał Wilk, Petr Stastny, i Michał Krzysztofik. 2022. „Acute effects of combined isometric and plyometric conditioning activities on sports performance and tendon stiffness in female volleyball players”. *Frontiers in Physiology* 13 (październik): 1025839. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1025839>.
- Katsumata, Kenta, i Kazuhiro Aoki. 2021. „Jumping Ability Is Related to Change of Direction Ability in Elite Handball Players”. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 60 (październik): 102575. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2021.102575>.
- Krzysztofik, Michał, i Michał Wilk. 2020. „The Effects of Plyometric Conditioning on Post-Activation Bench Press Performance”. *Journal of Human Kinetics* 74 (1): 99–108. <https://doi.org/10.2478/hukin-2020-0017>.
- Krzysztofik, Michał, Michał Wilk, Aleksandra Filip, Piotr Zmijewski, Adam Zajac, i James J. Tufano. 2020. „Can Post-Activation Performance Enhancement (PAPE) Improve Resistance Training Volume during the Bench Press Exercise?” *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (7): 2554. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072554>.
- Krzysztofik, Michał, Michał Wilk, Petr Stastny, i Artur Golas. 2021. „Post-activation Performance Enhancement in the Bench Press Throw: A Systematic Review and Meta-Analysis”. *Frontiers in Physiology* 11 (styczeń): 598628. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.598628>.
- Krzysztofik, Michał, Michał Spieszny, Robert Trybulski, Michał Wilk, Anna Pisz, Dominik Kolinger, Aleksandra Filip-Stachnik, i Petr Stastny. 2023. „Acute Effects of Isometric Conditioning Activity on the Viscoelastic Properties of Muscles and Sprint and Jumping Performance in Handball Players”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 37 (7): 1486–94. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004404>.
- Krzysztofik, Michał, Michał Wilk, Anna Pisz, Dominik Kolinger, Athanasios Tsoukos, Piotr Aschenbrenner, Petr Stastny, i Gregory C. Bogdanis. 2022. „Effects of Unilateral Conditioning Activity on Acute Performance Enhancement: A Systematic Review”. *Journal of Sports Science and Medicine*. <https://doi.org/doi.org/10.52082/jssm.2022.625>.
- Lewis, Cara L., Hanna D. Foley, Theresa S. Lee, i Justin W. Berry. 2018. „Hip-Muscle Activity in Men and Women During Resisted Side Stepping With Different Band Positions”. *Journal of Athletic Training*, 1071–81. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-46-16>.
- Lockie, Robert G., Samuel J. Callaghan, Simon P. Berry, Erin R. A. Cooke, Corrin A. Jordan, Tawni M. Luczo, i Matthew D. Jeffriess. 2014. „Relationship Between Unilateral Jumping Ability and Asymmetry on Multidirectional Speed in Team-Sport Athletes”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (12): 3557–66. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000588>.

- Lockie, Robert G., Adrian B. Schultz, Samuel J. Callaghan, Matthew D. Jeffriess, i Simon P. Berry. 2013. „Reliability and Validity of a New Test of Change-of-Direction Speed for Field-Based Sports: The Change-of-Direction and Acceleration Test (CODAT)”. *Journal of Sports Science & Medicine* 12 (1): 88–96.
- Loturco, Irineu, Sophia Nimphius, Ronaldo Kobal, Altamiro Bottino, Vinicius Zanetti, Lucas A. Pereira, i Ian Jeffreys. 2018. „Change-of Direction Deficit in Elite Young Soccer Players: The Limited Relationship between Conventional Speed and Power Measures and Change-of-Direction Performance”. *German Journal of Exercise and Sport Research* 48 (2): 228–34. <https://doi.org/10.1007/s12662-018-0502-7>.
- Loturco, Irineu, Lucas A. Pereira, José E. Moraes, Katia Kitamura, César C. Cal Abad, Ronaldo Kobal, i Fábio Y. Nakamura. 2017. „Jump-Squat and Half-Squat Exercises: Selective Influences on Speed-Power Performance of Elite Rugby Sevens Players”. Zredagowane przez Luca Paolo Ardigò. *PLOS ONE* 12 (1): e0170627. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170627>.
- Loturco, Irineu, Lucas A. Pereira, Valter P. Reis, César C. C. Abad, Tomás T. Freitas, Paulo H. S. M. Azevedo, i Sophia Nimphius. 2020. „Change of Direction Performance in Elite Players From Different Team Sports”: *Journal of Strength and Conditioning Research*, marzec, 1. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003502>.
- Maloney, Sean J., Joanna Richards, Daniel G. D. Nixon, Lewis J. Harvey, i Iain M. Fletcher. 2016. „Do Stiffness and Asymmetries Predict Change of Direction Performance?” *Journal of Sports Sciences*, kwiecień, 1–10. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1179775>.
