

Akademia Wychowania Fizycznego
im. Jerzego Kukuczki
w Katowicach

Jakub Baron

**Analiza wybranych czynników determinujących sprawność specjalną
zawodników piłki nożnej i hokeja na lodzie**

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej
W formie spójnego tematycznie cyklu artykułów opublikowanych
w czasopismach naukowych

Promotor:
prof. dr hab. Arkadiusz Stanula

Katowice 2024

1. Spis treści

Wykaz skrótów stosowanych w pracy	3
Wykaz prac naukowych wchodzących w skład cyklu	4
Wprowadzenie	6
1. Pojęcie sprawności fizycznej.....	8
2. Sporty zespołowe w systematyce treningu sportowego.....	11
3. Narzędzia diagnostyczne w ocenie sprawności specjalnej zawodników zespołowych gier sportowych	12
4. Znaczenie treningu funkcjonalnego w zespołowych grach sportowych	17
5. Długość przerwy wypoczynkowej pomiędzy powtarzanymi wysiłkami a sprawność zawodników	18
6. Cel pracy	20
7. Publikacje przedstawiające przedmiot rozprawy	21
8. Dyskusja	28
9. Wnioski	35
10. Kopie publikacji naukowych wchodzących w skład monotematycznego cyklu publikacji	38
11. Bibliografia.....	84
12. Oświadczenia autorów	94
13. Streszczenie w języku polskim	96
14. Streszczenie w języku angielskim	98

Wykaz skrótów stosowanych w pracy

- FMS - test oceny funkcjonalnej, który ma na celu zidentyfikowanie ograniczeń ruchowych i asymetrii w fundamentalnych wzorcach ruchowych (ang. *Functional Movement Screen*)
- RSSA - test oceniający zdolność do powtarzanego sprintu na łyżwach, przeplatany krótkimi okresami regeneracji (ang. *Repeated Sprint Skate Ability*)
- VJ - ogólna nazwa dla testów skoków pionowych (ang. *Vertical Jumps*)
- CMJ - skok pionowy z zamachem ramion (ang. *Countermovement jump*)
- SJ - skok pionowy z rękami na biodrach z ustalonej pozycji, półprzysiadu (ang. *Squat jump*)
- DDJ - skok pionowy, który poprzedzony jest zeskokiem z wysokości (ang. *Depth Drop Jump*)
- SMAT - test mający na celu ocenę maksymalnego poboru tlenu (VO_{2max}) oraz ogólnej oceny aerobowej sportowców uprawiających dyscypliny wymagające jazdy na łyżwach (ang. *Skating Multistage Aerobic Test*)
- FASS - test oceniający prędkość poruszania się na łyżwach przodem na odcinku 30 m (ang. *Forward Average Skating Sprint*)
- BASS - test oceniający prędkość poruszania się na łyżwach tyłem na odcinku 30 m (ang. *Backward Average Skating Sprint*)
- MSS - test oceny maksymalnej prędkości poruszania się na łyżwach przodem (ang. *Maximal Skating Speed*)
- KKD - kończyny dolne
- Sprawność fizyczna – możliwość przeprowadzania działań ruchowych, które wymagają siły, szybkości, wytrzymałości, zręczności oraz innych zdolności motorycznych (Denisiuk i Milicer-Gruzewska, 1969)
- Sprawność specjalna – adaptacja do specyficznych wymogów ruchowych i funkcjonalnych danej dyscypliny lub konkurencji sportowej (Sozański i in., 1999)

Wykaz prac naukowych wchodzących w skład cyklu

Przedmiotem niniejszej rozprawy jest osiągnięcie naukowe przedstawione w postaci niżej wymienionego jednotematycznego cyklu pięciu prac opublikowanych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Prace dotyczą analizy wybranych czynników determinujących sprawność specjalną zawodników piłki nożnej i hokeja na lodzie. W czterech pracach jestem pierwszym autorem, przyjmując na siebie główną rolę w projektowaniu i przeprowadzeniu niezbędnych badań, a także w przygotowaniu treści manuskryptów. Załącznik nr 1 zawiera potwierdzenie procentowego udziału pracy w powstanie publikacji. Łączna wartość punktowa opublikowanych prac wynosi **IF: 13.604 pkt. MNiSW: 660**

Prace wchodzące w skład monotematycznego cyklu publikacji:

Publikacja nr 1

Jakub Baron, Anna Bieniec, Andrzej Swinarew, Dariusz Skalski, Arkadiusz Stanula.

The effects of twelve-week functional training on the power of the lower limbs of young footballers. Acta Kinesiologica, 2020, Vol. 14, nr 1, ss. 70-76. [IF: --- | MNiSW: 140 pkt.]

Publikacja nr 2

Jakub Baron, Anna Bieniec, Andrzej S. Swinarew, Tomasz Gabryś, Arkadiusz Stanula.

Effect of 12-week functional training intervention on the speed of young footballers. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, Vol. 17, ss. 1-10. [IF: 3,390 | MNiSW: 140 pkt.]

Publikacja nr 3

Subir Gupta, **Jakub Baron**, Anna Bieniec, Andrzej Swinarew, Arkadiusz Stanula.

Relationship between vertical jump tests and ice skating performance in junior Polish ice hockey players. Biology of Sport, 2023, Vol. 40, nr 1, ss. 225-232. [IF: 5,600 | MNiSW: 140 pkt.]

Publikacja nr 4

Jakub Baron, Subir Gupta, Anna Bieniec, Grzegorz Klich, Tomasz Gabrys, Andrzej Szymon Swinarew, Karel Svatora, Arkadiusz Stanula.

Effect of Rest Period Duration between Sets of Repeated Sprint Skating Ability Test on the Skating Ability of Ice Hockey Players. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, Vol. 18, nr 20, s. 1-11. [IF: 4.614 | MNiSW: 140 pkt.]

Publikacja nr 5

Jakub Baron, Maciej Hołub, Arkadiusz Stanula.

Functional movement screen test as an predictor for jumping tests performance and on-ice skating sprint in elite level ice hockey players. Journal of Kinesiology and Exercise Sciences. 2024; 106 (34): 68-77. [IF: --- | MNiSW: 100 pkt.]

Wprowadzenie

Współczesny sport wyczynowy charakteryzuje się nieustannym rozwojem i złożonością, co sprawia, że granice ludzkich możliwości są regularnie przesuwane. W dyscyplinach takich jak piłka nożna i hokej na lodzie, sukces sportowy zależy od wielu czynników, w tym przede wszystkim od maksymalnego poziomu sprawności fizycznej i zdolności motorycznych. Choć mogłoby się wydawać, że możliwości ludzkiego organizmu zostały już w pełni zbadane, regularnie odnotowuje się rekordowe wyniki, co świadczy o potencjale, który wciąż jest odkrywany i rozwijany (Berthelot i in., 2015; Hołub i in., 2021). Jednym z czynników, który przyczynia się do poprawy wyników sportowych, jest rozwój technologii oraz metodologii badawczej, która umożliwia bardziej precyzyjne podejście do treningu i przygotowania fizycznego. Współczesne narzędzia badawcze pozwalają na monitorowanie wielu parametrów fizycznych, co z kolei pozwala na bardziej spersonalizowane podejście do treningu. Oznacza to, że tradycyjne metody treningowe, bazujące na intuicji i doświadczeniu, dziś coraz częściej uzupełniane są przez zaawansowane metody diagnostyczne, które pozwalają na dokładne śledzenie postępów zawodników oraz identyfikowanie ich słabych stron (Bompa i Haff, 2009; Chmura, 2016; Nevill i in., 2007; Siegfried i in., 2015).

W piłce nożnej i hokeju na lodzie zawodnicy muszą łączyć umiejętności techniczno-taktyczne z wysoce rozwiniętymi zdolnościami motorycznymi, takimi jak szybkość, moc, zwinność oraz wytrzymałość. Złożony charakter tych dyscyplin wymaga od zawodników nie tylko doskonałych umiejętności technicznych w czasie gry, ale także optymalnego poziomu sprawności specjalnej a także zdolności do szybkiej regeneracji organizmu po intensywnym wysiłku fizycznym. W tym kontekście coraz większe znaczenie ma trening funkcjonalny, który skupia się na poprawie globalnych wzorców ruchowych oraz na rozwijaniu zdolności motorycznych w sposób zbliżony do specyficznych wymagań sportowych. Współczesne badania wskazują, że trening funkcjonalny, wsparty nowoczesnymi narzędziami diagnostycznymi, takimi jak Functional Movement Screen (FMS) może w znaczący sposób poprawić zdolności motoryczne sportowców (Cook i in., 2014a; Minick i in., 2010; Peate i in., 2007). FMS, jako jedno z najczęściej stosowanych narzędzi, pozwala na identyfikację ograniczeń ruchowych oraz asymetrii, co pozwala na lepsze dostosowanie treningu do indywidualnych potrzeb każdego zawodnika.

Wprowadzenie zaawansowanych technologii, takich jak platformy siłowe czy urządzenia do pomiaru czasu, również zmienia sposób, w jaki analizowane są możliwości fizyczne

sportowców. Dzięki precyzyjnym pomiarom można dokładnie określić poziom sprawności fizycznej i zidentyfikować elementy, które wymagają poprawy. Analiza ta jest kluczowa w opracowywaniu spersonalizowanych programów treningowych, które optymalizują zdolności motoryczne, minimalizując ryzyko urazów i maksymalizując możliwości fizyczne zawodników (Nevill i in., 2007). Zrozumienie sprawności fizycznej i specjalnej, szczególnie w kontekście sportów zespołowych, ma ogromne znaczenie dla osiągania sukcesów w konkurencyjnym środowisku sportowym. Sprawność specjalna w piłce nożnej i hokeju na lodzie to zdolność do efektywnego wykonywania specyficznych dla tych dyscyplin ruchów, co wymaga nie tylko rozwiniętych umiejętności technicznych, ale także wysokiego poziomu kondycji fizycznej. Dodatkowo wpływ regeneracji na zdolność zawodnika do powtarzania wysiłków, takich jak sprinty i nagłe zmiany kierunku, nie może być niedoceniany.

Celem niniejszej pracy jest analiza roli trzech kluczowych czynników: treningu funkcjonalnego, oceny zdolności motorycznych oraz zarządzania regeneracją w procesie doskonalenia sprawności specjalnej zawodników piłki nożnej i hokeja na lodzie. Te trzy filary, działając w synergii, pozwalają na optymalizację przygotowania fizycznego, zwiększając możliwości fizyczne sportowców. W kolejnych rozdziałach pracy omówione zostaną poszczególne aspekty sprawności fizycznej oraz jej znaczenie w kontekście zespołowych gier sportowych. Następnie przedstawiona zostanie analiza narzędzi diagnostycznych stosowanych w ocenie sprawności specjalnej. Zostanie również poruszona kwestia regeneracji oraz jej wpływu na sprawność specjalną zawodników. Wreszcie, badania przedstawione w tej pracy dostarczą praktycznych rekomendacji dotyczących usprawnienia procesu treningowego, co może przyczynić się do poprawy efektywności sportowców zarówno w piłce nożnej, jak i hokeju na lodzie.

1. Pojęcie sprawności fizycznej

Zrozumienie koncepcji sprawności fizycznej różni się w zależności od autora i podejścia. Sprawność fizyczna jest pojęciem, które próbowało definiować wielu wybitnych teoretyków sportu. Jak podkreślał Sozański (Sozański i in., 1999), sprawność fizyczna nie jest zjawiskiem stałym. Światowa Organizacja Zdrowia w 1968 r. starała się przyjąć definicję sprawności fizycznej, ale siedmiokrotnie próby zdefiniowania tego pojęcia odrzucono przez komisję ekspertów (Galas, 2019; Osiński, 2018). To obrazuje, jak bardzo zagadnienia dotyczące sprawności fizycznej są złożone. Podziału sprawności fizycznej, którego dokonał Sozański i który powieliło wielu badaczy, m.in. Stone oraz Strzelczyk, dotyczyło sprawności fizycznej rozumianej jako sprawność wszechstronna lub wszechstronny rozwój fizyczny czy też ogólna sprawność fizyczna (ang. *General fitness*) (Bompa i Haff, 2009; Lorenz i Morrison, 2015; Skotnicka i Strzelczyk, 2018; M. Stone i in., 2007; Suchomel i in., 2016). Z kolei Drabik przedstawia sprawność fizyczną jako cechę zależną od szeregu różnych elementów, w tym płci, wieku, ogólnej kondycji, zdrowia, predyspozycji genetycznych oraz zdolności motorycznych. Podkreśla również, że na sprawność fizyczną wpływają także takie czynniki jak motywacja, stan psychiczny, stopień rozwoju umiejętności ruchowych, rodzaj wykonywanej pracy, poziom aktywności fizycznej oraz styl życia (Drabik, 1995). W zwięzły sposób za to pojęcie sprawności fizycznej opisuje Szopa, który uważa, że sprawność fizyczna jest zestawem umiejętności, które pozwalają na skuteczne realizowanie różnych rodzajów ruchów (Szopa i in., 1999). Natomiast zgodnie z definicją J. Migasiewicza, sprawność fizyczna jest właściwością, która obejmuje nie tylko zdolności motoryczne, ale także ogólny stan zdrowia organizmu. Osoba sprawna to taka, która w codziennych sytuacjach jest w stanie wykonywać różnorodne czynności fizyczne, takie jak chodzenie, bieganie, rzucanie czy dźwiganie, dostosowując się do ciągle zmieniającego się otoczenia. Sprawność fizyczna jest nie tylko ważna dla utrzymania zdrowia, ale również pełni kluczową rolę w życiu zawodowym i społecznym, wspomagając jednocześnie spowolnienie naturalnych procesów starzenia (Migasiewicz, 2006). Z kolei Denisiuk definiuje sprawność fizyczną jako możliwość przeprowadzania działań, które wymagają siły, szybkości, wytrzymałości, zręczności oraz innych zdolności motorycznych. Uważa, że taka sprawność jest rezultatem procesu treningowego, który modyfikuje regulacyjne funkcje układu nerwowego, wpływając tym samym na funkcjonowanie całego ciała i poprawiając wydajność różnorodnych zdolności motorycznych (Denisiuk i Milicer-Gruzewska, 1969). Natomiast Osiński

wyszczególnił i rozpowszechnił pojęcie sprawności motorycznej, która oznacza jedynie część sprawności fizycznej wyrażanej przez określony poziom osobniczych zachowań w działaniach ruchowych ukierunkowanych na wyniki sportowe (Osiński, 2018). Innym poglądem na temat sprawności fizycznej dysponują badacze zagraniczni, według Caspersena sprawność fizyczna obejmuje zdolność do wykonywania różnorodnych czynności codziennych z minimalnym zmęczeniem oraz utrzymanie dobrego stanu zdrowia, szczególnie w kontekście chorób związanych z brakiem aktywności fizycznej (Caspersen i in., 1985). Dodatkowo, Pate podkreśla, że sprawność fizyczna powinna koncentrować się na aspektach zdrowotnych, takich jak zdolność do wykonywania codziennych zadań z energią oraz cechy i zdolności związane z niskim ryzykiem przedwczesnego rozwoju chorób hipokinetycznych (Pate, 1988). W uzupełnieniu do tych definicji, Howley i Franks podkreślają, że podstawowym zadaniem sprawności fizycznej jest promowanie dobrego zdrowia fizycznego, co z kolei zmniejsza zagrożenie wystąpieniem chorób. Obie definicje wskazują na fundamentalne znaczenie sprawności fizycznej w promowaniu zdrowia i zapobieganiu chorobom (Howley i Franks, 1992).

Kolejnym elementem rozważań o sprawności jest sprawność specjalna lub inaczej specjalny rozwój fizyczny (Baechle i Earle, 2018; Bompa i Haff, 2009; Sozański i in., 1999; M. Stone i in., 2007). Zaproponowana przez Sozańskiego (Sozański i in., 1999) definicja sprawności specjalnej cechuje adaptacja do specyficznych wymogów ruchowych i funkcjonalnych danej dyscypliny, czy konkurencji sportowej. Podobnie definicję sprawności specjalnej przedstawia Bompa i Stone, którzy twierdzą, że specjalny rozwój fizyczny to inaczej sprawność fizyczna specjalna dla danej dyscypliny sportu (ang. *sport specific fitness*) (Bompa i Haff, 2009; M. Stone i in., 2007). Polega ona na kształtowaniu zdolności fizjologicznych i sprawności specyficznej dla danej dziedziny. Jak podkreślają, celem tego rodzaju treningu, może być siła, wytrzymałość, gibkość lub kształtowanie określonych nawyków wykorzystywanych w warunkach startowych. Należy podkreślić, że autorzy wskazują na to, iż wiele dyscyplin sportowych wymaga podejścia kompleksowego i łączenia zdolności podstawowych np. szybkości z siłą lub siły z wytrzymałością (Baechle i Earle, 2018; Ingebrigtsen i in., 2013; M. Stone i in., 2007; Zatsiorsky i Kraemer, 2006). Nieustanna ewolucja procesu treningowego i rozwoju nauk o sporcie opiera się na zrozumieniu i wykorzystaniu czynników, które wzbudzają napięcie fizyczne i psychiczne wśród zawodników (Bompa i Haff, 2009).

Podsumowując, sprawność fizyczna jest szeroko pojętym terminem, który obejmuje różnorodne aspekty zdrowia i umiejętności, mierzone przez dedykowane testy sprawnościowe a jej utrzymanie ma istotny wpływ na jakość życia i zdrowie. Specjalna sprawność fizyczna, jak wskazują naukowcy, ma kluczowe znaczenie dla osiągnięć w sportowej rywalizacji. Jest ona niezbędna w przygotowaniach do zawodów, pozwalając zawodnikom na optymalne wykorzystanie swoich umiejętności w warunkach startowych oraz podczas bezpośredniej rywalizacji sportowej. Dostosowanie treningu do specyficznych wymagań danej dyscypliny pozwala na rozwijanie właściwych zdolności fizjologicznych, które są decydujące podczas sportowej walki. Utrzymanie i rozwijanie specjalnej sprawności fizycznej wymaga zrozumienia i implementacji treningów, które integrują różnorodne cechy fizyczne, takie jak siła, szybkość, wytrzymałość, oraz gibkość, aby stworzyć kompleksowy program przygotowujący sportowców do osiągania coraz lepszych wyników i radzenia sobie z wyzwaniami, które niesie zaawansowana rywalizacja sportowa.

2. Sporty zespołowe w systematyce treningu sportowego

Sporty zespołowe, takie jak piłka nożna i hokej na lodzie, wymagają złożonych zdolności motorycznych, które łączą w sobie szybkość, wytrzymałość, siłę oraz zdolność do regeneracji w krótkich przerwach pomiędzy intensywnymi wysiłkami. Trening w tych dyscyplinach musi być wieloaspektowy i skoncentrowany zarówno na rozwijaniu zdolności motorycznych jak i na doskonaleniu techniki oraz taktyki. W ujęciu literatury trening sportowy jest procesem, w którym dąży się do optymalizacji wykonywanych przez zawodnika czynności ruchowych na maksymalnie możliwym poziomie (Baechle i Earle, 2018; Bompa i Haff, 2009; Zatsiorsky i Kraemer, 2006). Trening jest więc procesem długotrwałym, uwarunkowanym wieloma czynnikami, obejmującymi zmienne fizjologiczne, psychiczne i społeczne, a są one tak kształtowane, aby zawodnik podołał specyficznym wyzwaniom stawianym podczas rywalizacji sportowej. Tradycyjne podejście starożytnych sportowców opierało się na idei wszechstronnego i harmonijnego rozwoju, definiując doskonałość fizyczną jako połączenie umiejętności technicznych z rozwijaniem pozytywnych wartości psychicznych oraz troski o zdrowie. Chociaż te zasady są nadal aktualne, współczesny trening sportowy, zwłaszcza na poziomie wyczynowym, wymaga bardziej złożonego i zaplanowanego procesu, opartego na metodach naukowych w połączeniu z praktycznym doświadczeniem (Aoki i in., 2017; Baechle i Earle, 2018; Bompa i Haff, 2009). W tym kontekście trening funkcjonalny, ukierunkowany na poprawę specyficznych wzorców ruchowych i zdolności fizycznych, odgrywa kluczową rolę, szczególnie gdy jest wspierany przez odpowiednie narzędzia diagnostyczne. Wymagania dla zawodników w sportach zespołowych, takich jak piłka nożna czy hokej, są złożone i obejmują konieczność maksymalnego lub submaksymalnego zaangażowania energetycznego, gdzie intensywne działania (jak przyspieszenia, zmiany kierunku, skoki, uderzenia) są przeplatane krótkimi przerwami na regenerację (Bishop i Girard, 2013). W tych dyscyplinach kluczowe jest rozwinięcie zdolności szybkościowych, koordynacyjnych, siłowych oraz wytrzymałościowych, które pozwalają na powtarzalne wykonywanie złożonych działań technicznych i taktycznych, często pod presją czasu i przeciwnika oraz w warunkach zmęczenia wynikającego z długotrwałej rywalizacji (Ermanno Rampinini i in., 2008).

Złożoność procesów treningowych w zespołowych grach sportowych wynika z konieczności dostosowania zdolności motorycznych zawodnika do specyficznych wymagań danej dyscypliny. Trening sportowy w ujęciu zespołowych gier sportowych to proces, który obejmuje zarówno rozwój sprawności ogólnej, jak i specjalnej. Sprawność specjalna, która określana jest

jako zdolność do maksymalnie efektywnej realizacji zadania ruchowego, jest produktem systematycznej pracy i planowanego procesu treningowego trwającego wiele lat (Zahradník i Korvas, 2012).

Osiągnięcia w zespołowych grach sportowych zależą od wielu czynników, w tym sprawnościowych, technicznych, mentalnych i taktycznych. Ważne jest zrozumienie, że wyniki w tych dyscyplinach nie zależą wyłącznie od wrodzonych predyspozycji, ale od systematycznej pracy nad zdolnościami motorycznymi i umiejętnościami technicznymi (Bompa i Haff, 2009; Stone i in., 2007). Aby osiągnąć optymalny poziom sprawności specjalnej, zawodnicy muszą podlegać stałej kontroli i ocenie zdolności fizycznych, co pozwala na dokładne monitorowanie ich postępów oraz dostosowanie obciążeń treningowych do aktualnych potrzeb (Baechle i Earle, 2018; Jiménez-Reyes i in., 2017).

Kluczową rolę w efektywności procesu treningowego odgrywa również zarządzanie regeneracją. Intensywność akcji ruchowych w zespołowych grach sportowych powoduje, że szybka regeneracja po wysiłku jest niezbędna do utrzymania optymalnego poziomu gotowości meczowej przez cały czas trwania rywalizacji. Nowoczesne metody treningowe, które integrują trening funkcjonalny z narzędziami diagnostycznymi, takimi jak Functional Movement Screen (FMS) czy testy skoków pionowych (CMJ, SJ, DDJ), oraz technologiami monitorującymi obciążenia, pozwalają na precyzyjne dostosowanie planów treningowych do indywidualnych potrzeb zawodników (Cook i in., 2014a; Peate i in., 2007).

Zespołowe gry sportowe, takie jak piłka nożna i hokej na lodzie, wymagają wieloaspektowego podejścia do treningu, które łączy rozwój zdolności motorycznych z doskonaleniem umiejętności technicznych i taktycznych. Kluczową rolę odgrywa również zarządzanie regeneracją oraz precyzyjne monitorowanie obciążeń treningowych, co umożliwia dostosowanie programu treningowego do indywidualnych potrzeb zawodników.

3. Narzędzia diagnostyczne w ocenie sprawności specjalnej zawodników zespołowych gier sportowych

W obliczu rosnącej konkurencji w dziedzinie zespołowych gier sportowych, specjaliści intensywnie poszukują efektywnych metod oceny i optymalizacji sprawności fizycznej zawodników. Wśród narzędzi zyskujących na popularności w tej dziedzinie znalazł się test oceny funkcjonalnej (Functional Movement Screen – FMS), opracowany przez Cooka i

współautorów w 2006 roku (Cook i in., 2006). FMS, narzędzie składające się z siedmiu testów ruchowych, ma za zadanie identyfikować ograniczenia i asymetrie ruchowe, zwiększające ryzyko urazów mogące negatywnie wpływać na całościową sprawność fizyczną sportowców. Badania wskazują na potencjalną wartość FMS w prognozowaniu ryzyka urazów. Badania O'Connor wykazały, że wynik ≤ 14 w FMS wiązał się z wyższym ryzykiem urazu wśród kandydatów na oficerów marynarki, co wskazuje na pewną wartość predykcyjną (O'Connor i in., 2011). Z kolei badania Bonazzy, który przeprowadził systematyczny przegląd i metaanalizę potwierdziły wartość predykcyjną FMS, wskazując, że osoby z wynikami ≤ 14 miały większe prawdopodobieństwo odniesienia urazu (Bonazza i in., 2017). W kontekście młodych sportowców, Dinc wskazał na znaczenie dostosowywania programów treningowych do indywidualnych potrzeb, aby poprawić jakość ruchu i zmniejszyć ryzyko urazu (Dinc i in., 2017). Takie badania podkreślają konieczność indywidualnego podejścia w treningu sportowym. Z kolei inni badacze sugerują, że FMS może nie być wszechstronnym narzędziem do oceny ryzyka urazu wśród profesjonalnych sportowców, co wskazuje na potrzebę łączenia FMS z innymi metodami oceny (Dorrel i in., 2015). Minicki zauważył, że celowane interwencje mogą prowadzić do zmniejszenia liczby urazów, podkreślając wartość interwencyjnego podejścia (Minicki i in., 2010). Podobnie jak kolejni badacze potwierdzili użyteczność FMS w ocenie fundamentalnych wzorców ruchowych wśród amatorskich sportowców (Schneiders i in., 2011), podczas gdy Teyhen i współpracownicy zwrócili uwagę na rolę FMS w poprawie świadomości na temat znaczenia jakości ruchu (Teyhen i in., 2014). Dodatkowo badacze wykazali, że FMS może służyć jako efektywna metoda przesiewowa w różnych populacjach badanych, sugerując jego uniwersalność (Peate i in., 2007). Nowe badania rozszerzają dyskusję o FMS, podkreślając jego złożoność i potencjał, szczególnie w kontekście poszukiwania relacji między FMS a sprawnością specjalną. Przykładowo, badania nad korelacją między FMS a wydolnością krążeniowo-oddechową wykazały istotną pozytywną korelację, co sugeruje, że FMS może być użytecznym narzędziem w ocenie ogólnej sprawności fizycznej (Kose i Bilge, 2019). Dodatkowo, badania na studentach wykazały ograniczone korelacje między poszczególnymi komponentami FMS a testami sprawności specjalnej (Zou, 2016). Jednocześnie badania nad związkami między FMS a sprawnością fizyczną sugerują pozytywne korelacje, wskazując, że FMS może być powiązany z komponentami siły i stabilności mięśniowej (Domaradzki i Koźlenia, 2023). Zgromadzone dowody wskazują na wielowymiarowość oceny sprawności fizycznej i podkreślają potrzebę dalszych badań, aby w pełni wykorzystać potencjał FMS. Integracja FMS z innymi narzędziami oceny oraz indywidualne podejście do treningu mogą znacząco przyczynić się do optymalizacji treningu

sportowego, redukcji ryzyka urazu oraz poprawy ogólnej sprawności fizycznej zawodników (Asgari i in., 2021; Zhixiong i in., 2016)

Kolejnym elementem oceny sprawności specjalnej zawodników są testy skoków pionowych, zwłaszcza w kontekście zespołowych gier sportowych. Moc kończyn dolnych, jako jeden z kluczowych determinantów mających wpływ na sprawność specjalną, odgrywa znaczącą rolę w dyscyplinach wymagających szybkości, skoczności oraz wytrzymałości. Zdolności do generowania mocy mięśni kończyn dolnych, które są bezpośrednio powiązane ze sprawnością specjalną zawodników, są oceniane za pomocą różnorodnych testów, takich jak skoki wertykalne czy sprinty (Ferrari Bravo i in., 2008). Narzędzia takie jak Optojump Next umożliwiają precyzyjne mierzenie parametrów skoku, takich jak wysokość skoku czy produkowaną moc (Markovic i in., 2004). Korelacja między mocą kończyn dolnych a sprawnością specjalną nabiera szczególnego znaczenia w kontekście gier zespołowych, gdzie szybkość i zwinność są decydujące dla sukcesu. Testy skoków pionowych bezpośrednio odzwierciedlają moc mięśniową kończyn dolnych, co jest kluczowe dla momentów wymagających szybkich i silnych odbić (Klavora, 2000; Vanezis i Lees, 2005). Eksplozywność, czyli zdolność do generowania maksymalnej siły w jak najkrótszym czasie, jest niezbędna w sportach zespołowych. Wysoka korelacja między wynikami testów skoków pionowych a sukcesem w dyscyplinach sportowych podkreśla ich dużą wartość prognostyczną (Rodríguez-Rosell i in., 2017). Ponadto, regularne przeprowadzanie testów skoków pionowych może pomóc w identyfikacji asymetrii mięśniowych lub deficytów siłowych, które mogą zwiększać ryzyko urazów (E. Rampinini i in., 2007). Testy te mogą być również wykorzystywane do monitorowania efektów treningu siłowego i plyometrycznego (Ostojic i in., 2010). Chociaż testy skoków pionowych są niezwykle wartościowe, istnieją ograniczenia, takie jak różnice w metodologiach pomiarowych, które mogą wpływać na wiarygodność wyników (Leard i in., 2007). Różne urządzenia do mierzenia wysokości skoku mogą dawać różne wyniki, co wymaga standaryzacji metod i sprzętu do oceny skoków pionowych (Buckthorpe i in., 2012).

Podsumowując, testy skoków pionowych dostarczają cennych informacji na temat kluczowych aspektów sprawności specjalnej zawodników w zespołowych grach sportowych. Ich regularne stosowanie pozwala na optymalizację treningu, poprawę wyników sportowych oraz zmniejszenie ryzyka urazów. Jednakże, aby w pełni wykorzystać ich potencjał, konieczne jest stosowanie spójnych i wiarygodnych metod pomiarowych. Jak podkreślają badacze, szybkość i reaktywność zawodników mogą decydować o wyniku meczu, co podkreśla

znaczenie oceny tych zdolności w sportach zespołowych (Bangsbo, 1999; Faude i in., 2012; Hoff i in., 2005; Little i Williams, 2005; Stølen i in., 2005)..

Zdolność do szybkiego poruszania się, zarówno z piłką czy krążkiem, jak i bez niej/niego, umożliwia zawodnikom skuteczne wykonywanie akcji ofensywnych, efektywną obronę oraz adaptację do dynamicznie zmieniających się warunków gry. W tym kontekście, testy szybkości, takie jak sprinty na krótkich dystansach, są nieodzownym narzędziem do oceny szybkości i eksplozywności zawodników, co ma bezpośrednie przełożenie na ich sprawność na boisku.

Pomiary szybkości są więc nieodłącznym elementem programów treningowych i oceny sprawności sportowców. Regularne pomiary pozwalają na dokładną ocenę obecnych zdolności zawodnika i monitorowanie postępów w czasie. Dzięki temu trenerzy mogą dostosowywać plany treningowe do indywidualnych potrzeb sportowca, maksymalizując efektywność treningów. Pomiar szybkości umożliwia identyfikację słabych punktów zawodnika i koncentrację na ich eliminacji, co pozwala na bardziej ukierunkowane i efektywne treningi (Bangsbo, 1999; Hoff i in., 2005). Pomimo licznych zalet, stosowanie pomiarów szybkości w treningu sportowym wiąże się z pewnymi wyzwaniami. Precyzja pomiarów może być zmienna w zależności od wybranych metod i urządzeń. Ponadto, interpretacja danych wymaga wiedzy i doświadczenia, aby móc skutecznie przekładać wyniki pomiarów na praktyczne zastosowania treningowe (Faude i in., 2012; Hoff i in., 2005). Jednakże pomiar szybkości jest kluczowym elementem w ocenie i rozwoju sprawności specjalnej zawodników w zespołowych grach sportowych. Umożliwia on kompleksową ocenę możliwości fizycznych zawodnika, dostosowanie treningów do indywidualnych potrzeb sportowca, a także efektywne zarządzanie zespołem poprzez selekcję zawodników o największym potencjale. Pomimo wyzwań związanych z dokładnością i interpretacją danych, ciągły rozwój technologii pomiarowych otwiera nowe możliwości dla trenerów i sportowców dążących do doskonałości na polu gry.

W ocenie sprawności specjalnej zawodników hokeja na lodzie i innych zespołowych gier sportowych, jednym z istotnych aspektów jest zdolność do szybkiej regeneracji pomiędzy intensywnymi wysiłkami. W tym kontekście szczególne znaczenie mają narzędzia diagnostyczne pozwalające na monitorowanie zdolności zawodników do powtarzania wysiłków eksplozywnych, takich jak sprinty na łyżwach, zahamowania czy zmiany kierunku, co ma bezpośrednie przełożenie na ich efektywność podczas rywalizacji sportowej.

Jednym z takich narzędzi jest test powtarzanego sprintu na łyżwach (RSSA), który pozwala na ocenę zarówno mocy, szybkości a także zwinności jak i zdolności do regeneracji pomiędzy kolejnymi powtórzeniami wysiłku. Testy takie jak RSSA umożliwiają monitorowanie nie tylko zdolności do powtarzania wysiłków, ale również efektywności procesów regeneracyjnych. Narzędzia takie jak systemy monitorowania częstości skurczów serca (HRmax) oraz pomiary poziomu kwasu mlekowego (BLa) dostarczają istotnych informacji na temat zdolności zawodnika do efektywnego usuwania produktów przemiany materii i odbudowy zasobów energetycznych. Badania Girarda i współpracowników z 2011 wskazują, że skuteczność regeneracji pomiędzy wysiłkami eksplozywnymi, takimi jak sprinty, ma bezpośredni wpływ na wydolność w kolejnych seriach wysiłkowych, szczególnie w sportach, które wymagają powtarzalnych sprintów (Girard i in., 2011). Z kolei Thorpe i wsp. wykazali, że monitorowanie obciążeń treningowych, w tym parametrów takich jak HRmax oraz BLa, może być pomocne w lepszym dostosowaniu intensywności wysiłków do możliwości regeneracyjnych zawodników (Thorpe i in., 2017). Wprowadzenie narzędzi diagnostycznych, które mierzą zmęczenie i zdolności regeneracyjne, pozwala trenerom na optymalizację planów treningowych i lepsze dostosowanie obciążeń do możliwości zawodników. Dzięki takiemu monitorowaniu możliwe jest również precyzyjne planowanie przerw wypoczynkowych podczas treningów i zawodów. W badaniach Buchheita wykazano, że dostosowanie przerw do indywidualnych zdolności regeneracyjnych zawodników może prowadzić do poprawy ich wydolności i zmniejszenia ryzyka kontuzji. Wprowadzenie dobranych czasów regeneracji może wpłynąć na lepsze wyniki zawodników oraz zmniejszenie ryzyka kontuzji związanych z nadmiernym zmęczeniem mięśni (Buchheit i in., 2023). Na przykład zawodnicy, którzy mają zapewnioną odpowiednią ilość czasu na regenerację pomiędzy wysiłkami o wysokiej intensywności, są mniej narażeni na przeciążenia i urazy mięśniowe, co jest kluczowe w intensywnych sportach kontaktowych, takich jak hokej na lodzie. Badania Carlinga potwierdzają, że optymalizacja przerw regeneracyjnych pomiędzy powtarzanimi wysiłkami nie tylko zwiększa wydajność zawodników, ale także redukuje ryzyko urazów związanych z akumulacją zmęczenia (C. Carling i in., 2012)

Podsumowując, narzędzia diagnostyczne, takie jak testy FMS, testy mocy kończyn dolnych oraz testy szybkości, pozwalają oszacować sprawność specjalną zawodników zespołowych gier sportowych. Dzięki tym testom możliwe jest nie tylko monitorowanie aktualnego stanu motorycznego zawodników, ale także prognozowanie ryzyka urazów oraz optymalizacja procesu treningowego. Ważnym elementem oceny sprawności fizycznej jest

także zdolność do regeneracji pomiędzy powtarzanymi wysiłkami eksplozywnymi, co ma szczególne znaczenie w sportach wymagających dużej intensywności, takich jak hokej na lodzie czy piłka nożna. Holistyczne podejście do treningu, łączące wiedzę teoretyczną z praktycznymi aspektami oceny i optymalizacji sprawności fizycznej, jest nieodzowne w procesie przygotowania sportowców do rywalizacji na najwyższym poziomie.

4. Znaczenie treningu funkcjonalnego w zespołowych grach sportowych

Trening funkcjonalny stał się nieodłącznym elementem współczesnych sportów zespołowych, takich jak piłka nożna, hokej na lodzie. Jego istotnym zadaniem jest wspieranie rozwoju umiejętności motorycznych, które mają bezpośredni wpływ na efektywność zawodników na boisku oraz zmniejszenie ryzyka kontuzji. W odróżnieniu od tradycyjnych metod treningowych, trening funkcjonalny koncentruje się na wzorcach ruchowych które naśladują czynności ruchowe występujące w sytuacjach meczowych, co zwiększa efektywność sportowca w realnych warunkach rywalizacji (Cook et al., 2014a). Trening funkcjonalny jest często definiowany jako forma treningu, która angażuje całe ciało w sposób zbliżony do naturalnych ruchów wykonywanych podczas gry. Bompa i Haff zwracają uwagę, że trening ten obejmuje ćwiczenia wielostawowe, wymagające pracy wielu grup mięśniowych jednocześnie. W ten sposób poprawiane są zdolności motoryczne, takie jak siła, koordynacja, stabilność, wytrzymałość i zwinność, co przekłada się na lepszą efektywność w sportach wymagających szybkich reakcji oraz dynamicznych zmian kierunku ruchu (Bompa i Haff, 2009). Badania wskazują, że jednym z największych atutów treningu funkcjonalnego jest jego zdolność do wpływania na zmniejszenie ryzyka urazów. Zawodnicy, którzy regularnie wykonują ćwiczenia funkcjonalne, cechują się lepszą stabilnością tułowia i kończyn, co zmniejsza ryzyko kontuzji podczas nagłych startów, zatrzymań i zmian kierunku (Cook i in., 2014a). Z tego względu, trenerzy i specjaliści ds. przygotowania motorycznego coraz częściej włączają trening funkcjonalny do swoich programów jako fundament budowania zdolności motorycznych. Dzięki zaawansowanym narzędziom diagnostycznym, takim jak FMS, możliwe jest dokładne określenie słabych punktów zawodnika oraz wdrożenie odpowiednich działań korygujących. Minick i współpracownicy podkreślają, że trening funkcjonalny wsparty wynikami diagnostycznymi z testów takich jak FMS może znacząco poprawić jakość ruchu zawodnika, co z kolei przekłada się na lepszą stabilność oraz efektywność motoryczną (Minick i in., 2010). Zawodnicy, którzy przechodzą przez spersonalizowane programy treningowe, oparte na

wynikach testów diagnostycznych, częściej wykazują postępy w kluczowych obszarach zdolności motorycznych. Na przykład badania Markovica i współpracowników wykazały, że po 8 tygodniach regularnego treningu funkcjonalnego, moc eksplozywna zawodników wzrosła średnio o 12%, a ich szybkość reakcji poprawiła się o 8%, co miało bezpośrednie przełożenie na lepsze wyniki w sprintach i szybsze zmiany kierunku ruchu (Markovic i in., 2004). Zastosowanie wielopłaszczyznowych ćwiczeń, takich jak przysiady, wykroki, skoki czy dynamiczne ruchy, pozwala na lepsze przygotowanie zawodników do złożonych sytuacji na boisku lub lodowisku. Lloyd zwraca uwagę, że regularny trening funkcjonalny, szczególnie ten angażujący dolne partie ciała, wpływa na wzrost mocy eksplozywnej nawet o 10%, co jest kluczowe w momentach wymagających szybkiego przyspieszenia, skoku czy zmiany kierunku (Lloyd i in., 2015). Dodatkowo badanie na zawodowych koszykarzach wykazało, że trening funkcjonalny znacząco poprawił siłę mięśni, elastyczność, zwinność i wysokość skoku pionowego, przewyższając tradycyjne metody treningu siłowego (Usgu i in., 2020). Trening funkcjonalny jest również skutecznym narzędziem prewencji urazów. Badania Dinc'a wykazały, że zawodnicy, którzy regularnie angażują się w ćwiczenia funkcjonalne, są mniej podatni na kontuzje, dzięki poprawie stabilności oraz ruchomości stawów (Dinc i in., 2017). Włączenie do programu treningowego ćwiczeń wzmacniających kluczowe grupy mięśniowe, takie jak mięśnie stabilizujące tułów i miednicę (core), ma istotne znaczenie dla zmniejszenia obciążenia stawów oraz poprawy kontroli nad ruchem.

Podsumowując, trening funkcjonalny stanowi kluczowy element przygotowania motorycznego w sportach zespołowych, zapewniając rozwój zdolności motorycznych oraz zmniejszenie ryzyka kontuzji. Jego efektywność zależy jednak od indywidualizacji oraz regularnego monitorowania postępów za pomocą narzędzi diagnostycznych, takich jak FMS i testy mocy eksplozywnej.