- McElveen, Michael T, Bryan L Riemann, i Gorge J Davies. 2010. „Bilateral Comparison of Propulsion Mechanics During Single-Leg Vertical Jumping”. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c06e0b>.
- McInnes, S.E., J.S. Carlson, C.J. Jones, i M.J. McKenna. 1995. „The Physiological Load Imposed on Basketball Players during Competition”. *Journal of Sports Sciences* 13 (5): 387–97. <https://doi.org/10.1080/02640419508732254>.
- McKay, Alannah K.A., Trent Stellingwerff, Ella S. Smith, David T. Martin, Iñigo Mujika, Vicky L. Goosey-Tolfrey, Jeremy Sheppard, i Louise M. Burke. 2021. „Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework”. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/doi.org/10.1123/ijsp.2021-0451>.
- Menzel, Hans-Joachim, Mauro H Chagas, Leszek A. Szmuchrowski, Silvia R.S Araujo, Andre G. P. de Andrade, i Fabianna Resende de Jesus- Moraleida. 2013. „Analysis of Lower Limb Asymmetries by Isokinetic and Vertical Jump Tests in Soccer Players”. *Journal of Strength and Conditioning Research*, maj, 1370–77. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318265a3c8>.
- Michailidis, Yiannis, Christos Savvakis, Vassilis Pirounakis, Dimitrios Mikikis, Konstantinos Margonis, i Metaxas Thomas. 2020. „Association between jump asymmetry and reduced performance in the change of direction tests of youth soccer players”. *Journal of Physical Education and Sport* 2020 (03). <https://search.proquest.com/docview/2415857724/fulltextPDF/9D9D0DC40DA04C55PQ/1>.
- Nagahara, Ryu, Mirai Mizutani, Akifumi Matsuo, Hiroaki Kanehisa, i Tetsuo Fukunaga. 2018. „Association of Sprint Performance With Ground Reaction Forces During Acceleration and Maximal Speed Phases in a Single Sprint”. *Journal of Applied Biomechanics*, 104–10. <https://doi.org/doi.org/10.1123/jab.2016-0356>.
- Newton, Robert U, Aimee Gerber, Sophia Nimphius, Jae K. Shim, Brandon K. Doan, Mike Robertson, David R. Pearson, Bruce W. Craig, Keijo HÄKKINEN, i William J.

- Kraemer. 2006. „DETERMINATION OF FUNCTIONAL STRENGTH IMBALANCE OF THE LOWER EXTREMITIES”. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/00124278-200611000-00039>.
- Nimphius, Sophia, Samuel J. Callaghan, Neil E. Bezodis, i Robert G. Lockie. 2018. „Change of Direction and Agility Tests: Challenging Our Current Measures of Performance”. *Strength & Conditioning Journal* 40 (1): 26–38. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000309>.
- Nimphius, Sophia, Michael R Mcguigan, i Robert U Newton. 2010. „Relationship Between Strength, Power, Speed, and Change of Direction Performance of Female Softball Players”: *Journal of Strength and Conditioning Research* 24 (4): 885–95. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d4d41d>.
- O’Grady, Mathew W, Warren B Young, Scott W. Talpey, i David G Behm. 2021. „Does the warm-up effect subsequent post activation performance enhancement?” *Journal of Sport and Exercise Science* 4 (wrzesień): 302–9. <https://doi.org/doi/10.36905/jses.2021.04.08>.
- Papla, Monika, Michal Krzysztofik, Grzegorz Wojdala, Robert Rocznik, Marcin Oslizlo, i Artur Golas. 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. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176119>.
- Pereira, Lucas A., Sophia Nimphius, Ronaldo Kobal, Katia Kitamura, Luiz A.L. Turisco, Rita C. Orsi, César C. Cal Abad, i Irineu Loturco. 2018. „Relationship Between Change of Direction, Speed, and Power in Male and Female National Olympic Team Handball Athletes”: *Journal of Strength and Conditioning Research* 32 (10): 2987–94. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002494>.
- Rodiles-Guerrero, Luis, Pedro Jesús Cornejo-Daza, Juan Sánchez-Valdepeñas, Julian Alcazar, Carlos Rodriguez-López, Miguel Sánchez-Moreno, Luis María Alegre, Juan A. León-Prados, i Fernando Pareja-Blanco. 2022. „Specific Adaptations to 0%, 15%, 25%, and 50% Velocity-Loss Thresholds During Bench Press Training”. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. <https://doi.org/doi.org/10.1123/ijsp.2021-0481>.
- Sassi, Radhouane Haj, Wajdi Dardouri, Mohamed Haj Yahmed, Nabil Gmada, Mohamed Elhedi Mahfoudhi, i Zied Gharbi. 2009. „Relative and Absolute Reliability of a Modified Agility T-Test and Its Relationship With Vertical Jump and Straight Sprint”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (6): 1644–51. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181b425d2>.