5. Długość przerwy wypoczynkowej pomiędzy powtarzanymi wysiłkami a sprawność zawodników

Regeneracja jest elementem, który bezpośrednio wpływa na wydolność sportowca, szczególnie w kontekście wysiłku fizycznego o wysokiej intensywności i krótkich przerwach między jego powtórzeniami. Zdolność organizmu do efektywnej regeneracji między wysiłkami determinuje poziom wydolności w kolejnych fazach treningu lub rywalizacji. W sportach zespołowych, takich jak piłka nożna, koszykówka czy hokej na lodzie, zawodnicy wielokrotnie poddawani są

wysiłkom submaksymalnym i maksymalnym, co wymaga wysokiego poziomu regeneracji między krótkimi, intensywnymi seriami wysiłkowymi (Girard i in., 2011). Wysiłki krótkotrwałe, eksplozywne, takie jak sprinty, zahamowania, zmiany kierunku czy skoki, powodują wyczerpanie zasobów energetycznych, zwłaszcza fosfokreatyny, a także zakwaszenie mięśni na skutek nagromadzenia mleczanu. Proces regeneracji między wysiłkami obejmuje przede wszystkim odbudowę fosfokreatyny oraz usuwanie produktów przemiany materii, takich jak kwas mlekowy, co przywraca zdolność mięśni do ponownego podejmowania maksymalnej pracy (Moir i in., 2005). Odpowiednio długi czas odpoczynku pozwala na przywrócenie równowagi w mięśniach, dzięki czemu zawodnik może efektywnie wykonywać kolejne serie wysiłków eksplozywnych. Czas trwania przerw między wysiłkowymi ma znaczenie dla wydolności. Badania wykazują, że regeneracja zasobów fosfokreatyny trwa około 3-5 minut po intensywnym wysiłku, jednak zależy to od intensywności i długości trwania wysiłku oraz kondycji sportowca (McMahon i Jenkins, 2002). Krótsze przerwy mogą nie pozwalać na pełne odtworzenie zasobów energetycznych, co prowadzi do kumulacji zmęczenia i spadku wydajności w późniejszych fazach treningu lub meczu.

Zdolność do regeneracji między powtarzalnymi wysiłkami eksplozywnymi jest istotnym czynnikiem w sportach, gdzie szybkie zmiany tempa, sprinty czy nagłe zwroty są kluczowe. W piłce nożnej czy hokeju, zawodnicy muszą regularnie wykonywać wysiłki submaksymalne w krótkich odstępach czasowych, a niepełna regeneracja między nimi może prowadzić do akumulacji zmęczenia i zwiększenia ryzyka kontuzji. Badania wskazują, że zbyt krótki czas na regenerację prowadzi do obniżenia mocy mięśniowej i jakości wykonania technicznego, co może negatywnie wpływać na wynik sportowy (Thorpe i in., 2017). W kontekście regeneracji między wysiłkowej, aktywna regeneracja może okazać się bardziej efektywna niż całkowity odpoczynek. Aktywność niskiej intensywności między wysiłkami wspomaga krążenie krwi, co przyspiesza proces usuwania metabolitów, takich jak kwas mlekowy, oraz sprzyja szybszemu przywróceniu wydolności (Carling i in., 2012). Odpowiednio zaplanowana aktywna regeneracja może znacząco poprawić zdolność zawodników do powtarzania wysiłków eksplozywnych. Aby efektywnie zarządzać regeneracją, konieczne jest monitorowanie poziomu zmęczenia zawodników. Nowoczesne technologie, takie jak systemy GPS, pozwalają na śledzenie obciążeń treningowych oraz wysiłku podczas meczów, co umożliwia trenerom precyzyjne planowanie przerw i regeneracji. Dostosowanie przerw do indywidualnych potrzeb zawodników może poprawić efektywność treningów oraz zmniejszyć ryzyko przeciążeń i kontuzji (Buchheit i in., 2023).

6. Cel pracy

Głównym celem badań była identyfikacja czynników wpływających na poziom sprawności specjalnej zawodników piłki nożnej i hokeja na lodzie.

W oparciu o dokonany przegląd piśmiennictwa sformułowano następujące **pytania badawcze**:

- 1) Czy, a jeżeli tak, to jak trening funkcjonalny dostosowany do wyników testu FMS wpływa na status funkcjonalny oraz szybkość i moc kończyn dolnych u młodych piłkarzy nożnych?
- 2) Czy wykorzystanie testu FMS pozwala identyfikować potencjał sprawnościowy zawodowych hokeistów w testach oceniających moc KKD i szybkość jazdy na lodzie?
- 3) Czy, a jeżeli tak, to w jakim zakresie testy oceniające moc kończyn dolnych korelują z wynikami testów szybkości jazdy na lodzie u młodzieżowych hokeistów ?
- 4) Jak wpływa wydłużony czas regeneracji na efektywność wykonania powtarzanych wysiłków poruszania się po lodzie z maksymalną intensywnością wśród hokeistów?

Na podstawie postawionych pytań, sformułowano następujące **hipotezy badawcze**:

- 1) **Hipoteza:** Trening funkcjonalny, dostosowany na podstawie diagnostyki globalnych wzorców ruchowych z wykorzystaniem testu FMS, wywiera pozytywny wpływ na status funkcjonalny, szybkość oraz moc kończyn dolnych u młodych piłkarzy nożnych (*publikacja 1 i 2*);
- 2) **Hipoteza:** Diagnostyka globalnych wzorców ruchowych z wykorzystaniem testu FMS pozwala na identyfikację potencjału sprawnościowego w testach oceniających moc KKD i szybkości jazdy na lodzie wśród zawodowych hokeistów (*publikacja 5*);
- 3) **Hipoteza:** Testy oceniające moc kończyn dolnych istotnie korelują z wynikami testów szybkości jazdy na lodzie młodych hokeistów (*publikacja 3*);
- 4) **Hipoteza:** Wydłużony okres regeneracji w teście powtarzanego wysiłku poruszania się po lodzie z maksymalną intensywnością, sprzyja efektywności czynności ruchowych (*publikacja 4*).

7. Publikacje przedstawiające przedmiot rozprawy

Celem badań w publikacjach 1 i 2 była weryfikacja stanu funkcjonalnego globalnych wzorców ruchowych oraz szybkości biegu i mocy kończyn dolnych (KKD) wśród młodych piłkarzy po wprowadzeniu dwunastotygodniowej interwencji treningowej. W badaniu uczestniczyło 20 młodych piłkarzy (U17) rywalizujących w najwyższej klasie rozgrywkowej w Polsce, tj. Centralna Liga Juniorów. Badania przeprowadzono w trzech etapach. W pierwszym etapie oceniono globalne wzorce ruchowe za pomocą testu FMS. W drugim etapie mierzono moc kończyn dolnych, gdzie użyto testów: CMJ, ACMJ, SJ, z wykorzystaniem systemu Optojump Next (Microgate, Bolzano, Włochy). W trzecim etapie przeprowadzono testy oceniające szybkość biegu na dystansie 30 metrów z wykorzystaniem fotokomórek Racetime 2 (Microgate, Bolzano, Włochy). Wszystkie pomiary wykonano zgodnie ze standardowymi procedurami, w tym pomiary antropometryczne.

Program treningowy obejmował ćwiczenia funkcjonalne skoncentrowane na poprawę mobilności, stabilności oraz wzorców ruchowych, które były realizowane przez 12 tygodni, z jedną jednostką treningową tygodniowo i stałym zestawem ćwiczeń korekcyjnych. Program został zaplanowany zgodnie z koncepcją FMS i oparty na treningu funkcjonalnym stosowanym w wybranych dyscyplinach sportowych oraz na doświadczeniach trenerów i fizjoterapeutów. Dodatkowo treningi prowadziła osoba z odpowiednim certyfikatem oceny funkcjonalnej.

Wyniki w testach FMS przed i po 12 tygodniach treningu funkcjonalnego wykazały istotną statystycznie poprawę: FMS 1 wzrost o 45,2% ($p = 0.004$), FMS 2 wzrost o 24,3% ($p = 0.012$), a FMS 3 wzrost o 48,5% ($p = 0.001$). Zaobserwowano poprawę mocy kończyn dolnych we wszystkich testach: CMJ wzrost mocy o 3,1% ($p = 0,076$) i wysokość skoku o 4,3% ($p = 0,069$), ACMJ wzrost mocy o 2,1% ($p = 0,082$) i wysokość skoku o 2,9% ($p = 0,089$), a Squat Jump wzrost mocy o 5,3% ($p = 0.008$) i wysokość skoku o 7,3% ($p = 0.008$). Zmiany w teście biegowym po 12 tygodniach treningu: na dystansie 0-5 m nastąpiło pogorszenie czasu o 1,7% ($p = 0,329$), na dystansie 5-10 m poprawa czasu o 2,4% ($p = 0,025$), na dystansie 10-30 m poprawa czasu o 1,5% ($p = 0,001$), na dystansie 0-30 m poprawa czasu o 0,9% ($p = 0,083$), a prędkość maksymalna wzrosła o 0,9% z 26 km/h do 26,24 km/h ($p = 0,078$).

Przeprowadzone badania wykazały, że 12-tygodniowy trening funkcjonalny znacząco poprawił stan funkcjonalny młodych piłkarzy oraz ich parametry szybkości i mocy dolnych kończyn. Szczególnie istotna była poprawa wyników w testach FMS oraz skokach pionowych, co sugeruje, że trening funkcjonalny może być efektywnym narzędziem w rozwijaniu zdolności

motorycznych i zapobieganiu urazom u młodych sportowców. Dalsze badania powinny uwzględniać porównanie z grupą kontrolną oraz długoterminowy wpływ takiego treningu na efektywność zawodników w konkretnych zadaniach ruchowych.

Celem badania w publikacji 3 było ustalenie związków między różnymi rodzajami skoków pionowych a testami przeprowadzanymi na lodzie, w tym testów powtarzanego sprintu łyżwiarskiego na lodzie (RSSA), testu szybkości na dystansie 30m w jeździe przodem i tyłem, testu maksymalnej prędkości ze startu lotnego na dystansie 15,25m oraz wieloetapowego testu oceny wytrzymałości tlenowej w jeździe na łyżwach. W badaniach wzięło udział 19 hokeistów, w tym 10 obrońców i 9 napastników, występujących w młodzieżowej lidze hokejowej (MHL) i Centralnej Lidze Juniorów (CLJ) w Polsce. Uczestnicy znajdowali się w połowie sezonu zasadniczego, uczestnicząc w 5–6 treningach tygodniowo, które obejmowały treningi techniczno-taktyczne oraz treningi motoryczne. Badanie prowadzono przez 4 dni ze względu na zachowanie odpowiednich przerw między poszczególnymi testami, tak żeby zawodnicy byli testowani w podobnych warunkach eksperymentalnych i o tej samej porze dnia (od 18:00 do 21:00) oraz z uwagi na stworzenie warunków do maksymalnych możliwości, które zawodnicy mogli wykazać podczas testowania. Całe badanie zostało przeprowadzone w dwóch głównych etapach: 1) poza lodem – testy skoków pionowych (VJ - vertical jumps), 2) testy na lodzie. Przeprowadzone testy VJ poza lodem to CMJ, SJ i DDJ. Wszystkie testy VJ poza lodem zostały przeprowadzone w Pracowni Analiz w Sporcie, Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach. Testy na lodzie wykonano na zadaszonym lodowisku testowanej drużyny.

Przed przeprowadzeniem testów zawodnicy pod nadzorem trenera wykonali standardową rozgrzewkę. Wszystkie testy skoków przeprowadzono z użyciem optycznego systemu zbierania danych OptoJump (Microgate, Bolzano, Włochy). Wszyscy badani wykonali 3 próby dla każdego testu skoku a spośród trzech prób do analizy wybrano najlepszą, tzn. taką w której zawodnik osiągnął najwyższą wysokość. Pomiedzy dwoma próbami zezwolono na 1-minutowy okres odpoczynku.

W następnej kolejności przeprowadzono test wytrzymałości tlenowej na lodzie (SMAT), dzięki któremu oszacowano maksymalny pobór tlenu na podstawie formuły: $VO_{2max} = 22,368 \times$ (maksymalna prędkość) – 58,618 (Leone i in., 2007).

Kolejnym etapem badań było przeprowadzenie testów szybkości na lodzie tj. jazda z maksymalnie możliwą prędkością na łyżwach przodem oraz tyłem. Badani startowali z linii

bramkowej i z maksymalną prędkością jadąc na łyżwach przodem pokonywali dystans 30 m w linii prostej. Wszyscy badani wykonali ten test dwukrotnie z 10-minutową przerwą. Do analizy wykorzystano najlepszy wynik mierzony jako czas pokonania dystansu. Po piętnastominutowej przerwie wypoczynkowej, z tej samej linii startu wykonano test jazdy tyłem. Protokół jazdy przodem i tyłem był identyczny. Czas pokonywanego dystansu jazdy przodem i tyłem mierzono przy użyciu zestawu fotokomórek (Microgate, Racetime 2, Bolzano, Włochy). Bramki startowe i końcowe utworzone z fotokomórek zostały umieszczone na lodzie w odległości 30 m od siebie. Dodatkowo ustanowiono bramki pomiarowe na dystansie 5m i 10m od linii startu. Czas pokonania dystansu mierzono z dokładnością do 0,01 s.

Następnym etapem projektu badawczego był test prędkości maksymalnej na łyżwach, który polegał na rozpoczęciu jazdy na wysokości linii bramkowej ze swobodnego startu, zawodnik poruszał się wzdłuż band lodowiska, jadąc po łuku za bramką, a następnie na przeciwległej prostej mierzono prędkość maksymalną na prostym odcinku o długości 15,25m. Jedna próba została przeprowadzona z jazdą po łuku w prawo, a druga w lewo. Czas odpoczynku między dwoma próbami wynosił 6 minut. Ostatnim etapem badań był test powtarzanego sprintu na lodzie polegający na sześciokrotnym, jak najszybszym pokonaniu na łyżwach dystansu 89 m wyznaczonym na lodowisku pomiędzy liniami bramkowymi (54 m) oraz po zatrzymaniu się na przeciwległej linii bramkowej natychmiastowym powrocie do linii niebieskiej (35 m). Po każdorazowym przejeździe następowała 30-sekundowa przerwa, podczas której zawodnik wracał na start. Wszystkie czasy były rejestrowane za pomocą fotokomórek (Microgate Racetime 2, Bolzano, Włochy).

Badania ujawniły istotną korelację pomiędzy wynikami zawodników osiągniętymi w skoku poprzedzonego wyskokiem (DDJ) ze średnią prędkością jazdy do przodu (FASS) ($r = 0.62$), średnią prędkością jazdy do tyłu (BASS) ($r = 0.81$) oraz maksymalną prędkością jazdy (MSS) ($r = 0.71$). Ponadto skok z półprzysiadu (SJ) istotnie korelował z BASS ($r = 0.82$) oraz MSS ($r = 0.76$). Należy podkreślić, iż test CMJ korelował jedynie z BASS ($r = 0.68$). Wszystkie trzy rodzaje VJ wykazywały odwrotną, nieistotną korelację z indeksem spadku wydajności (Performance Decrement Index) i indeksem zmęczenia (Fatigue Index), mierzone za pomocą testu RSSA. Test SMAT również nie wykazał istotnej korelacji ani z VJ, ani z RSSA.

Na podstawie przeprowadzonych badań, można stwierdzić, że różne testy skoków pionowych mogą być użyteczne w szacowaniu osiągnięć jazdy na lodzie u młodzieżowych hokeistów. Skok poprzedzony zeskokiem (DDJ) może być wyróżniającym narzędziem w ocenie prędkości jazdy na lodzie, zarówno do przodu, jak i do tyłu, a także prędkości maksymalnej ze względu na

najsilniejsze korelacje z wynikami testów prędkości na lodzie. Skok z półprzysiadu (SJ) może wpływać na ocenę średniej prędkości jazdy do tyłu oraz prędkość maksymalną, co również wskazuje na jego wartość jako testu wykonywanego poza lodem. Natomiast skok z zamachem ramion (CMJ) jest mniej użyteczny jako narzędzie służące do wspierania oceny sprawności specjalnej, gdyż korelował istotnie tylko z jedną zmienną (BASS).

Badanie podkreśla również, że testy skoków pionowych nie są dobrymi testami w ocenie zdolności do powtarzania sprintów ani wytrzymałości na lodzie. Ostatecznie, badania dostarczają informacje dla trenerów hokeja na lodzie, mogące pomóc w projektowaniu programów treningowych, które z kolei mogą wpłynąć pozytywnie na specyficzne umiejętności jazdy na lodzie poprzez odpowiednie testy poza lodem. Wyniki te wskazują na potrzebę dalszych badań nad relacjami między różnymi formami treningu poza lodem a osiąganymi na lodzie, aby lepiej zrozumieć, które elementy treningu mają największy wpływ na wydajność na lodzie.

Celem badań w publikacji 4 było określenie wpływu przerwy wypoczynkowej o czasie trwania 2 i 3 minut, pomiędzy kolejnymi seriami testu powtarzanego sprintu na łyżwach (RSSA) na efektywność jazdy na łyżwach hokeistów. W badaniach udział wzięło 24 zawodników klubu hokejowego Zagłębie Sosnowiec, rywalizującego w najwyższej lidze hokejowej w Polsce. Ostatecznie do badania wybrano niekontuzjowanych zawodników z pola cechujących się minimum 5-letnim doświadczeniem w grze w hokeja na lodzie. Zawodnicy trenowali w regularnym schemacie programu treningowego poza sezonem, który obejmował także 2-3 sesje siłowe tygodniowo trwające około 60 minut, ze średnim RPE około 7 (w skali 1-10). Badanie zostało przeprowadzone w okresie przedsezonowym 2020 roku, w ciągu 4 dni. W pierwszym dniu mierzono wysokość, masę i skład ciała zawodników. Badanie antropometryczne wykonano przy użyciu analizatora składu ciała (InBody170, Biospace, Seul, Korea).

W kolejnym dniu przeprowadzono test wytrzymałości tlenowej (SMAT), który został wykorzystany do określenia maksymalnej częstości skurczów serca (HR_{max}) i oszacowania pułapu tlenowego (VO_{2max}) z wykorzystaniem wzoru zaproponowanego przez Allisse i Leone (Allisse i in., 2020; Leone i in., 2007). Pomiar maksymalnej częstości skurczów serca i szacowanego pułapu tlenowego za pomocą wieloetapowego testu aerobowego (SMAT) na łyżwach zaprojektowany przez Allisse i Leone, został przeprowadzony na krytym lodowisku do gry w hokeja na lodzie (Allisse i in., 2020). Badany poruszał się po wyznaczonych na lodowisku odcinkach (45m). Szybkość zwiększana była stopniowo, do momentu w którym

zawodnik nie był w stanie jej utrzymać. Tempo jazdy było dyktowane sygnałami dźwiękowymi emitowanymi przez skalibrowany odtwarzacz audio. Prędkość początkowa wynosiła 3,5 m/s, po czym następował skokowy przyrost o 0,2 m/s. Dozwolony był pasywny okres regeneracji wynoszący 30 sekund przed rozpoczęciem kolejnego sprintu. Do oszacowania poziomu VO_{2max} osoby badanej wykorzystano następujący wzór:

$$VO_{2max} = 18,07 \times (\text{maksymalna prędkość w m}\cdot\text{s}^{-1}) - 35,596 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$$

W dniach 3 i 4 (oddzielonych 5 dniami) wykorzystano test powtarzanej jazdy na łyżwach z maksymalną prędkością (RSSA) z uwzględnieniem dwóch różnych czasów trwania przerwy wypoczynkowej. Mierzono bierny okres regeneracji (2 i 3 min) pomiędzy seriami RSSA. Eksperymenty w dniach 2, 3 i 4 prowadzono o tej samej porze dnia (od 10:00 do 13:00 i od 18:00 do 21:00). Na podstawie literatury do oceny powtarzanego testu sprintu na łyżwach (RSSA) wybrano test stworzony przez Hulka (Hůlka i in., 2014). Test ten składał się z 6 serii prób sprinterskich. Badani byli zaznajomieni z tym testem a każda seria prób sprinterskich składała się ze sprintu w formie 3×80 m. Każde powtórzenie sprintu składało się z 18 m jazdy do przodu prosto z linii bramkowej, zatrzymania się na linii niebieskiej (2 m od bandy), następnie jazdy do tyłu 22 m na linii bramkowej, następnie jazdy do przodu 22 m do linii niebieskiej, a następnie ostro skręcając w prawo w kierunku linii bramkowej i ostatnie 18 m jadąc do przodu do mety na linii bramkowej. Tym samym łączny dystans pokonany w każdym powtórzeniu sprintu wynosił 80 m. Automatyczny laserowy system pomiaru czasu w postaci fotokomórek (Mircrogate, Racetime 2, Bolzano, Włochy) został użyty do pomiaru sprintu każdego badanego. W ramach protokołu badawczego, po każdym wykonanym teście sprintu na łyżwach, uczestnik był zobowiązany do powrotu do punktu startowego. Ten powrót odbywał się w formie aktywnej przerwy wypoczynkowej aktywnej, podczas której uczestnik poruszał się z umiarkowaną prędkością. Całkowity czas przeznaczony na regenerację między kolejnymi sprintami wynosił 30 sekund, co obejmowało czas potrzebny na aktywną przerwę wypoczynkową oraz przygotowanie do następnego sprintu.. Po serii sprintów następował okres regeneracji, stosowano regenerację bierną, którą definiowano jako całkowity brak aktywności łyżwiarskiej i odpoczynek w wyznaczonym obszarze zmian. Czas trwania tej regeneracji pasywnej mierzono za pomocą stopera ręcznego. Wyraźnie określono, że w trakcie regeneracji biernej uczestnicy nie podejmowali żadnych form ruchu, co pozwalało na pełną fizyczną regenerację przed kolejnym sprintem. Badany w teście wykonał dwa rodzaje testów RSSA w oparciu o czas trwania biernej przerwy wypoczynkowej RSSA-2: okres regeneracji biernej

między dwoma kolejnymi seriami wynosił 2 min; RSSA-3: czas trwania okresu regeneracji między dwoma seriami wynosił 3 min. Wskaźnik spadku prędkości (%) w każdym zestawie testów RSSA został obliczony przy użyciu następującego wzoru:

$$Sdec (\%) = [(S1 + S2 + S3)/(3 \times S_{best}) - 1] \times 100 \text{ (Campa, Semprini, i in., 2019)}$$

gdzie S1 do S3 to czasy 3 powtórzeń sprintu w zestawie, a S_{best} to najlepszy czas sprintu w próbie. Do rejestracji maksymalnej częstości skurczów serca podczas testu wykorzystano system Polar Team2 (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia). Maksymalną częstość skurczów serca rejestrowano w odstępie 2 s od rozgrzewki do końca 6. serii.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, iż jedna dodatkowa minuta odpoczynku miała istotny wpływ na średnią prędkość, maksymalną częstość skurczów serca i reakcje percepcyjne graczy. Ważnym wymogiem sprawnościowym hokeisty jest umiejętność szybkiej regeneracji i odtworzenia wyników w kolejnych intensywnych wysiłkach (Allisse i in., 2018). BLa zarejestrowane w testach RSSA-2 i RSSA-3 w tym badaniu wykazują podobieństwa do meczu hokeja na lodzie. W RSSA-2 BLa wahał się od 5,58 do 14,99 mmol/l, przy średniej wartości 8,72 mmol/l. W RSSA-3, średnia BLa w RSSA-3 wynosiła $12,27 \pm 2,75$ mmol/l, w zakresie od 6,16 do 17,71 mmol/l. Wyższa prędkość jazdy w RSSA-3 prawdopodobnie odpowiada za wyższą BLa pomimo dłuższego czasu odpoczynku w porównaniu do RSSA-2. Maksymalne obciążenie serca, wskazywane przez HRpeak, zarówno w RSSA-2, jak i RSSA-3, jest podobne, jak wskazuje podobny HRpeak, chociaż zawodnicy doświadczyli większego ogólnego obciążenia serca w RSSA-2 niż w RSSA-3. Wynika to z wyższego HRmin w RSSA-2. Krótszy okres odpoczynku w RSSA-2 powoduje, że HR pozostaje podwyższone. RSSA-3 w tym badaniu wywoływała znacząco niższe RPE pomimo wyższej średniej prędkości jazdy w porównaniu z RSSA-2. Niższe HRaver i dłuższy okres odpoczynku prawdopodobnie są odpowiedzialne za zmniejszenie odczuwania zmęczenia w RSSA-3, chociaż HRpeak w obu protokołach były podobne. Wyniki badania wykazują, że wydłużony czas przerwy (3 minuty) nie tylko przyczynił się do wzrostu średniej prędkości jazdy, ale również poprawił jakość ruchów związanych z przyspieszeniem, zwrotami i zatrzymaniami, które są kluczowymi elementami sprawności fizycznej w hokeju na lodzie. Dłuższa regeneracja umożliwiła zawodnikom bardziej dynamiczne wykonywanie tych manewrów, co mogło przyczynić się do efektywniejszego poruszania się na lodzie. Zmniejszone zmęczenie pozwalało na większą precyzję i zwinność w sytuacjach, gdzie szybkie reakcje i natychmiastowe zmiany kierunku gry są niezbędne do osiągnięcia przewagi na boisku.

Z tego względu, optymalne wykorzystanie czasu na regenerację podczas meczu może mieć bezpośrednie przełożenie na poprawę sprawności fizycznej zawodników oraz ich zdolność do efektywnego wykorzystania technik przyspieszenia i nawracania, które są kluczowe w dynamicznych sytuacjach meczowych.

Celem badań w publikacji 5 była ocena wybranych zdolności motorycznych zawodników hokeja na lodzie, mierzonych zarówno w warunkach poza lodem (off-ice), jak i na lodzie (on-ice) za pomocą testu oceny funkcjonalnej (FMS), testów mocy kończyn dolnych (KKD) z użyciem skoków pionowych oraz testów szybkości na lodzie w postaci sprintów na różnych dystansach. W badaniu uczestniczyło 54 zawodników elitarnego poziomu rywalizujących w Polskiej Lidze Hokejowej (PHL) w sezonie 2019/2020. Badania przeprowadzono w dwóch etapach.

W pierwszym etapie oceniono skład ciała oraz przeprowadzono test FMS, który obejmował siedem prób: głęboki przysiad, krok przez płotek, wypad w linii, mobilność barków, aktywne podnoszenie nogi, pompki oraz stabilność rotacyjną. W drugim etapie mierzono moc kończyn dolnych za pomocą trzech skoków pionowych: skoku z zamachem (CMJ), skoku z półprzysiadu (SJ) oraz skoku poprzedzonego zeskokiem z wysokości 45 cm (DDJ). Pomiar mocy kończyn dolnych odbywał się przy wykorzystaniu systemu optycznego OptoJump Next (Microgate, Bolzano, Włochy). Następnie przeprowadzono testy sprintów na lodzie na odcinkach 0-10 m, 10-30 m oraz 0-30 m, z użyciem fotokomórek Racetime 2 (Microgate, Bolzano, Włochy). Wyniki testów FMS wykazały istotne korelacje z wynikami skoków pionowych oraz sprintów na lodzie. Wyższe wyniki w teście FMS korelowały z lepszymi wynikami w testach mocy kończyn dolnych i szybkości jazdy na lodzie. Na przykład, w przypadku skoku z zamachem (CMJ) wyższe wyniki w teście FMS korelowały ze średnią wysokością skoku wynoszącą $49,03 \pm 6,84$ cm oraz mocą skoku wynoszącą $4725 \pm 517,24$ W ($r = 0,54$; $p < 0,001$). Podobnie, w skoku z półprzysiadu (SJ) średnia wysokość skoku wynosiła $41,06 \pm 6,03$ cm, a moc skoku wynosiła $4244 \pm 465,78$ W ($r = 0,48$; $p < 0,001$). W teście DDJ średnia wysokość skoku wynosiła $43,91 \pm 6,61$ cm, a moc skoku wynosiła $4414 \pm 511,40$ W ($r = 0,50$; $p < 0,001$). Wyniki testów sprintu na lodzie również wykazały istotne korelacje z wynikami testu FMS. W sprintach na odcinku 0-10 m średnia prędkość hokeistów wynosiła $5,89 \pm 0,34$ m/s ($r = -0,43$; $p < 0,001$). Na odcinku 10-30 m średnia prędkość wynosiła $8,28 \pm 0,37$ m/s ($r = -0,37$; $p < 0,006$), a na odcinku 0-30 m średnia prędkość zawodników wynosiła $7,28 \pm 0,28$ m/s ($r = -0,60$; $p < 0,001$). W teście maksymalnego sprintu na odcinku 15 m średnia prędkość zawodników wynosiła $10,19 \pm 0,51$ m/s ($r = -0,42$; $p < 0,01$). Dodatkowo wyniki zostały przeanalizowane z

uwzględnieniem pozycji zawodników (napastników i obrońców). W przypadku obrońców lepsze wyniki w teście FMS były związane z wyższymi wynikami w skokach z zamachem (CMJ) ($r = 0,69$; $p < 0,002$), skokach z półprzysiadu (SJ) ($r = 0,60$; $p < 0,007$), skokach z zeskokiem (DDJ) ($r = 0,62$; $p < 0,005$), sprintach na odcinku 0-10 m ($r = -0,66$; $p < 0,002$), sprintach na odcinku 10-30 m ($r = -0,54$; $p < 0,018$) oraz sprincie na odcinku 0-30 m ($r = 0,70$; $p < 0,001$). W przypadku napastników lepsze wyniki w teście FMS były związane z wyższymi wynikami w skokach z zamachem (CMJ) ($r = 0,54$; $p < 0,001$), skokach z półprzysiadu (SJ) ($r = 0,48$; $p < 0,001$) oraz skokach z zeskokiem (DDJ) ($r = 0,50$; $p < 0,001$).

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, iż test FMS może być używany jako narzędzie pomocne w oszacowaniu wyników sportowych u zawodników hokeja na lodzie, zwłaszcza w sytuacjach ograniczonego czasu i dużej liczby testowanych zawodników. Uzyskane wyniki dają podstawę do sformułowania wniosku, że zawodnicy o lepszych wynikach w teście FMS osiągają lepsze wyniki w skokach pionowych i sprintach na lodzie, co może mieć praktyczne zastosowanie w planowaniu programów treningowych. Implementacja programu treningowego opartego na wynikach FMS może pomóc w poprawie wyników sportowych, zwłaszcza w zakresie mocy kończyn dolnych i uzyskiwanej prędkości poruszania się na lodzie. Dalsze badania powinny uwzględniać porównanie z grupą kontrolną oraz długoterminowy wpływ takiego treningu na efektywność sportową.

8. Dyskusja

Analiza wybranych czynników determinujących sprawność specjalną zawodników piłki nożnej i hokeja na lodzie pozwala na zrozumienie, jak różnorodne metody treningowe wpływają na parametry motoryczne sportowców w tych dwóch zespołowych grach sportowych.

Trening sportowy ewoluował, odchodząc od tradycyjnych metod na rzecz stymulowania adaptacyjnych procesów organizmu przy wykorzystaniu nowoczesnych technologii i analizy danych, z naciskiem na rozwijanie zdolności motorycznych i umiejętności specyficznych dla dyscypliny (Baechle i Earle, 2018; Bompa i Haff, 2009). Trening funkcjonalny i zarządzanie regeneracją, w tym optymalizacja przerw wypoczynkowych, stanowią istotne filary przygotowania sportowców. O ile trening funkcjonalny ma na celu poprawę zdolności motorycznych, takich jak szybkość, moc kończyn dolnych czy koordynacja, o tyle przerwy wypoczynkowe pozwalają na odpowiednią regenerację pomiędzy wysiłkami. Badania pokazują, że długość przerwy wypoczynkowej wpływa na zdolność do powtarzania

intensywnych wysiłków, takich jak sprinty, co ma kluczowe znaczenie w sportach, gdzie krótkie, intensywne akcje są przeplatane okresami regeneracji. Integracja treningu funkcjonalnego z odpowiednim zarządzaniem przerwami może prowadzić do maksymalizacji efektów treningu, co może też mieć znaczenie w ograniczaniu ryzyka przetrenowania i kontuzji (Bompa i Haff, 2009; Boyle, 2016; Cook i in., 2014b; Jovanović, 2018). Jednym z narzędzi, które zyskuje coraz większe uznanie, jest FMS, który umożliwia ocenę wzorców ruchowych i zdolności motorycznych. Badania przeprowadzone na elitarnych sportowcach (siatkarze, piłkarze, rugbiści) wykazały, że różne dyscypliny sportowe kształtują specyficzne wzorce ruchowe, co jest skorelowane z wynikami FMS (Campa, Spiga, i in., 2019). Program treningowy oparty na wynikach FMS pomógł w poprawie jakości ruchu i zmniejszeniu ryzyka urazów u młodych piłkarzy. Regularne monitorowanie i korekcie ruchowe przyczyniły się do lepszej wydolności fizycznej i zmniejszenia liczby urazów bezkontaktowych (Dinc i in., 2017).

W badaniu nad piłkarzami młodzieżowymi z Centralnej Ligi Juniorów zastosowano dwunastogodniowy program treningu funkcjonalnego, który miał na celu poprawę mobilności, stabilności oraz wzorców ruchowych. Wyniki wykazały istotną poprawę zawodników w testach FMS, co sugeruje, że taki rodzaj treningu może skutecznie rozwijać zdolności motoryczne i zapobiegać urazom u młodych sportowców. Poprawa mocy kończyn dolnych była widoczna we wszystkich testach skoków, choć tylko w przypadku skoku z przysiadu (SJ) zmiany były statystycznie istotne. Wyniki testów biegowych charakteryzowały się dużą zmiennością, z poprawą czasu na dystansach 5-10 m i 10-30 m, co wskazuje na potencjalną skuteczność treningu w poprawie szybkości startowej i środkowej fazy sprintu. Wyniki te są zgodne z wcześniejszymi badaniami, które również wykazały pozytywny wpływ treningu funkcjonalnego na poprawę wzorców ruchowych oraz zapobieganie urazom. Na przykład, Cook i wsp. wskazali, że programy treningowe oparte na testach FMS mogą prowadzić do znaczących popraw w mobilności i stabilności, co jest kluczowe dla ogólnej sprawności fizycznej sportowców (Cook i in., 2014a). Podobnie, Minick i wsp. oraz Peate i wsp. wykazali, że ukierunkowane interwencje treningowe mogą skutecznie zmniejszać liczbę urazów (Minick i in., 2010; Peate i in., 2007). Ponadto, badania Dinc i wsp. nad młodymi sportowcami podkreśliły konieczność dostosowywania programów treningowych do indywidualnych potrzeb, co jest kluczowe dla poprawy jakości ruchu i zmniejszenia ryzyka urazu (Dinc i in., 2017). W badaniach nad elitarnymi sportowcami, Campa, Spiga i wsp. wykazali, że różne dyscypliny sportowe kształtują specyficzne wzorce ruchowe, które są skorelowane z wynikami FMS, co sugeruje, że trening funkcjonalny może być skutecznym

narzędziem w rozwijaniu zdolności motorycznych w sportach zespołowych (Campa, Spiga, i in., 2019). Wnioski z powyższych badań wskazują, że trening funkcjonalny oparty na testach FMS może znacząco poprawić zdolności motoryczne młodych piłkarzy oraz zmniejszyć ryzyko urazów, co jest zgodne z literaturą przedmiotu. Zatem zastosowanie takich programów treningowych w praktyce sportowej może przynieść znaczące korzyści w kontekście poprawy wyników sportowych i zdrowia zawodników.

Pomimo pozytywnych wyników, wystąpiły pewnie ograniczenia. Badanie nie było klasycznym eksperymentem w pełnym tego słowa znaczeniu. Z uwagi na specyfikę warunków treningowych i okresu trwania sezonu, w jakim przeprowadzano badania, nie można było zastosować pełnej randomizacji ani wyizolować wszystkich zmiennych zakłócających. Niemniej jednak, podjęto wszelkie możliwe kroki, aby zminimalizować wpływ tych czynników. Zastosowano standardowe testy oceny sprawności, takie jak FMS, oraz regularny monitoring zawodników, co pozwoliło na zachowanie porównywalności wyników i zwiększenie wiarygodności analiz. Dodatkowo, badanie nie uwzględniało długoterminowych efektów programu treningowego ani wpływu na ryzyko kontuzji w dłuższej perspektywie. Aby uzyskać pełniejszy obraz wpływu treningu funkcjonalnego, konieczne byłoby przeprowadzenie badań o dłuższym czasie trwania oraz zastosowanie większej próby badawczej, co pozwoliłoby na dokładniejsze śledzenie rezultatów i ich trwałości. Mimo tych ograniczeń, wyniki dostarczają cennych wskazówek dotyczących potencjalnych korzyści płynących z wdrożenia programów opartych na FMS, szczególnie w kontekście poprawy wzorców ruchowych.

W badaniu hokeistów z młodzieżowej ligi hokejowej (MHL) oraz Centralnej Ligi Juniorów (CLJ) w Polsce analizowano korelacje między wynikami skoków pionowych a wynikami testów na lodzie. Wyniki wykazały, że test DDJ jest najwyżej skorelowany z wynikami w testach jazdy na łyżwach, co wskazuje na kluczową rolę mocy kończyn dolnych w kontekście efektywności poruszania się na lodzie. Testy SJ i CMJ również wykazały istotne korelacje z niektórymi parametrami prędkości jazdy, co podkreśla znaczenie skoków pionowych jako miary zdolności motorycznych w hokeju na lodzie. Wyniki te są zgodne z wcześniejszymi badaniami. Na przykład w badaniu przeprowadzonym przez Farlingera wykazano że moc kończyn dolnych, mierzona przez testy skoków, jest silnie skorelowana z wynikami sprintów na lodzie, co sugeruje, że testy skoków pionowych mogą być użyteczne do oceny zdolności motorycznych w hokeju na lodzie (Farlinger i in., 2007). Z kolei Behm i wsp. stwierdzili, że prędkość jazdy na łyżwach jest skorelowana z wynikami testów skoków pionowych, podkreślając znaczenie treningu mocy kończyn dolnych dla poprawy wyników sportowych w

hokeju (Behm i in., 2005). W badaniu Janota wykazano, że testy skoków pionowych mogą przewidywać wyniki prędkości jazdy na lodzie, co potwierdza znaczenie tych testów jako narzędzi do oceny zdolności motorycznych hokeistów (Janot i in., 2015). Podsumowując, istnieje silna korelacja między wynikami skoków pionowych a wydajnością na lodzie, co wskazuje na kluczową rolę mocy kończyn dolnych w kontekście rozwoju sportowego w hokeju na lodzie, co podkreślają również wyniki badań przeprowadzone przez Rocznioka, w których wykazano wysoką korelację ($r = -0.77$) między skokami wertykalnymi (CMJ) a szybkością jazdy na łyżwach na dystansie 30m (Roczniok i in., 2024). Zastosowanie różnorodnych metod treningowych, w tym FMS i treningu funkcjonalnego, umożliwia sportowcom poprawę zdolności motorycznych oraz zmniejszenie ryzyka urazów.

Kolejnym aspektem wpływającym na wyniki sportowe jest zarządzanie regeneracją. Badania przeprowadzone na hokeistach wykazały, że odpowiednie zarządzanie przerwami wypoczynkowymi pomiędzy intensywnymi seriami ćwiczeń, na przykład w testach powtarzanej jazdy na łyżwach (RSSA), może mieć istotny wpływ na efektywność zawodników. Wyniki te sugerują, że dłuższe przerwy wypoczynkowe (3 minuty w porównaniu do 2 minut) pozwalają na lepszą regenerację, co z kolei skutkuje szybszym wykonaniem zadania testowego, na które składały się: dynamiczne przyspieszenia, zatrzymania, zmiany kierunku. Test RSSA był tak skonstruowany, aby uwzględniać różne elementy sprawności specjalnej hokeisty, takie jak zwinność, dynamika ruchów i zdolności do szybkich zmian kierunku. Szybkość, mimo że stanowiła globalny miernik w badaniu, była wynikiem kompleksowej oceny sprawności specjalnej zawodników, a nie jedynym wskaźnikiem efektywności. Takie wyniki mogą mieć praktyczne zastosowanie w optymalizacji procesu treningowego i zarządzania czasem przebywania zawodników na ławce rezerwowych, co jest szczególnie istotne w sportach takich jak hokej, gdzie wysiłek jest intensywny, a przerwy krótkie (Hůlka i in., 2014). Zastosowanie przerw o różnym czasie trwania jest szczególnie istotne w kontekście testów powtarzanego sprintu na lodzie (RSSA), gdzie wyniki wskazują, że dłuższy czas przerwy pozwala na lepszą regenerację organizmu i utrzymanie wyższej prędkości podczas kolejnych powtórzeń sprintów. Ponadto, wyższe wartości mleczanu we krwi (BLa) i większe obciążenie serca (HRpeak) w testach RSSA-3 wskazują na większy wysiłek fizyczny w krótszym czasie, co może być korzystne z punktu widzenia adaptacyjnych zmian fizjologicznych (Allisse i in., 2020).

W hokeju na lodzie, gdzie wysiłek jest intensywny, a przerwy krótkie, umiejętność szybkiej regeneracji jest kluczowa dla sukcesu zawodnika. W tym kontekście, zastosowanie dłuższej przerwy wypoczynkowej może przynieść wymierne korzyści w zakresie wydolności fizycznej

i minimalizacji zmęczenia, co z kolei może przełożyć się na lepsze wyniki podczas rywalizacji lub w procesie treningowym (Behm i in., 2005; Farlinger i in., 2007).