- Sayers, Mark G.L. 2015. „Influence of Test Distance on Change of Direction Speed Test Results”: *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (9): 2412–16. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001045>.
- Scanlan, Aaron T., Neal Wen, David B. Pyne, Emilija Stojanović, Zoran Milanović, Daniele Conte, Alejandro Vaquera, i Vincent J. Dalbo. 2021. „Power-Related Determinants of Modified Agility T-Test Performance in Male Adolescent Basketball Players”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 35 (8): 2248–54. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003131>.
- Seitz, Laurent B., i G. Gregory Haff. 2016. „Factors Modulating Post-Activation Potentiation of Jump, Sprint, Throw, and Upper-Body Ballistic Performances: A Systematic Review with Meta-Analysis”. *Sports Medicine* 46 (2): 231–40. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0415-7>.
- Sjöberg, Maria, Hans E Berg, Lena Norrbrand, Michael S. Andersen, Elena M. Gutierrez-Farewik, Patrik Sundblad, i Ola Eiken. 2021. „Comparison of Joint and Muscle

- Biomechanics in Maximal Flywheel Squat and Leg Press". *Frontiers in Sport and Active Living*. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.686335>.
- Soriano, Marcos A, Timothy J. Suchomel, i Pedro J. Marin. 2017. „The Optimal Load for Maximal Power Production During Upper-Body Resistance Exercises: A Meta-Analysis". *Sports Medicine*, nr 47 (4) (kwiecień). <https://doi.org/DOI: 10.1007/s40279-016-0626-6>.
- Spiteri, Tania, Sophia Nimphius, Nicolas H. Hart, Christina Specos, Jeremy M. Sheppard, i Robert U. Newton. 2014. „Contribution of Strength Characteristics to Change of Direction and Agility Performance in Female Basketball Athletes". *Journal of Strength and Conditioning Research* 28 (9): 2415–23. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000547>.
- Suarez-Arrones, Luis, Oliver Gonzalo-Skok, Irene Carrasquilla, Jose Asián-Clemente, Alfredo Santalla, Pilar Lara-Lopez, i F. Javier Núñez. 2020. „Relationships between Change of Direction, Sprint, Jump, and Squat Power Performance". *Sports* 8 (3): 38. <https://doi.org/10.3390/sports8030038>.
- Suchomel, Timothy J., Christopher A. Bailey, Christopher J. Sole, Jacob L. Grazer, i George K. Beckham. 2015. „Using Reactive Strength Index-Modified as an Explosive Performance Measurement Tool in Division I Athletes". *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000743>.
- Timon, Rafael, Silvia Allemano, Marta Camacho-Cardenosa, Alba Camacho-Cardenosa, Ismael Martinez-Guardado, i Guillermo Olcina. 2019. „Post-Activation Potentiation on Squat Jump Following Two Different Protocols: Traditional vs. Inertial Flywheel". *Journal of Human Kinetics* 69 (1): 271–81. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0017>.
- Tsoukos, Athanasios, Lee E. Brown, Panagiotis Veligeas, Gerasimos Terzis, i Gregory C. Bogdanis. 2019. „Postactivation Potentiation of Bench Press Throw Performance Using Velocity-Based Conditioning Protocols with Low and Moderate Loads". *Journal of Human Kinetics* 68 (1): 81–98. <https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0058>.
- Turner, Anthony P., Sam Bellhouse, Liam P. Kilduff, i Mark Russell. 2015. „Postactivation Potentiation of Sprint Acceleration Performance Using Plyometric Exercise". *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000647>.
- Wen, Neal, Vincent J. Dalbo, Bill Burgos, David B. Pyne, i Aaron T. Scanlan. 2018. „Power Testing in Basketball: Current Practice and Future Recommendations". *Journal of Strength and Conditioning Research*, nr 2677–2691. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002459>.
- Wilson, Jacob M., Nevine M. Duncan, Pedro J. Marin, Lee E. Brown, Jeremy P. Loenneke, Stephanie M.C. Wilson, Edward Jo, Ryan P. Lowery, i Carlos Ugrinowitsch. 2013. „Meta-Analysis of Postactivation Potentiation and Power: Effects of Conditioning Activity, Volume, Gender, Rest Periods, and Training Status". *Journal of Strength and Conditioning Research* 27 (3): 854–59. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825c2bdb>.
- Wong, Vickie, Yujiro Yamada, Zachary W. Bell, Robert W. Spitz, Ricardo B. Viana, Raksha N. Chatakondi, Takashi Abe, i Jeremy P. Loenneke. 2020. „Postactivation Performance Enhancement: Does Conditioning One Arm Augment Performance in the Other?" *Clinical Physiology and Functional Imaging* 40 (6): 407–14. <https://doi.org/10.1111/cpf.12659>.