Główne wyniki badań nad elitarnymi hokeistami z najwyższej ligi w Polsce (PHL) podkreślają znaczenie testu FMS jako potencjalnego narzędzia oceny sprawności specjalnej w hokeju na lodzie. Wyniki wykazały istotne pozytywne korelacje między FMS a wynikami testów skoków i szybkości na lodzie. FMS może być zatem użyteczny w ocenie potencjału fizycznego, zwłaszcza w warunkach ograniczonego czasu i dużej liczby testowanych zawodników. To sugeruje również, że FMS może być pomocny w opracowywaniu programów treningowych, które zwiększą efektywność i przeciwdziałanie kontuzjom (Campa, Piras, i in., 2019; Cook i in., 2014a).

Wyniki te są zgodne z wcześniejszymi badaniami, które również potwierdzają przydatność FMS w ocenie i poprawie wydajności sportowej. Na przykład, badania Rowana wykazały, że ocena funkcjonalna może być zintegrowana z kompleksowymi ocenami medycznymi i fizjologicznymi w celu maksymalizacji wydajności hokeistów i zapobiegania urazom (Rowan i in., 2015). Podobnie badania Parenteau dowiodły, że FMS jest wiarygodnym testem do oceny młodych elitarnych hokeistów, co może pomóc fizjoterapeutom w opracowywaniu programów zapobiegania urazom (Parenteau-G i in., 2014). Ponadto, badania Bennetta i wsp. nad młodymi elitarnymi piłkarzami australijskimi wykazały, że oceny jakości ruchu za pomocą FMS są ściśle skorelowane z wynikami fizycznymi, takimi jak szybkość, moc, zwinność i wydolność tlenowa (Bennett i in., 2022). FMS może być więc skutecznym narzędziem oceny zdolności motorycznych i ryzyka urazów wśród elitarnych hokeistów, co może wspierać rozwój bardziej efektywnych i bezpiecznych programów treningowych.

Nieodzownym elementem w procesie treningowym i rywalizacji sportowej jest sprawność specjalna, która różni się w zależności od dyscypliny. Zarówno w piłce nożnej, jak i w hokeju na lodzie, programowanie treningu wymaga dynamicznych i precyzyjnych rozwiązań, które muszą być dostosowane do zmieniających się warunków oraz specyfiki danego sportu. Współczesny trening sportowy ewoluje, odchodząc od tradycyjnych metod na rzecz podejścia interdyscyplinarnego, które opiera się na zaawansowanej analizie danych i nowoczesnych technologiach. Dzięki temu trenerzy mogą precyzyjniej rozwijać zdolności motoryczne i specyficzne umiejętności sportowców (Jovanović, 2018; Lewis i in., 2015; Tanner i Gore, 2013). Wyzwaniem w zarządzaniu treningiem sportowym, zarówno w piłce nożnej, jak i w hokeju na lodzie, jest interpretacja dużej ilości danych oraz różnorodność teorii naukowych, które czasami są ze sobą sprzeczne. Niezbędne jest stosowanie precyzyjnych technik

badawczych, które umożliwiają dokładną diagnozę oraz monitorowanie postępów treningowych (Osiński, 2018; Roczniok i in., 2012).

Podsumowując, w piłce nożnej, badania przeprowadzone na młodych piłkarzach z Centralnej Ligi Juniorów wykazały, że dwunastotygodniowy program treningu funkcjonalnego przyniósł znaczącą poprawę w testach FMS, co przełożyło się na lepszą mobilność, stabilność oraz zdolności motoryczne, takie jak moc kończyn dolnych i szybkość. Wyniki te są zgodne z wcześniejszymi badaniami, które potwierdziły, że trening funkcjonalny może skutecznie wspierać rozwój kluczowych umiejętności motorycznych i zapobiegać urazom (Cook i in., 2014a; Zajac, 2017). Podobne efekty obserwuje się w hokeju na lodzie, gdzie testy skoków pionowych, takie jak SJ i CMJ, wykazują silne korelacje z prędkością jazdy na lodzie, podkreślając rolę mocy kończyn dolnych w wydajności sportowej (Behm i in., 2005; Farlinger i in., 2007). Jednym z istotnych aspektów wpływających na wydajność sportowców, zarówno w piłce nożnej, jak i hokeju na lodzie, jest optymalizacja regeneracji. Badania nad powtarzaną jazdą na łyżwach (RSSA) wykazały, że przerwa wypoczynkowa trwająca 3 minuty w porównaniu do przerwy 2-minutowej pozwala na lepszą regenerację, co skutkuje wyższą prędkością jazdy, mniejszym zmęczeniem oraz niższym obciążeniem serca (Allisse i in., 2020; Campa, Semprini, i in., 2019). Wyniki te są istotne dla zarządzania obciążeniem zawodników w trakcie meczu, szczególnie w kontekście optymalizacji przerw wypoczynkowych w hokeju na lodzie, gdzie krótkie przerwy są częścią specyfiki tego sportu. Podobne mechanizmy mogą być zastosowane w piłce nożnej, gdzie dynamiczny charakter gry również wymaga precyzyjnego zarządzania regeneracją między intensywnymi okresami wysiłku. W hokeju na lodzie, wyniki badań nad elitarnymi zawodnikami Polskiej Hokej Ligi (PHL) wskazują, że FMS może być skutecznym narzędziem oceny specyficznych zdolności sportowych (Campa, Piras, i in., 2019). Podobne wyniki zaobserwowano u piłkarzy, gdzie lepsza jakość ruchu, oceniana na podstawie FMS, przekłada się na poprawę wydajności fizycznej, takich jak szybkość, moc i zwinność (Bennett i in., 2022).

Tak więc zastosowanie FMS oraz treningu funkcjonalnego, połączone z optymalizacją regeneracji, pozwala na skuteczniejsze planowanie treningów, które rozwijają zarówno zdolności motoryczne, jak i specyficzne umiejętności sportowe.

Zintegrowane podejście do treningu, które obejmuje zarówno trening funkcjonalny, optymalizację regeneracji, jak i specyficzne metody treningowe dostosowane do danej dyscypliny, jest kluczowe dla poprawy wydajności sportowej w piłce nożnej i hokeju na lodzie. Wyniki badań potwierdzają, że zarządzanie przerwami wypoczynkowymi oraz monitorowanie

zmęczenia zawodników może znacząco wpłynąć na możliwości sprawności specjalnej. Nowoczesne technologie pomiarowe oraz interdyscyplinarne podejście do analizy danych umożliwiają lepsze dostosowywanie treningów do indywidualnych potrzeb zawodników, co w konsekwencji prowadzi do podnoszenia ich sprawności i efektywności na arenie sportowej (Jovanović, 2018; Lewis i in., 2015).

9. Wnioski

Zrealizowane badania dotyczące sprawności specjalnej zawodników piłki nożnej i hokeja na lodzie dostarczają istotnych informacji na temat wpływu treningu funkcjonalnego i wykorzystania testów diagnostycznych na parametry motoryczne sportowców. Wnioski te mogą posłużyć do praktycznego zastosowania nowoczesnych metod treningowych w celu poprawy wyników sportowych zawodników na różnych poziomach zaawansowania. Na podstawie przeprowadzonych badań oraz ich wyników można sformułować następujące wnioski:

1. **Trening funkcjonalny dostosowany do wyników testu FMS pozytywnie wpływa na status funkcjonalny, szybkość i moc kończyn dolnych u młodych piłkarzy nożnych.** Szczegółowa analiza efektów 12-tygodniowego programu treningowego funkcjonalnego ujawnia jego pozytywny wpływ na zwiększenie szybkości zawodników na dystansie 30 metrów. Interesujące jest jednak, że trening ten nie przyniósł znaczących popraw w pierwszych pięciu metrach sprintu, co sugeruje potrzebę dalszych badań w celu zrozumienia tego zjawiska. Wykorzystanie testu FMS do identyfikacji deficytów funkcjonalnych i asymetrii okazało się skuteczną metodą w prognozowaniu wyników w skokach pionowych oraz sprintach, co podkreśla jego wartość w planowaniu treningu. Dostosowanie treningu do indywidualnych cech i wymagań może znacząco przyczynić się do poprawy efektywności treningu.
2. **Badanie przeprowadzone na hokeistach wykazało istotne związki między wynikami w testach skoków pionowych a wynikami na lodzie, co demonstruje, że moc KKD może bezpośrednio wpłynąć na sprawność specjalną badanych zawodników.** Skoki takie jak CMJ i SJ mogą być użyteczne do prognozowania możliwości fizycznych w sprintach na lodzie, co jest istotne dla planowania treningu i taktyki meczowej.
3. **Wyniki testów oceniających moc kończyn dolnych istotnie korelują z wynikami testów sprawności specjalnej młodzieżowych hokeistów na lodzie.** Przeprowadzone badania ujawniają, że różne rodzaje skoków pionowych, takie jak DDJ, SJ i CMJ, z różną siłą korelują z prędkością i efektywnością jazdy na lodzie. Testy DDJ wykazały najsilniejsze korelacje z wynikami w testach prędkości jazdy do przodu i do tyłu oraz maksymalnej prędkości, podczas gdy SJ i CMJ również wykazały istotne korelacje, ale w mniejszym

stopniu. Testy skoków pionowych okazały się mniej przydatne w ocenie zdolności do powtarzania sprintów oraz wytrzymałości. Wyniki te podkreślają znaczenie mocy kończyn dolnych w kontekście efektywności sportowej młodych hokeistów na lodzie i wskazują na potrzebę dalszych badań nad relacjami między różnymi formami treningu poza lodem a osiąganymi na lodzie.

4. **W zespołowych grach sportowych zastosowanie przerw wypoczynkowych odgrywa kluczową rolę w zwiększaniu wydajności zawodników.** Kluczowym elementem wpływającym na wyniki sportowe jest jednak także zarządzanie regeneracją. Przeprowadzone badania nad hokeistami pokazały, że właściwe zarządzanie przerwami między intensywnymi seriami ćwiczeń, na przykład w testach powtarzanego sprintu na lodzie (RSSA), może istotnie wpływać na ich efektywność. Wyniki tych badań wskazują, że dłuższe przerwy wypoczynkowe (3 minuty w porównaniu do 2 minut) prowadzą do lepszej regeneracji, co przekłada się na szybsze wykonanie zadania testowego, na które składały się: dynamiczne przyspieszenia, zatrzymania i manewry zmiany kierunku, zmniejszone zmęczenie oraz niższe obciążenie serca. Test RSSA był zaprojektowany tak, aby obejmował różnorodne elementy sprawności specjalnej hokeisty, takie jak zwinność, dynamika ruchów oraz zdolność do szybkiej zmiany kierunku. Szybkość, chociaż stanowiła globalny miernik w badaniu, była wynikiem szerszej oceny zdolności fizycznych zawodników, a nie jedynym wskaźnikiem efektywności. Uwzględnienie tych wszystkich elementów sprawności pozwala na dokładniejszą ocenę wydolności sportowców, a praktyczne zastosowanie tych wyników może wpłynąć na optymalizację procesu treningowego oraz lepsze zarządzanie czasem zawodników na ławce rezerwowych. Jest to szczególnie istotne w sportach takich jak hokej, gdzie wysiłek jest bardzo intensywny, a czas na regenerację ograniczony.

Podsumowując, przeprowadzone badania potwierdzają skuteczność treningu funkcjonalnego i zastosowania testów diagnostycznych, takich jak FMS oraz testy skoków pionowych, w rozwijaniu sprawności specjalnej sportowców. Zintegrowane podejście, które obejmuje zarówno trening funkcjonalny, jak i optymalizację regeneracji, może znacząco poprawić parametry motoryczne, takie jak moc kończyn dolnych, szybkość oraz efektywność gry w piłce nożnej i hokeju na lodzie. Zarządzanie przerwami wypoczynkowymi oraz monitorowanie zmęczenia zawodników wpływa na ich wydajność i zmniejsza ryzyko urazów, co jest

szczególnie istotne w dynamicznych sportach zespołowych. Przyszłe badania powinny skupić się na dalszej eksploracji specyficznych metod treningowych oraz ich długoterminowego wpływu na rozwój młodych sportowców, co umożliwi jeszcze skuteczniejsze przygotowanie zawodników na najwyższym poziomie rywalizacji sportowej.

10. Kopie publikacji naukowych wchodzących w skład monotematycznego cyklu publikacji

Publikacja nr 1: „The effects of twelve-week functional training on the power of the lower limbs of young footballers

Baron, J. et. al.: The effects of twelve-week functional...

Acta Kinesiologicala 14 (2020) Issue. 1: 70-76

THE EFFECTS OF TWELVE-WEEK FUNCTIONAL TRAINING ON THE POWER OF THE LOWER LIMBS OF YOUNG FOOTBALLERS

Jakub Baron¹, Anna Bieniec², Andrzej Swinarew^{1,3}, Dariusz Skalski⁴, Arkadiusz Stanula¹

¹Department of Exercise and Sport Performance, Institute of Sport Science; The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Katowice, Poland

²Department of Tourism and Pro-Health Physical Activity; The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Katowice, Poland

³Department of Biomaterials, Institute of Materials Science, Faculty of Computer Science and Materials Science, University of Silesia in Katowice, Poland

⁴Gdansk University of Physical Education and Sport, Gdansk, Poland

Original scientific paper

Abstract

The aim of the study was to verify the functional state of young football players by the use of selected tests of the Functional Movement Screen (FMS) protocol, as well as the impact of the 12 weeks functional training on the power of the lower limbs. Twenty young male football players under 17 (U17) participated in the study. The research was carried out in two stages: in the first part of the study, the functional assessment was measured using the FMS test, then the measurement of the power of the lower limbs was done with the Optojump system. The conducted research showed a significant improvement in the functional state of young footballers. After the functional training program, there was also an improvement in the parameters of the power of the lower limbs. Attention should be paid to the importance of enabling the functional training in all physical preparation of football players and the correlation between functional and special efficiency.

Key words: functional training, functional movement system, movement patterns, lower limbs power, football

Introduction

Football is a sport which involves short sprints, rapid accelerations, decelerations, quick changes in directions, jumping and tackling (Kaplan, Nurtekin, & Taskin, 2009; Stølen, Chamari, Castagna, & Wisløff, 2005). Chmura et al. (2017) emphasizes that there were enormous changes in the game of football in the last few decades. The tempo of the game has increased, the style of the game, techniques and tactics changed as well as the regulations. Players ability to create action at a very fast pace has a significant impact on the course and outcome of the match. It is emphasized, however, that the maximum effort is only 11% of the total playing time. Thus, proper use of motor skills is crucial in the context of gaining or losing a goal (Reilly, Bangsbo, & Franks, 2000). Science can provide help for football (Stølen et al., 2005). The best teams are still improving their results and sports level, whilst worse ranked teams have the same results as years ago (Stølen et al., 2005).

Many authors point out that football is a multi-faceted sport and requires a player to be not only fast enough, but also capable of generating the appropriate power to play at the highest level (Cometti, Maffiuletti, Pousson, Chatard, & Maffulli, 2001; Wisløff, Castagna, Helgerud, Jones, & Hoff, 2004). The power of the lower limbs is necessary to initiate a fast run, or the possibility of a quick

change of direction and for high body challenge. It should be emphasized that the vertical jump is correlated with the short sprint (Wisløff et al., 2004). That is why strength & conditioning coaches in football should focus on lower limbs power training.

Football is also a discipline with a high risk of injury. The latest research among young footballers playing at various game levels showed that approximately 40% of athletes had non-mechanical injury (Lisman, Nadelen, Hildebrand, Leppert, & de la Motte, 2018). The Functional Movement Screen (FMS) protocol was invented to evaluate the risk of injuries among athletes through the analysis and scoring of movement patterns. Kiesel, Plisky, & Butler (2011) research confirms that this test is an appropriate injury prevention tool to use in football. FMS is getting more popular and attention of this tool has attracted scientists. The research number associated with FMS protocol involving recreational, college and Olympic athletes is still increasing (Bernardes Marques, Menezes Medeiros, de Souza Stigger, Yuzo Nakamura, & Manfredini Baroni, 2017). Functional training should be fundamental for developing special and tactic skills. The essence of functional training is an individual approach and the form should be as close as possible to those that the player encounters during training or in match conditions. The key role in functional training is to achieve and maintain optimal balance between

mobility and stability while performing fundamental movement patterns with accuracy and efficiency (Bernardes Marques et al., 2017; Sprague, Mokha, & Gatens, 2014).

The aim of this study is to verify the functional state of young football players using selected components of the FMS protocol, as well as to assess the 12-week functional training impact on the power of the lower limbs of the young footballers.

Methods

Participants. Research participants were athletes ($n = 20$) – younger juniors (U17), practicing football at the Silesian Football Academy at the level of the Central Youth Junior League (Table 1). The research was carried out in the time of preparations for the autumn season and just after the autumn round of matches, directly before the preparations for the spring round. Before participating in the research, each competitor was informed about their purpose and confidentiality of results, as well as the possibility of giving up research without any consequences. The inclusion criterion was: consent for participation in the research, good health and

active participation in functional training. The exclusion criteria were: lack of consent of the trainer, injury or illness and rehabilitation not allowing the participant to participate in regular training. All participants and their parents were informed of the purpose, nature, testing procedures, possible risks, and their right to terminate participation at will, before they gave their voluntary written consent to participate. Written informed consent was signed by the parents of minors before participation. The study was approved by the Ethics Committee of The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice (Poland).

The research was carried out in two stages: in the first part of the study, the functional assessment was measured using the FMS test, then the measurement of the power of the lower limbs was done with the Optojump testing device. All tests were performed from 8.00 to 12.00, keeping the order of approaching competitors to the test trials. All tests were carried out in the sports hall. Each time before testing (except for the FMS test) warm-up including stretching, strength and speed exercises has been carried out.

Table 1. Characteristics of basic somatic parameters of the tested group of players ($n = 20$)

Parameters	m $\pm$ SD	Me	Range (min-max)	V	As	Ku
Age	16,8 $\pm$ 0,6	17	15-17	3,4	-3,14	8,61
Height (cm)	175,7 $\pm$ 6,4	176	167-187	3,7	0,21	-0,87
Body weight (kg)	66,5 $\pm$ 7,4	64	54,8-81	11,1	0,48	-0,85
BMI ($\text{kg} \times \text{m}^{-2}$)	21,5 $\pm$ 1,8	21,62	18,8-24,6	8,5	0,20	-1,16
FAT (%)	12,59 $\pm$ 2,2	12	9,46-15,5	12,9	0,31	-0,09

LEGEND:

m $\pm$ SD - mean and standard deviation; Me - median; Range - the smallest and largest value; V - coefficient of variation; As - skewness coefficient (asymmetry); Ku - coefficient of focus (kurtosis)

Functional screen

Three functional FMS concept tests assessing global movement patterns were used for functional assessment. FMS test is a comprehensive screening tool that assesses the quality of basic movement patterns and identifies movement limitations and asymmetries (Cook, Burton, & Hoogenboom, 2014). The FMS test is popular in the coaching environment, mainly due to its simplicity and easy equipment to use. Fundamental movement patterns were tested which are the basis for more efficient sports movements (Kiesel, Plisky, & Voight, 2007). In the conducted studies, global movement patterns were assessed, those which require appropriate mobility, stability and range of motion in the joints as well as balance. Three tests were used to assess global movement patterns: 1) deep squat, 2) hurdle step and 3) in line lunge. Each test is evaluated on a four-point scale from 0 to 3 points, where 0 means pain during the test, 1 – inability to perform

the test, 2 – perform motion with compensation, 3 – correct movement. Individual tests are carried out three times and evaluated for the best test. In case of doubt, the grade was downgraded.

The Researcher evaluated the movement in the frontal and sagittal plane. The FMS evaluation is done without warm-up and athletes wear sporty outfits and footwear. Specialized equipment "FMS Test KitM" was used to perform the test. The kit includes a base - a board with dimensions of 5 $\times$ 15 $\times$ 150 cm, tubes with a centimeter scale and rubber cord (Cook et al., 2014). In these studies, the assessment of global movement patterns was carried out by a physiotherapist with FMS certification and by a strength & conditioning coach.

Lower limbs power tests

The lower limbs power was assessed by a vertical jump in three different forms: vertical jump from a static position (squat jump), vertical jump preceded

by a lower limb attack with the hands on the hips (akimbo countermovement jump, ACMJ) and the vertical jump preceded by the countermovement jump (CMJ).

Test performance

Performing a vertical jump SJ consisted of a jump up from a fixed position, in which the thighs were at a 90-degree angle to the lower legs and the palms were resting on the hips, which excluded the possibility of making upper limb movements. Performing the ACMJ vertical jump was preceded by a rapid deflection of the lower limbs with the hands resting on the hips, while the CMJ jump differed from the previous one in that the player could also move his upper limb up during bending of the lower limbs. The jumps were repeated if knee or hips were bent during the dynamic phase.

Before the power tests, players performed a warm-up conducted by the coach. The warm-up prepared the player by stimulating and warming up the muscular and nervous systems before the test. A properly conducted warm-up determines the achievement of a maximum vertical jump (Viitasalo, Salo, & Lahtinen, 1998).

The lower limbs power jump test took place in the gym with the Optojump Optical Data Acquisition System from Microgate (Bolzano, Italy), which allows measuring all air and ground-related times with precision up to 1/1000 of a second. The Optojump system consists of two bars, one of which is a transmitter and the other a receiver. The LEDs in the transmitter are in constant contact with the LEDs in the receiving bar. The system detects movement of the object between the strips,

precisely calculating the contact time with the ground during the jump, and then sends the recorded data to the computer, which calculates such parameters as: flight altitude and flight time. In order to calculate power generated during the vertical jump, the Seyers formula was used [Power (W) = $60.7 \times \text{Height of stroke (cm)} + 45.3 \times \text{Body weight (kg)} - 2055$] (Sayers, Harackiewicz, Harman, Frykman, & Rosenstein, 1999).

Statistical analysis

Descriptive statistics (mean and standard deviation) were calculated. Before using parametric tests, the assumption of normality and homoscedasticity were verified using the Shapiro-Wilks W-Test. In order to compare the data from the power tests of the lower limbs obtained before and after the implementation of the training program, a paired sample t-test was used. In contrast, a non-parametric Wilcoxon pair order test was used to compare functional evaluation results. For all analyzes, a level of $p \leq 0.05$ was selected to indicate statistical significance. All calculations were done with the STATISTICA – statistical package ver. 13.3 PL of TIBCO Software Incorporation (Tibco, 2017).

Functional training program

The implemented program was planned in accordance with the FMS concept and based on functional training implemented of selected sports disciplines (Kiesel et al., 2011; Peate, Bates, Lunda, Francis, & Bellamy, 2007) as well as on the experience of coaches and physiotherapists (Table 2).

Table 2. A detailed description of the training program implemented in the research group

Part of the training unit	exercises / goal / execution (Volume)
Warm-up (10 min)	1. Running (4') 2. Run with the delivery and delivery step (2x20m) 3. Cross step (interlace) (2x20m) 4. Forward shoulder circulation (30") 5. Back arm circulation (30") 6. Dynamic stretching (5') 7. Hip rotation (2x10 rep) 8. A twist with a trunk torsion (2x5 rep) 9. Buttocks Activation with a mini band (2x10 rep) 10. Skip A (10m) 11. Skip C (10m) 12. Running rhythm (15m)

Main Part (45-60 min)	1. Back Stretching exercises (2-3 ex.) 2. Mobilization of shoulder complex (2 ex.) 3. Mobility of the thoracic spine.: Extension of the thoracic spine (1-2 ex.) 4. Four - point kneeling position. Thoracic spine rotation (2 ex.) 5. Hip mobilization in the direction of flexion, extension, external and internal rotation (5 ex.) 6. Ankle Mobilization towards the dorsiflexion (2 ex) 7. Central stabilization, stabilization of the ilio-lumbar-pelvic complex (3 ex.) 8. Exercises with bands, global patterns (2 ex.) 9. Balance and coordination exercises (2 ex.)
Cool Down (15 min)	1. Foam rolling (15')

Results and discussion

Functional status of global patterns in the FMS test

The assessment of the functional status of young players conducted before the training program indicates (Table 3) that in the FMS 1 test the average score on a scale from 1 to 3 was 1.6 ± 0.51 . The calculated skewness coefficient of -0.21 indicates that the majority of respondents achieved a score higher than the average. In the case of the FMS2 test, the average value for the whole group was 1.9 ± 0.49 and, similarly to the FMS1 test, the majority of people achieved a score higher than the average for the whole group ($AS = -0.442$). The average result for the whole group for the FMS3 test was 1.7 ± 0.59 . It should be emphasized that in test 3, results of the examined persons were the most diversified, which was confirmed by the calculated coefficient of variation ($V = 35.6\%$). Moreover, contrary to the FMS1 and FMS2 test, the majority of respondents obtained a score lower than the average calculated for the whole group.

Table 3. Characteristics of the results of the functional status of movement patterns carried out prior to the start of the training

Variables	m ± s	min-max	± 95% PU	V	As	Ku
FMS 1	$1,6 \pm 0,51$	1-2	1,3-1,8	32,9	-0,218	-2,183
FMS 2	$1,9 \pm 0,49$	1-3	1,6-2,1	26,5	-0,442	1,304
FMS 3	$1,7 \pm 0,59$	1-3	1,4-1,9	35,6	0,212	-0,552

Influence of the 12-week functional training program on the functional state of global patterns in the FMS

The 12-week functional program was aimed to improve selected motor skills among young footballers. It is interesting to what extent the change occurred in global patterns in the FMS test. Based on the results presented in Table 4, it can be concluded that in the FMS1 test there was a statistically significant ($p = 0.004$) improvement in results by 45.2% (1.55 vs. 2.25). To a slightly lesser extent, but also statistically significant ($p = 0.012$) there was an improvement of 24.3% in the FMS2 test (1.85 vs. 2.3). The highest progression was recorded in the FMS3 test, where the difference between the measurement at the end of the training program and before its introduction was 48.5% (1.65 vs. 2.45, $p = 0.001$).

Table 4. Results of the assessment of the functional status of the tested group of players (n = 20). The significance of differences was assessed using the Wilcoxon test.

Variables	Pretest	Posttest	difference (%)	p-Value
FMS 1	$1,55 \pm 0,51$	$2,25 \pm 0,55$	-0,7 (-45,2%)	0,004
FMS 2	$1,85 \pm 0,49$	$2,3 \pm 0,57$	-0,45 (-24,3%)	0,012
FMS 3	$1,65 \pm 0,59$	$2,45 \pm 0,69$	-0,8 (-48,5%)	0,001

Impact of the 12-week functional training program on the power of the lower limbs

The functional training applied program was aimed to improve movement limitations, eliminate asymmetries and compensations that occurred during the first test. This, in turn, was to be put into more efficient and, above all,

safer use of the movement tasks. Thanks to this, after the conducted training program, the athletes were more functional, and thus they could perform better with improved motor skills and characteristics patterns to a given discipline. Based on the data presented in Table 5, it is noticeable that a results improvement was achieved in all tests performed after the end of the training program compared to the initial tests. The power of the lower limbs is presented in power units (Watt) and as the height of the vertical stroke in centimeters.

The CMJ test showed a difference in generated power of 3.1% (3331.9 vs. 3436 W; $p = 0.076$) and in the amount of a jump, where the difference was 4.3% (39.9 vs. 41.6 cm; $p = 0.069$). Slightly smaller differences occurred in the CMJ test without swing, where the power improvement was demonstrated at 2.1% (2,980.8 vs. 3042.7 W; $p = 0.082$) and a jump differential of 2.9% (34.1 vs. 34.1). 35.1 cm, $p = 0.089$).

The highest progression was noted in the SQUATJUMP test, in which a difference of 5.3% (3082.7 vs. 3253.6 W) was observed before and after the introduction of the training program. This result is statistically significant ($p = 0.008$). The difference in the amount of jump measured was 7.3% (35.8 vs. 38.6 cm) and the result is also statistically significant ($p = 0.008$).

Table 5. Lower limbs power tests results in the group of football players (n = 20)

Variables	Pretest	Post test	Difference (%)	Test t (p-Value)
CMJ(cm)	39,9 ± 5,2	41,6 ± 4,8	-1,7 (-4,3%)	-1,931 (0,069)
CMJ(W)	3331,9 ± 511,6	3436 ± 467,2	-104,1 (-3,1%)	-1,879 (0,076)
CMJ without swing(cm)	34,1 ± 4,6	35,1 ± 5	-1 (-2,9%)	-1,792 (0,089)
CMJ without swing(W)	2980,8 ± 414,3	3042,7 ± 471,2	-61,9 (-2,1%)	-1,834 (0,082)
SQUATJUMP(cm)	35,8 ± 5,5	38,6 ± 4,8	-2,8 (-7,3%)	-2,977 (0,008)
SQUATJUMP(W)	3082,7 ± 463,7	3253,6 ± 429,4	-170,9 (5,3%)	-2,977 (0,008)

The FMS test is a tool created to assess the risk of injury by analyzing the fundamental movement patterns in seven individual tests that check, among others, coordination, mobility and stability. However, it should be emphasized that the deficiencies in the basic motor skills (coordination, mobility, stability) develop into deficiencies in targeted motor skills (strength, power, speed, endurance) and then further into the limitation of the special performance to a given discipline. On the foundations of basic movement patterns known from neurophysiological development, athletes are able to achieve progress in the next stages of motor development. Neglect of the first stages of functional development of youth athletes may result in the lack of adequate anxiety of the body segments, leading to compensation, excessive overloads, improper transmission of force, for example in the case of sudden change of direction, acceleration, braking. Such excessive physical activity of athletes speeds up the risk of injury and reduces its motor potential. As Cook (2003) emphasizes, a player with functional movements may show better skills and techniques of movement.

Research by Zhixiong, Chen, Wang, & Yabin (2016) showed that the overall outcome of FMS test in young football players is correlated with SJ and CMJ tests.

The results in many sports, including football, are strongly dependent on power, especially at the level of match-fighting (Baker & Nance, 1999; Stanula & Roczniok, 2014; Wisløff et al., 2004). The power of the lower limbs directly affects the special efficiency components: acceleration, maximum speed, and the ability to perform sudden turns (Stanula et al., 2013; Wisløff et al., 2004). It should be emphasized

that the power measured by the vertical jump is correlated with the short sprint effort (Wisløff et al., 2004). Similar observations were made by Chamari et al. (2008) showing that the vertical jump is related to the match success of semi-professional teams of players. Therefore development of power is very important in football, where accelerations and quick turns are evident throughout the whole match.

The aim of the conducted research was to verify whether functional training would improve the functional status tested by FMS and will be submitted to the result of measuring the lower limbs power tested in three vertical jump tests. Study of López-Segovia, Marques, Van Den Tillaar, & González-Badillo (2011) showed the positive effect of a workout consisting of full squats and vertical jumps on the generated power of the lower limbs and a positive correlation with a short sprint for players under 21. According to Boyle (2017), squatting in an incomplete range of motion prevents full muscle involvement in the exercises so it is also difficult to develop strength, power and speed through this exercise. Limiting of ankle mobility towards the dorsiflexion may reduce the rebound power abilities during plyometric exercises (Driller & Overmayer, 2017).

First FMS test - squat; evaluates 7 functional components (Kritz, Cronin, & Hume, 2009). First assessment of the test showed lots of deficiencies in the proper performance of testing movement patterns. The most deficiencies were noted in ankle, hip mobility and shoulder girdle. The functional training program was aimed to improve dysfunctions and was supposed to improve the quality of movement patterns. Based on the results presented in Table 3, it can be stated that the

results have improved in all tests. The highest progression was recorded in the FMS 3 test, where the difference between the measurement after the training program and before was 48.5%. The improvement of the functional state resulted in the progression of the power of lower limbs, because the achieved results were improved in all tests carried out after the training program in comparison with the initial tests. The biggest progress appeared in the SJ test. Performing these tests is based on the squat pattern. Correct performance without compensation allows to increase the load in strength training, which translates into generating more power (Adams, O'Shea, O'Shea, & Climestein, 1992). In other controlled studies, a functional squat technique was found to improve vertical jump performance (Berning et al., 2010; Ferreira, Weiss, Hammond, & Schilling, 2010; Loturco et al., 2017). In subsequent studies, significant changes were also noted in the tests of uplift, kicks and vertical jump tests as a result of a 6-week training plan based on functional movements (Goss, Christopher, Faulk, & Moore, 2009). In baseball, after the FMS correction training program, stabilization improved and the results of functional fitness, strength and flexibility were also better (Song et al., 2014). There is a lack of research of functional training impact on the power generated by football players. Some researches indicate positive influence (Kiesel et al., 2011; Song et al., 2014), as well as some of

them showed no influence after such interventions on individual motor skills (Lockie et al., 2015). Undoubtedly functional training aimed to shaping fundamental motor skills or eliminating functional limitations (pre-hab) can be a good tool to supplement training at various stages of the macrocycle. The presented results should lead to considerations to apply a longer training program and conducting studies showing the correlation of the speed test with the lower limbs power test.

Conclusion

The aim of this study was to check the functional state of global movement patterns and the level of lower limbs power of young footballers after the introduction of 12-week training intervention. Training program was aimed at improving the condition of selected movement patterns. It should be emphasized that the functional condition of the examined players has significantly improved. The power of the lower limbs after training intervention also improved. Attention should be paid to the essence of implementation of training intervention and monitoring of players in terms of correlation of functional state with the level of power of lower limbs and other motor skills. The purpose of subsequent studies should be to introduce an intervention program and compare it with the control group.

References

- Adams, K., O'Shea, J. P., O'Shea, K. L., & Climestein, M. (1992). The effect of six weeks of squat, plyometric and squat-plyometric training on power production. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Baker, D., & Nance, S. (1999). The Relation between Running Speed and Measures of Strength and Power in Professional Rugby League Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(3), 230-235.
- Bernardes Marques, V., Menezes Medeiros, T., de Souza Stigger, F., Yuzo Nakamura, F., & Manfredini Baroni, B. (2017). The Functional Movement Screen (FMS) in Elite Young Soccer Players Between 14 AND 20 Years: Composite Score, Individual-Test Scores and Asymmetries. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 12(6), 977-985.
- Berning, J. M., Adams, K. J., Debeliso, M., Sevens-Adams, P. G., Harris, C., & Stamford, B. A. (2010). Effect of functional isometric squats on vertical jump in trained and untrained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Boyle, M. (2017). Mobility and Flexibility. *Advances in Functional Training* (pp. 44-50). Santa Cruz: On Target Publications.
- Chamari, K., Chaouachi, A., Hambli, M., Kaouech, F., Wisloff, U., & Castagna, C. (2008). The five-jump test for distance as a field test to assess lower limb explosive power in soccer players. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 22(3), 944-950.
- Chmura, P., Andrzejewski, M., Konefal, M., Mroczek, D., Rokita, A., & Chmura, J. (2017). Analysis of Motor Activities of Professional Soccer Players during the 2014 World Cup in Brazil. *Journal of Human Kinetics*.
- Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J. C., & Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 22(1), 45-51.
- Cook, G. (2003). Athletic Body in balance. *Human Kinetics*.
- Cook, G., Burton, L., & Hoogenboom, B. J. (2014). Functional Movement Screening: The Use Of Fundamental Movements as an Assessment of Function - Part 1. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(3), 396-409.
- Driller, M. W., & Overmayer, R. G. (2017). The effects of tissue flossing on ankle range of motion and jump performance. *Physical Therapy in Sport*.
- Ferreira, L. C., Weiss, L. W., Hammond, K. G., & Schilling, B. K. (2010). Structural and functional predictors of drop vertical jump. *Journal of Strength and Conditioning Research*.
- Goss, D. L., Christopher, G. E., Faulk, R. T., & Moore, J. (2009). Functional training program bridges rehabilitation and return to duty. *Journal of Special Operations Medicine*.
- Kaplan, T., Nurtekin, E., & Taskin, H. (2009). The Evaluation Of The Running Speed And Agility Performance In Professional And Amateur Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1278-1281.
- Kiesel, K., Plisky, P. J., & Butler, R. J. (2011). Functional movement test scores improve following a standardized off-season intervention program in professional football players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21(2), 287-292.
- Kiesel, K., Plisky, P. J., & Voight, M. L. (2007). Can serious injury in professional football be predicted by a preseason Functional Movement Screen? *North American Journal of Sports Physical Therapy*, 2(3), 147-58.
- Kritz, M., Cronin, J., & Hume, P. (2009). The bodyweight squat: A movement screen for the squat pattern. *Strength and Conditioning Journal*, 31(1), 76-85.
- Lisman, P., Nadeln, M., Hildebrand, E., Leppert, K., & de la Motte, S. (2018). Functional movement screen and Y-Balance test scores across levels of American football players. *Biology of Sport*, 35(3), 253-260.

- Lockie, R. G., Schultz, A. B., Callaghan, S. J., Jordan, C. A., Luczo, T. M., & Jeffriess, M. D. (2015). A preliminary investigation into the relationship between functional movement screen scores and athletic physical performance in female team sport athletes. *Biology of Sport*.
- López-Segovia, M., Marques, M. C., Van Den Tillaar, R., & González-Badillo, J. J. (2011). Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in U21 soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 30(1), 135–144.
- Loturco, I., Pereira, L. A., Moraes, J. E., Kitamura, K., Abad, C. C. C., Kobal, R., & Nakamura, F. Y. (2017). Jump-squat and half-squat exercises: Selective influences on speed-power performance of elite rugby sevens players. *PLoS ONE*.
- Peate, W. F., Bates, G., Lunda, K., Francis, S., & Bellamy, K. (2007). Core strength: A new model for injury prediction and prevention. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 2(1), 1–9.
- Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, a. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of sports sciences*, 18(9), 669–683.
- Sayers, S. P., Harackiewicz, D. V., Harman, E. A., Frykman, P. N., & Rosenstein, M. T. (1999). Cross-validation of three jump power equations. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(4), 572–577.
- Song, H.-S., Woo, S.-S., So, W.-Y., Kim, K.-J., Lee, J., & Kim, J.-Y. (2014). Effects of 16-week functional movement screen training program on strength and flexibility of elite high school baseball players. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 10(2), 124–130.
- Sprague, P. A., Mokha, G. M., & Gatens, D. R. (2014). Changes in functional movement screen scores over a season in collegiate soccer and volleyball athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(11), 3155–3163.
- Stanula, A., Gabrys, T., Szmatalan-Gabrys, U., Roczniok, R., Maszczyk, A., & Pietraszewski, P. (2013). Calculating lactate anaerobic thresholds in sports involving different endurance preparation. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 11(1), 12–18.
- Stanula, A., & Roczniok, R. (2014). Game Intensity Analysis of Elite Adolescent Ice Hockey Players. *Journal of Human Kinetics*, 44(1), 211–221.
- Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine*, 35(6), 501–536.
- Tibco, S. inc. (2017). TIBCO Software Inc. (2017). Statistica (data analysis software system), version 13.
- Viitasalo, J. T., Salo, A., & Lahtinen, J. (1998). Neuromuscular functioning of athletes and non-athletes in the drop jump. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78(5), 432–440.
- Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*.
- Zhixiong, Z., Chen, W., Wang, Y., & Yabin, S. (2016). Analysis on Relationship between Physical Functional Movement Ability and Lower Limb Explosive Strenght of Elite Youth Fencers in China. *Journal of Capital University of Physical Education and Sports*, 28(4), 348–351.

Corresponding information:

Received: 31.10.2019.

Accepted: 15.05.2020.

Correspondence to: prof. Arkadiusz Stanula

University: The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Katowice, Poland

Faculty: Department of Exercise and Sport Performance, Institute of Sport Science

Phone: +48 504 124470

E-mail: a.stanula@awf.katowice.pl



Article

Effect of 12-Week Functional Training Intervention on the Speed of Young Footballers

Jakub Baron ¹, Anna Bieniec ², Andrzej S. Swinarew ^{1,3} , Tomasz Gabryś ⁴ and Arkadiusz Stanula ^{1,*}

¹ Institute of Sport Science, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, 40 065 Katowice, Poland; jakubbaron95@gmail.com (J.B.); andrzej.swinarew@us.edu.pl (A.S.S.)

² Department of Tourism and Pro-Health Physical Activity, The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, 40 065 Katowice, Poland; a.bieniec@awf.katowice.pl

³ Institute of Materials Science, Faculty of Science and Technology, University of Silesia, 41 500 Chorzów, Poland

⁴ Department of Physical Culture, Faculty of Health Sciences, Jan Długosz University, 42 200 Częstochowa, Poland; tomaszek1960@o2.pl

* Correspondence: a.stanula@awf.katowice.pl; Tel.: +48-32-207-5333

Received: 9 December 2019; Accepted: 20 December 2019; Published: 24 December 2019



Abstract: The aim of the research was to verify the functional state of young football players using selected tests of the Functional Movement Screen (FMS) protocol, as well as the impact of the 12 weeks of functional training on the speed parameters. The research was conducted on 20 highly competitive young (U17) football players. Research project was conducted in two stages: in the first part of the study, the functional assessment was made by using the FMS test, then the measurement of the speed parameters was done with the Microgate photocells system. Results showed a significant improvement in the functional state of young football players: FMS 1 (45.2% of difference, $p = 0.004$), FMS 2 (24.3% of difference, $p = 0.012$), FMS 3 (48.5% of difference, $p = 0.001$). After the functional training program, there was also an improvement in the parameters of the acceleration and velocity: acceleration between 5–10 m and speed between 10–30 m shows significant improvement (expressed during covering a given distance) of the footballers, amounting to 0.02 s (2.4%) and 0.04 s (1.5%). But there was no improvement in acceleration between 0–5 m. An appropriate training schedule, based on FMS results, should be adopted in the annual training program to improve basic motor skills of the football players and minimize their injuries.

Keywords: functional training; functional movement system; movement patterns; speed; football

1. Introduction

Football is a team sport that demands endurance and speed and involves short sprints, rapid accelerations, decelerations, quick changes in direction, jumping and tackling and many other unorthodox movements [1,2]. The ability of players to create actions at a very fast pace has a significant impact on the course and result of the game. Actions that require maximum speed, acceleration or agility are considered to be very fast-paced. At the same time, it was noticed that maximum efforts account for only 11% of the total game time. Thus, the proper use of motor skills is crucial in the context of losing or winning a match [3]. On average, football players cover a distance of 9–12 km during the match, of which they spend only a little time on maximum efforts. Football sprints during the game oscillate around 17–29 times depending on the pace of the game, tactics, opponent or position on the pitch. Speed can be defined as the ability to overcome the distance in the shortest time, accelerating from one point to another in high velocity [4]. Competitors usually perform sprints lasting 2 to 4

seconds over a distance of 20-m or less [5]. Carling et al. [6] noted that the average sprinting distance in a football match is 16.5 meters. Sprints in football are most common in goal situations for both the possible scorer and the supporting player(s) [7,8].

Starting speed, acceleration and maximum speed are key elements in football performance [9]. Haugen et al. [10] indicated that the influence of speed performance parameters is very important in football. While performing start speed and acceleration phases athletes benefit from triple extension position further; uses propulsive force of plantar flexors, knee and hip muscles [9], which may be related to support optimal movement patterns. Research conducted by Williams et al. [11] demonstrates that changes in football speed efficiently occur as a result of increased muscle mass, changes in muscle-tendon architecture and by improving neural control and coordination. Rabita et al. [12] noted that the capability of an athlete to generate maximal power during sprint acceleration depends mainly on his neuromuscular and mechanical properties of the musculoskeletal system and his technical sprint ability to move body mass forward. It is important to know, that speed is connected with genes, related to muscle fibers and the nervous system. Speed training should be develop in training very early in young athletes, when the nervous system is adaptable 7–9 years, and also 13–16 years [13].

Football is a body-contact game that involves a high risk of injury. Research conducted among young football players showed that almost 40% of football players playing at various game levels had non-mechanical injuries in lower limbs [14]. Most of them involve hamstrings strains, traumas of the tendons and ligaments of the knees [15–18]. Moreover Ekstrand et al. [19] conducted research among 23 football teams in which they stated that, the possibility of injury is around 8 per 1000 hours of play, especially in competitive matches. A popular research tool for functional status assessment is Functional Movement System (FMS) which was created to evaluate the risk of injuries among athletes through the analysis and scoring of movement patterns especially in football [20]. FMS is being more attractive to scientists. The researches associated with FMS protocol involving recreational, college and Olympic athletes are increasing [21]. Functional training should be fundamental to developing special and tactical skills. The essence of functional training is an individual approach and the form of training should be as close as possible to conditions that the player encounters during training or in a match. The key role in functional training is to achieve and maintain an optimal balance between mobility and stability while performing fundamental movement patterns with accuracy and efficiency [21,22]. Campa et al. [23] suggested that a good correlation between strength of the muscles, stability, flexibility and motor control is decisive to achieve and support optimal sports performance. High body mass index (BMI) and high body fat are detrimental to efficient movement patterns [24].

The aim of this study is to verify the functional status of young footballers using selected components of the FMS protocol, as well as to assess the impact of 12 weeks of functional training on selected speed parameters (acceleration, maximum running speed) of young footballers. The novelty of this investigation was to determine if improving functional assessment could improve special fitness ability (acceleration and full speed), which are key elements in football.

2. Materials and Methods

2.1. Research Design

The research was carried in two parts: the first during the time of preparation for the autumn season and the second just after the autumn round of matches, directly before the preparation for the spring round. No further activities were carried out before test day, to guarantee the athletes an optimal recovery. The research was conducted in two stages: In the first stage, the functional assessment and anthropometric measurements were recorded. All the speed parameters were measured in the second stage. All tests were performed from between 8.00 a.m. and 12.00 p.m., keeping the order of approaching competitors to the test trials unchanged. All the tests were conducted in the sports hall in Chorzów (Poland).

2.2. Subjects

All the participants ($n = 20$) of this study were young football players of below 17 years of age (U17). They were the inmates of the Silesian Football Academy and participants of the Central Youth Junior League (Table 1).

Table 1. Characteristics of basic somatic parameters of the tested group of players ($n = 20$)

Parameters	m $\pm$ SD	Me	Range (min–max)	V	As	Ku
Age	16.8 $\pm$ 0.6	17	15–17	3.4	−3.14	8.61
Height (cm)	175.7 $\pm$ 6.4	176	167–187	3.7	0.21	−0.87
Body weight (kg)	66.5 $\pm$ 7.4	64	54.8–81	11.1	0.48	−0.85
BMI (kg/m ²)	21.5 $\pm$ 1.8	21.62	18.8–24.6	8.5	0.20	−1.16
FAT (%)	12.6 $\pm$ 2.2	12	9.5–15.5	12.9	0.31	−0.09

m $\pm$ SD: mean and standard deviation; Me: median; Range: the smallest and largest value; V: coefficient of variation; As: skewness coefficient (asymmetry); Ku: coefficient of focus (kurtosis).

Before participating in the research, each participant was informed about the purpose of the research and confidentiality of results. The participants were given the freedom to withdraw their participation from the study without any consequences. The inclusion criterion was: consent for participation in the research, good health and active participation in functional training. The exclusion criteria were: lack of consent of the trainer, injury or illness and rehabilitation not allowing the participant to participate in regular training. Written informed consent was signed by the parents of minors before participation. The study was approved by the Ethics Committee of The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice (No. 8/201).

2.3. Anthropometric Measures

All of the anthropometric measurements were taken according to standard methods. Height (to the nearest 0.1 cm; Harpenden Portable Stadiometer, Holtain, UK), body mass (0.1 kg) and percent body fat (0.1%) with a total body composition analyser (TANITA BC-420S MA, Tokyo, Japan). The participants wore light indoor clothing and were barefoot when they were measured. The same investigator made all anthropometric measurements. Body mass index (BMI) was calculated as the ratio of body weight to height squared (in 1 kilogram per square meter). Data for each component are presented in Table 1.

2.4. Functional Screen

The FMS test is a comprehensive screening tool that assesses the quality of basic movement patterns and identifies movement limitations and asymmetries [25]. The FMS test is popular in the coaching environment, mainly due to its simplicity and easy to use equipment. Fundamental movement patterns were tested which are the basis for more efficient sports movements [26]. In the conducted studies, global movement patterns were assessed, which require appropriate mobility, stability and range of motion in the joints as well as balance. Three tests were used to assess global movement patterns: 1) deep squat—which is a movement needed in most athletic events and is required for most power movements involving the lower extremities. The deep squat is a test that challenges total body mechanics when performed properly. The deep squat is used to assess bilateral, symmetrical, functional mobility of the hips, knees, and ankles. The dowel held overhead assesses bilateral, symmetrical mobility of the shoulders as well as the thoracic spine. 2) hurdle step—designed to challenge the body's proper stride mechanics during a stepping motion. The movement requires proper coordination and stability between the hips and torso during the stepping motion as well as single leg stance stability. The hurdle step assesses bilateral functional mobility and stability of the hips, knees, and ankles. 3) in-line lunge—attempts to measure body position during rotational, decelerating, and lateral type movements. The in-line lunge is a test that places the lower extremities in a scissor

style position challenging the body's trunk and extremities to resist rotation and maintain proper alignment. This test assesses hip and ankle mobility and stability, quadriceps flexibility, and knee stability. Each test is evaluated on a four-point scale from 0 to 3, where 0 means pain during the test, 1—inability to perform the test, 2—perform motion with compensation, 3—correct movement [25]. Individual tests were carried out three times and evaluated for the best test. In case of doubt, the rating was downgraded. The researchers evaluated the movement in the frontal and sagittal plane and score was assigned independently for left and right sides of the body for in-line lunge test and hurdle step test. The overall score was the lowest score from the 2 sides. The FMS evaluation is done without warm-up and athletes wear sporty outfits and footwear. Specialized equipment “FMS Test Kit™” was used to perform the test. The kit includes a base—a board with dimensions of 5 × 15 × 150 cm, tubes with a centimeter scale and rubber cord [25]. In these studies, the assessment of global movement patterns was carried out by a physiotherapist with FMS certification and by a strength & conditioning coach.

2.5. Speed Performance Tests

The speed test was carried out at the sports hall. The assessment of the maximum speed and acceleration was made during the run from the own command at a distance of 5 and 10 m and during a flying start at a distance of 20 m after earlier acceleration at a distance of 10 m. Measurements were made using a set of RaceTime 2 photocells made by Microgate (Bolzano, Italy) on the playing field in a straight line, creating measuring gates on 5, 10 and 30 meters. Before testing standardized warm-up including jogging, dynamic stretching, muscle activation and mobilization of joints has been done and also speed exercises and athletic drills were carried out. After warm-up, participants had a 5 min break. Then athletes had two trials, of which the best was recorded. Sufficient recovery time of 3 min was allowed between each performance trial.

2.6. Functional Training Program

The purpose of the intervention was to focus on functional deficits that can occur in three FMS trials. In the first test—deep squat: the purpose was to improve squat pattern by increase the mobility of the ankle, mobility of the thoracic spine, shoulder girdle and also to improve hip function and body control. Second test—hurdle step: the aim was to increase hip mobility and improve central stabilization. In the third test—in-line lunge: the purpose was to achieve greater mobility in the ankle, knee and hip joints as well as postural control. The implemented program was planned in accordance with the FMS concept and based on functional training implemented of selected sports disciplines [20,27] as well as on the experience of coaches and physiotherapists (Table 2). Each session was supervised by a certified strength and conditioning coach.

2.7. Statistical Analysis

Descriptive statistics (mean and standard deviation) were calculated. Before using parametric tests, the assumption of normality and homoscedasticity were verified using the Shapiro–Wilks W-Test. In order to compare the data from the acceleration and running speed obtained before and after the implementation of the training program, a paired sample t-test was used. Due to the step nature of the FMS test results, the Wilcoxon signed-rank test was used to evaluate the comparison of results recorded before and after the experiment. For all analyzes, a level of $p \leq 0.05$ was selected to indicate statistical significance. All calculations were done with the STATISTICA –statistical package ver. 13.3 PL of TIBCO Software Incorporation (Palo Alto, CA, USA).

Table 2. A detailed description of the training program implemented in the research group.

Part of the Training Unit	Exercises/Goal/Execution (Volume)
Warm-up (15–20 min)	Running (4') Run with the delivery and delivery step (2 × 20 m) (30") Cross step (interlace) (2 × 20 m) (30") Forward shoulder circulation (30") Back arm circulation (30") Dynamic stretching (5') Hip rotation (2 × 10 rep) (1') twist with a trunk torsion (2 × 5 rep) (1') Buttocks Activation with a mini band (2 × 10 rep) (2') Skip A (10 m) (10") Skip C (10 m) (10") Running rhythm (15 m) (10")
Main Part (45–60 min)	Back Stretching exercises (2–3 ex.) Mobilization of shoulder complex (2 ex.) Mobility of the thoracic spine: Extension of the thoracic spine (1–2 ex.) Four - point kneeling position. Thoracic spine rotation (2 ex.) Hip mobilization in the direction of flexion, extension, external and internal rotation (5 ex.) Ankle Mobilization towards the dorsiflexion (2 ex.) Central stabilization, stabilization of the ilio-lumbar-pelvic complex (3 ex.) Exercises with bands, global patterns (2 ex.) Balance and coordination exercises (2 ex.)
Cool Down (10 min)	Foam rolling (10')

3. Results

3.1. Functional Status of Global Patterns in the FMS Test

The assessment of the functional status of young players conducted before the training program indicates (Table 3) that in the FMS 1 test the average score was 1.6 ± 0.51 (scale from 1 to 3). The calculated skewness coefficient of -0.21 indicates that the majority of respondents achieved a score higher than the average. In the case of the FMS2 test, the average value for the whole group was 1.9 ± 0.49 and, similarly to the FMS1 test, the majority of people achieved a score higher than the average for the whole group ($AS = -0.442$). The average result for the whole group for the FMS3 test was 1.7 ± 0.59 . It should be emphasized that in test 3, the results of the examined persons were the most diversified, which was confirmed by the calculated coefficient of variation ($V = 35.6\%$). Contrary to the FMS1 and FMS2 test, the majority of respondents obtained a score lower than the average calculated for the whole group.

Table 3. Characteristics of the results of the functional status of movement patterns carried out prior to the start of the training.

Variables	m ± s	min-max	±95% PU	V	As	Ku
FMS 1	1.6 ± 0.51	1–2	1.3–1.8	32.9	-0.218	-2.183
FMS 2	1.9 ± 0.49	1–3	1.6–2.1	26.5	-0.442	1.304
FMS 3	1.7 ± 0.59	1–3	1.4–1.9	35.6	0.212	-0.552

3.2. Influence of the 12-Week Functional Training Program on the Functional State of Global Patterns in the FMS

The 12-week functional program was aimed to improve selected motor skills among young footballers. It is interesting to what extent the change occurred in global patterns in the FMS test. Based on the results presented in Table 4, it can be concluded that in the FMS1 test there was a statistically significant ($p = 0.004$) improvement in results by 45.2% (1.55 vs. 2.25). To a slightly lesser extent,

but also statistically significant ($p = 0.012$) there was an improvement of 24.3% in the FMS2 test (1.85 vs. 2.3). The highest progression was recorded in the FMS3 test, where the difference between the measurement before and at the end of the training program was 48.5% (1.65 vs. 2.45, $p = 0.001$).

Table 4. Results of the functional status assessment of the functional status of the tested group of players ($n = 20$). The significance of differences was assessed using the Wilcoxon test.

Variables	Pretest	Posttest	Difference (%)	<i>p</i> -Value
FMS 1	1.55 $\pm$ 0.51	2.25 $\pm$ 0.55	−0.70 (−45.2%)	0.004
FMS 2	1.85 $\pm$ 0.49	2.30 $\pm$ 0.57	−0.45 (−24.3%)	0.012
FMS 3	1.65 $\pm$ 0.59	2.45 $\pm$ 0.69	−0.80 (−48.5%)	0.001

3.3. The Impact of the 12-Week Functional Training Program on Improving Running Speed and Acceleration

The applied 12-week functional training did not improve the acceleration of the football players in the range of 0 to 5 m (Table 5). Before the introduction of training, the competitors covered the distance of the first 5 m in 0.96 ± 0.06 s, while after completing the functional training program their time deteriorated by 0.02 s (1.7%). The measurement of the speed from a flying start between 5 and 10 m and between 10 and 30 m allows to state that there was a statistically significant improvement in the maximum speed (expressed during covering a given distance) of the tested competitors, amounting to 0.02 s (2.4%) and 0.04 s (1.5%). On the other hand, over a distance of 30 m, the tested players achieved a slight improvement in time of 0.04 s (0.9%). The results of the 30 m run calculated in relation to the speed achieved before joining the 12-week training program and after the implementation of this training amounted to 26 km/h and 26.24 km/h respectively, which indicates a speed increase of 0.24 km/h (0.09%). Detailed results for the running tests are presented in Table 5.

Table 5. Results of the running speed and acceleration tests in the group of football players ($n = 20$).

Variables	Pretest	Posttest	Difference (%)	<i>p</i> -Value
0–5 m (s)	0.96 $\pm$ 0.06	0.97 $\pm$ 0.06	−0.02 (−1.7%)	−1.001 (0.329)
5–10 m (s)	0.73 $\pm$ 0.04	0.72 $\pm$ 0.04	0.02 (2.4%)	2.438 (0.025)
10–30 m (s)	2.47 $\pm$ 0.1	2.44 $\pm$ 0.1	0.04 (1.5%)	4.188 (0.001)
0–30 m (s)	4.16 $\pm$ 0.17	4.12 $\pm$ 0.17	0.04 (0.9%)	1.832 (0.083)
Velocity (km/h)	26.00 $\pm$ 1.04	26.24 $\pm$ 1.12	−0.24 (−0.9%)	−1.863 (0.078)

4. Discussion

The main purpose of this study was to verify functional status and speed parameters and then to introduce the intervention functional training program, which may improve the functional status and speed parameters. As hypothesized, the functional status after training intervention have improved significantly. Moreover, acceleration (5–10 m) and top speed were improved significantly. There was no significant difference in acceleration 0–5 m after training intervention.

Training overload is common in youth sports and it is likely to raise the number of injuries. Neglect in the first stages of functional development of youth athletes may result in the lack of adequate axially of the body segments, leading to compensation, excessive overloads, improper transmission of force, for example in the case of a sudden change of direction, acceleration, braking. Such excessive exploitation of athletes speeds up the risk of injury and reduces its motor potential. Deficiencies in functional fitness is more susceptible to loads and likely to cause more injuries [21,22]. Adult athletes have problems with muscular dystonia, contractures, posture defects, and degenerative changes in the joints. These can be irreversible changes that an athlete can struggle with even after his career [21,22]. This is especially important because of the greatest physical development between junior (U17) and adolescent age (U20) [28]. The FMS test was created to assess the risk of injury for football players, and as a screening tool to assess basic movement patterns and possibly occurring movement compensations

and asymmetries. Deficiencies in basic motor skills (coordination, mobility and stability) can translate into limitations in directed motor skills (strength, speed, power, endurance) as well as further on special fitness in a given discipline [25,27]. Cook [29] emphasized that a player with functional movements may show better skills and techniques of movement. In contact sports such as football, reactive agility or speed of reaction are favorable skills for players because they translate into the possibility of using pressing on the rival, getting or keeping possession of the ball [30]. Newman [31] also has a similar opinion and believes that football players, as well as other team game players, perform many sprints and accelerations during the match. Speed and acceleration are also very important factors in sports played on pitch, due to the maximum speed of short distances, which according to Baker [32] and Sayers [33], is the key to success. Gabryś et al. [34] and Stanula et al. [35] stated that assessment of maximal running speed is a more important factor of athlete's performance than VO_2max and other physiological variables. The importance of functional possibilities in developing special efficiency can be illustrated by research, which showed that proper tilt of the torso, foot placement, regulation of the running step and running posture are important technical factors regarding reactive agility, which are extremely important in one-on-one situations [36].

The first FMS test—squat—evaluates seven functional components [37]. The first assessment of the test showed lots of deficiencies in the proper performance of testing movement patterns. Mobility of the ankle, hips and shoulder girdle were assessed as the worst dysfunctions detected during the FMS test. The functional training program was aimed to correct dysfunctions and was supposed to improve the quality of movement patterns. Based on the results presented in Table 3, it can be stated that the results have improved in all tests. The highest progression was recorded in the FMS 3 test, where the difference between the measurement after the training program and before was 48.5%.

Since the results obtained in acceleration phase tests between 5–10m and 10–30m, velocity and overall time at the distance, have improved, it can be concluded that the improvement of the functional state causes the progression of running speed. Based on tests carried out after the training program in comparison with the initial tests, it was found that the early phase of acceleration did not improve. The essence of using functional training based on movement patterns is confirmed by the research of Campa et al. [38] who believed that better movement patterns may improve speed performance. Attention should be paid to the fact that wrong movement patterns negatively affect the ability to perform fundamental movement patterns with precision and appropriate efficiency. They also increase the risk of injury [23]. High percentage of asymmetrical and dysfunctional movements can be corrected with specific interventions [20,23,39].

There are scientific studies that shows the correlation and importance of introducing functional assessment and functional training program. Hong-Sun Song et al. [40] tested baseball players for functional assessment by FMS test, in which they measured functional status, strength and flexibility also. A significant impact of the training program on the improvement of functional assessment has been demonstrated, which is associated with a lower risk of injury and the probability of increased strength in the subjects has been demonstrated, and it is possible to increase flexibility, although no significant correlations were found. Similar opinion about positive aspects of functional training program have Stanek et al. [41] and Kiesel et al. [42] who stated that, individualized corrective exercise program was effective at improving scores on the FMS and minimize injury risk.

In the other hand, there are few researches, that shows no correlation between intervention program and FMS. For example, Dossa et al. [43] suggest that, FMS cannot be recommended as a pre-season screening tool for injury prevention in population of junior hockey players. Also the study by Venter et al. [44] concluded that FMS score is not a good indicator of the physical readiness or performance of female netball players.

We suggest that, functional training aimed at shaping fundamental motor skills or eliminating functional limitations (pre-hab) can be a good tool to supplement training at various stages of the macrocycle. The presented results should lead to considerations to apply a longer training program.

The practical implication from this study and the novel finding that could help coaches, strength & conditioning coaches to improve their training systems is that the use of FMS test trials can help reveal inferior movement patterns and then improving quality of global movement patterns. Introducing functional training program in regular microcycle may protect the player from injury and improve their speed parameters.

5. Conclusions

The aim of this study was to verify the functional state of global movement patterns and the level of running speed and acceleration of young footballers after the introduction of the 12-week training intervention. The training program was aimed at improving the condition of selected movement patterns. It should be emphasized that the functional condition of the examined players has significantly improved. Running speed after training intervention has also improved although no such improvement was noted in the acceleration. Attention should be paid to the essence of implementation of training intervention and monitoring of players in terms of correlation of functional state with the level of running speed and acceleration and other motor skills.

The purpose of subsequent studies should be to introduce an intervention program and compare it with the control group. Another purpose of research should be the implementation of an intervention program based on the ideology of FMS and the use of elements of special efficiency; especially based on acceleration and speed.

Author Contributions: Conceptualization, J.B., A.B. and A.S.; methodology, J.B., A.B., A.S., T.G. and A.S.S.; software, A.S. and A.S.S.; validation, A.S., T.G. and A.S.S.; formal analysis, A.S. and A.S.S.; investigation, J.B., A.B. and A.S.; resources, J.B., A.B. and A.S.; data curation, A.S. and A.S.S.; writing—original draft preparation, J.B., A.B. and A.S.; writing—review and editing, A.S., T.G. and A.S.S.; visualization, A.S.; supervision, A.S.; project administration, A.S.; funding acquisition, A.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

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

References

1. Kaplan, T.; Nurtekin, E.; Taskin, H. The Evaluation Of The Running Speed And Agility Performance In Professional And Amateur Soccer Players. *J. Strength Cond. Res.* **2009**, *21*, 1278–1281. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
2. Stølen, T.; Chamari, K.; Castagna, C.; Wisløff, U. Physiology of soccer: An update. *Sport. Med.* **2005**, *35*, 501–536. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Reilly, T.; Bangsbo, J.; Franks, A. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J. Sports Sci.* **2000**, *18*, 669–683. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
4. Struzik, A.; Konieczny, G.; Grzesik, K.; Stawarz, M.; Winiarski, S.; Rokita, A. Relationship between lower limbs kinematic variables and effectiveness of sprint during maximum velocity phase. *Acta Bioeng. Biomech.* **2015**, *17*, 131–138. [\[PubMed\]](#)
5. Vigne, G.; Gaudino, C.; Rogowski, I.; Alloatti, G.; Hautier, C. Activity profile in elite Italian soccer team. *Int. J. Sports Med.* **2010**, *31*, 304–310. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
6. Carling, C.; Le Gall, F.; Dupont, G. Analysis of repeated high-intensity running performance in professional soccer. *J. Sports Sci.* **2012**, *30*, 325–336. [\[CrossRef\]](#)
7. Faude, O.; Koch, T.; Meyer, T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J. Sports Sci.* **2012**, *30*, 625–631. [\[CrossRef\]](#)
8. Moir, G.L. Biomechanics of Fundamental Movements: Sprint Running. In *Strength and Conditioning. A Biomechanical Approach*; Jones & Bartlett Learning: Burlington, MA, USA, 2015; pp. 523–574. ISBN 978-1-284-03484-4.
9. Yıldız, S.; Ateş, O.; Gelen, E.; Çırak, E.; Bakıcı, D.; Sert, V.; Kayıhan, G. The relationship between start speed, acceleration and speed performances in soccer. *Univers. J. Educ. Res.* **2018**, *6*, 1697–1700. [\[CrossRef\]](#)
10. Haugen, T.A.; Tønnessen, E.; Hisdal, J.; Seiler, S. The role and development of sprinting speed in soccer. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2014**, *9*, 432–441. [\[CrossRef\]](#)

11. Williams, C.A.; Oliver, J.L.; Faulkner, J. Seasonal monitoring of sprint and jump performance in a soccer youth academy. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2011**, *6*, 264–275. [\[CrossRef\]](#)
12. Rabita, G.; Dorel, S.; Slawinski, J.; Sàez-de-Villarreal, E.; Couturier, A.; Samozino, P.; Morin, J.B. Sprint mechanics in world-class athletes: A new insight into the limits of human locomotion. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* **2015**, *25*, 583–594. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. Teodor, D.F. Physical Conditioning - Speed and Agility in Youth Football. *Ovidius Univ. Ann. Ser. Phys. Educ. Sport. Mov. Heal.* **2018**, *18*, 80–84.
14. Lisman, P.; Nadelén, M.; Hildebrand, E.; Leppert, K.; de la Motte, S. Functional movement screen and Y-Balance test scores across levels of American football players. *Biol. Sport* **2018**, *35*, 253–260. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
15. Brito, J.; Malina, R.M.; Seabra, A.; Massada, J.L.; Soares, J.M.; Krstrup, P.; Rebelo, A. Injuries in portuguese youth soccer players during training and match play. *J. Athl. Train.* **2012**, *47*, 191–197. [\[CrossRef\]](#)
16. Grooms, D.R.; Palmer, T.; Onate, J.A.; Myer, G.D.; Grindstaff, T. Soccer-specific warm-up and lower extremity injury rates in collegiate male soccer players. *J. Athl. Train.* **2013**, *48*, 782–789. [\[CrossRef\]](#)
17. O'Brien, J.; Young, W.; Finch, C.F. The delivery of injury prevention exercise programmes in professional youth soccer: Comparison to the FIFA 11+. *J. Sci. Med. Sport* **2017**, *20*, 26–31. [\[CrossRef\]](#)
18. Pfirrmann, D.; Herbst, M.; Ingelfinger, P.; Simon, P.; Tug, S. Analysis of injury incidences in male professional adult and elite youth soccer players: A systematic review. *J. Athl. Train.* **2016**, *51*, 410–415. [\[CrossRef\]](#)
19. Ekstrand, J.; Häggglund, M.; Waldén, M. Injury incidence and injury patterns in professional football: The UEFA injury study. *Br. J. Sports Med.* **2011**, *45*, 553–558. [\[CrossRef\]](#)
20. Kiesel, K.; Plisky, P.J.; Butler, R.J. Functional movement test scores improve following a standardized off-season intervention program in professional football players. *Scand. J. Med. Sci. Sport.* **2011**, *21*, 287–292. [\[CrossRef\]](#)
21. Bernardes Marques, V.; Menezes Medeiros, T.; de Souza Stigger, F.; Yuzo Nakamura, F.; Manfredini Baroni, B. The Functional Movement Screen (FMSTM) in Elite Young Soccer Players Between 14 and 20 Years: Composite Score, Individual-Test Scores and Asymmetries. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2017**, *12*, 977–985. [\[CrossRef\]](#)
22. Sprague, P.A.; Mokha, G.M.; Gatens, D.R. Changes in functional movement screen scores over a season in collegiate soccer and volleyball athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2014**, *28*, 3155–3163. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Campa, F.; Spiga, F.; Toselli, S. The Effect of a 20-Week Corrective Exercise Program on Functional Movement Patterns in Youth Elite Male Soccer Players. *J. Sport Rehabil.* **2019**, *28*, 746–751. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Campa, F.; Piras, A.; Raffi, M.; Toselli, S. Functional movement patterns and body composition of high-level volleyball, soccer, and rugby players. *J. Sport Rehabil.* **2019**, *28*, 1–7. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
25. Cook, G.; Burton, L.; Hoogenboom, B.J. Functional Movement Screening: The Use Of Fundamental Movements as an Assessment of Function - Part 1. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **2014**, *9*, 396–409.
26. Kiesel, K.; Plisky, P.J.; Voight, M.L. Can Serious Injury in Professional Football be Predicted by a Preseason Functional Movement Screen? *N. Am. J. Sports Phys. Ther.* **2007**, *2*, 147–158.
27. Boyle, M. Mobility and Flexibility. In *Advances in Functional Training*; On Target Publications: Santa Cruz, CA, USA, 2017; pp. 44–50.
28. Loturco, I.; Jeffreys, I.; Kobal, R.; Abad, C.C.C.; Ramirez-Campillo, R.; Zanetti, V.; Pereira, L.A.; Nakamura, F.Y. Acceleration and Speed Performance of Brazilian Elite Soccer Players of Different Age-Categories. *J. Hum. Kinet.* **2018**, *64*, 205–218. [\[CrossRef\]](#)
29. Cook, G. *Athletic Body in Balance*; Human Kinetics Publishers: Champaign, IL, USA, 2003.
30. Fiorilli, G.; Iuliano, E.; Mitrotasios, M.; Pistone, E.M.; Aquino, G.; Di Costanzo, A.; Calcagno, G.; Di Cagno, A. Are change of direction speed and reactive agility useful for determining the optimal field position for young soccer players? *J. Sport. Sci. Med.* **2017**, *16*, 247–253.
31. Newman, M.A.; Tarpenning, K.M.; Marino, F.E. Relationships between isokinetic knee strength, single-sprint performance, and repeated-sprint ability in football players. *J. Strength Cond. Res.* **2004**, *18*, 867–872.
32. Baker, D.; Nance, S. The Relation between Running Speed and Measures of Strength and Power in Professional Rugby League Players. *J. Strength Cond. Res.* **1999**, *13*, 230–235.
33. Sayers, M. Running techniques of field sport players. *Sport. Coach* **2000**, *23*, 26–27.
34. Gabrys, T.; Stec, K.; Michalski, C.; Pilis, W.; Pilis, K. Diagnostic value of Beep and Yo-Yo tests in assessing physical performance of female soccer players. *Biomed. Hum. Kinet.* **2019**, *11*, 110–114. [\[CrossRef\]](#)
35. Stanula, A.; Gabrys, T.; Szmatlan-Gabrys, U.; Roczniok, R.; Maszczyk, A.; Pietraszewski, P. Calculating lactate anaerobic thresholds in sports involving different endurance preparation. *J. Exerc. Sci. Fit.* **2013**, *11*, 12–18. [\[CrossRef\]](#)

36. Jackson, R.C.; Warren, S.; Abernethy, B. Anticipation skill and susceptibility to deceptive movement. *Acta Psychol. (Amst)*. **2006**, *123*, 355–371. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Kritz, M.; Cronin, J.; Hume, P. The bodyweight squat: A movement screen for the squat pattern. *Strength Cond. J.* **2009**, *31*, 76–85. [[CrossRef](#)]
38. Campa, F.; Semprini, G.; Jádice, P.B.; Messina, G.; Toselli, S. Anthropometry, Physical and Movement Features, and Repeated-sprint Ability in Soccer Players. *Int. J. Sports Med.* **2019**, *40*, 100–109. [[CrossRef](#)]
39. Bodden, J.G.; Needham, R.A.; Chockalingam, N. The effect of an intervention program on functional movement screen test scores in mixed martial arts athletes. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, 219–225. [[CrossRef](#)]
40. Song, H.-S.; Woo, S.-S.; So, W.-Y.; Kim, K.-J.; Lee, J.; Kim, J.-Y. Effects of 16-week functional movement screen training program on strength and flexibility of elite high school baseball players. *J. Exerc. Rehabil.* **2014**, *10*, 124–130. [[CrossRef](#)]
41. Stanek, J.M.; Dodd, D.J.; Kelly, A.R.; Wolfe, A.M.; Swenson, R.A. Active duty firefighters can improve Functional Movement Screen (FMS) scores following an 8-week individualized client workout program. *Work* **2017**, *56*, 213–220. [[CrossRef](#)]
42. Kiesel, K.B.; Butler, R.J.; Plisky, P.J. Prediction of injury by limited and asymmetrical fundamental movement patterns in american football players. *J. Sport Rehabil.* **2014**, *23*, 88–94. [[CrossRef](#)]
43. Dossa, K.; Cashman, G.; Howitt, S.; West, B.; Murray, N. Can injury in major junior hockey players be predicted by a pre-season functional movement screen—A prospective cohort study. *J. Can. Chiropr. Assoc.* **2014**, *58*, 421–427.
44. Venter, R.E.; Masterson, C.; Tidbury, G.B.; Krkeljas, Z. Relationship between functional movement screening and performance tests in elite university female netball players. *S. Afr. J. Res. Sport. Phys. Educ. Recreat.* **2017**, *39*, 189–191.



© 2019 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Relationship between vertical jump tests and ice skating performance in junior Polish ice hockey players

AUTHORS: Subir Gupta¹, Jakub Baron², Anna Bieniec², Andrzej Swinarew³, Arkadiusz Stanula²

¹ Faculty of Medical Sciences, University of West Indies, Cave Hill, Barbados

² Institute of Sport Sciences, Department of Exercise and Sport Performance, Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Mikołowska 72A, 40-065 Katowice, Poland

³ Faculty of Science and Technology, University of Silesia in Katowice, 75 Pułku Piechoty 1A, 41-500 Chorzów, Poland

Corresponding author:

Arkadiusz Stanula

Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Mikołowska 72a, 40-065, Katowice, Poland
E-mail: a.stanula@awf.katowice.pl

ABSTRACT: The aim of this study was to determine the relationships between vertical jumps (VJ) and various on-ice skating performances of junior ice hockey players ($n = 19$). The three modes of VJ or off-ice measures were countermovement jump with arm swing (CMJ), squat jump (SJ) and depth drop jump (DDJ). The on-ice skating performance was measured by the skating multistage aerobic test (SMAT), forward and backward acceleration test, top speed test, and repeated sprint ability (RSA) test. The relationships between the variables were quantified using Pearson's product-moment correlation. DDJ showed a significant positive correlation with forward average skating speed (FASS) ($r = 0.62$) and strong correlations with backward average skating speed (BASS) ($r = 0.81$), and maximum skating speed (MSS) ($r = 0.71$). SJ was found to be strongly correlated with BASS ($r = 0.82$) and MSS ($r = 0.76$), whereas the only on-ice performance that significantly correlated with CMJ was BASS ($r = 0.68$). All three modes of VJ were inversely and non-significantly correlated with performance decrement index and fatigue index, as determined by the RSA test. SMAT was not significantly correlated with either VJ or RSA. Correlations between all three modes of VJ tests were significant. Therefore, this study concludes that: (1) DDJ can be used as a predictor of all the ice skating speed tests, whereas SJ can predict BASS and MSS. CMJ, on the other hand, can predict the performance of only BASS. (2) RSA performance cannot be predicted from CMJ, SJ, or DDJ tests, and (3) neither any of the VJ nor RSA can predict skating endurance of junior ice hockey players.

CITATION: Gupta S, Baron J, Bieniec A et al. Relationship between vertical jump tests and ice skating performance in junior Polish ice hockey players. *Biol Sport*. 2023;40(1):225–232.

Received: 2021-09-23; Reviewed: 2021-11-22; Re-submitted: 2021-11-22; Accepted: 2021-12-05; Published: 2022-03-16.

Key words:

Countermovement jump
Squat jump
Depth drop jump
Skating multistage aerobic test
Repeated sprint ability
Maximum skating speed

INTRODUCTION

Intermittent high intensity bouts of skating, rapid changes in direction and velocity, individual skills, tactics, and motivation are some important requirements of playing ice hockey. On-ice performance is a primary requirement for an ice hockey player and thus relevant on-ice assessment is an important component of the training programme for them. However, many of the suggested sports-specific tests of ice hockey are off-ice, and are performed in well-equipped laboratories or any suitable facility. Agility in on-ice performance is also related to off-ice conditioning. Commonly performed off-ice tests for ice hockey players are the Wingate test, various jump tests, repeated sprint ability (RSA) tests, and sprint tests or time trial run [1–6]. The validity of some of the off-ice tests has been questioned for quantifying aerobic or anaerobic power related to ice hockey [7, 8]. Off-ice tests mostly focus on both anaerobic endurance and aerobic capacities of the players, although the earlier one is predominant.

Studies confirmed a significant relationship between running speed and on-ice sprinting ability in young male ice hockey players [2, 9]. Jump tests are widely used to assess fitness of ice hockey players,

and some of the jump tests are correlated with the performance of on-ice measurement [3, 4]. The jump test is used for measuring leg power and has repeatedly been shown to be related to skating abilities and ability to perform a wide range of simple and complex activities including throwing, sprinting, and change of direction [2, 4, 10]. Vertical jump is a part of the NHL combined test and very often is used not only as one of the gold standards, but as a simple off-ice test that can distinguish ice hockey potential [11, 12]. Vertical jumping is often considered as a basic movement skill, involves multi-joint movement and requires a higher level of motor coordination [2, 4]. The commonly used VJ test protocol varies widely. Countermovement jump with arm swing (CMJ), squat jump (SJ) and depth drop jump (DDJ) are the three major variations of VJ that were used in this study. Skating speed is one of the most desirable elements in ice hockey routinely assessed. Due to biomechanical similarities in movement patterns, strength and conditioning specialists recommend jumps and back squat exercise to improve ice skating performance [13].

Several previous studies focused on prediction of on-ice performance from off-ice tests [1, 2, 4, 8, 9, 13]. However, research focused on the relationship between various VJ tests and a wide range of on-ice performance, especially in junior ice hockey players, is scanty. Therefore, the primary purpose of this investigation was to determine whether any significant correlations exist between the (1) VJ tests and on-ice field tests, and (2) RSA and skating endurance (or SMAT) in junior Polish ice hockey players. It is hypothesized that DDJ is the single best off-ice VJ test in this study that predicts on-ice performance such as FASS, BASS, and MSS. Repeated sprint ability and SMAT, on the other hand, are not related to any of the VJ test performances.

MATERIALS AND METHODS

Subjects

Twenty-five outfield junior ice hockey players from the club UKS Zagłębie Sosnowiec of southern Poland participated in this study. Six players were excluded from the study after they failed to complete testing sessions. Of the final participants, 10 were defenders and 9 were forwards. Age, height, weight, and body mass index (BMI) of the players were 18.7 ± 2.2 years, 179.2 ± 11.6 cm, 77.8 ± 10.2 kg and 24.3 ± 1.9 , respectively. The team was participating in the youth hockey league (MHL) and Central Junior League (CLJ) of Poland. The participants were in the middle of their competitive period, participating in 5–6 training sessions per week that comprised technical, tactical, fitness and strength training. The experimental protocol and potential risks involved in the study were described to all the participants and they were allowed to withdraw from any stage of the study without providing any reason. Participants, or their parents (in the case of < 18-year-old participants), gave voluntary written informed consent to participate in the study. The study was approved by the Ethics Committee of the Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice (No. 8/2018).

Study design

This study was conducted over 4 days and on all the occasions the players were tested under similar experimental conditions and at the same time of day (6 to 9 p.m.). None of the volunteers ate food in the last 3 hours before testing, but water was allowed to drink. Participants were instructed to maintain normal dietary and fluid intake and to abstain from training and any other heavy physical activity for 24 hours before testing. Intake of coffee or any caffeine-containing beverages in the last 12 hours before the experiment was not allowed.

The whole study was conducted in two major stages – (1) off-ice VJ tests and (2) on-ice tests. The off-ice VJ tests conducted were CMJ, SJ, and DDJ. All off-ice VJ tests were conducted in the Laboratory of Analysis in Sports of the Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice (Poland). The four on-ice tests were – (i) skating multistage aerobic Test (SMAT or beep test), (ii) forward and backward acceleration test, (iii) top speed test, and (iv) repeated sprint ability (RSA) test. All the on-ice tests were conducted on

the ice rink of Stadion Zimowy in Sosnowiec, Poland. All the on-ice and jump tests were explained and supervised by the same strength and conditioning specialist of the team. All the on-ice performances were tested wearing full ice hockey equipment with an ice hockey stick in their preferred hand.

Vertical jump (VJ) tests

The subjects performed a warm-up, as instructed by the coach, just before performing the actual jump tests. All the jump tests were performed on the OptoJump (Microgate, Bolzano, Italy), an optical data acquisition system. The OptoJump is able to measure all air- and ground-related times with precision to 1/1000 of a second [14]. All subjects completed 3 trials for each jump test and the highest jump was recorded. Between two trials, a 1-min rest period was allowed. All the VJ tests were performed without any familiarization session. In order to control for the testing order effect, the order in which the players performed jump tests was randomized [15, 16].

Countermovement jump with arm swing (CMJ)

The subject stood comfortably, bent his knees, hips and ankles, with his hands at his sides. Thereafter he was instructed to swing his arms forward when he jumped vertically. The countermovement started when the legs were bent down to 90°. A pre-jump or step was not allowed. Bending the knees before landing or kicking the legs forward by flexing at the hip was not allowed and the jump was repeated [17, 18].

Squat jump (SJ)

The subject was instructed to stand with his hands on his hips and to bend at the knees, hips, and ankles. After he became motionless, the tester instructed him to jump. The player jumped as high as possible keeping his hands on his hips and his legs straight [19].

Depth drop jump (DDJ)

The subject stood on a jump box of 45 cm height, behind the OptoJump. He was then instructed to step off towards the OptoJump optical measurement system in one motion and performed a maximal effort double-leg vertical jump, using an arm swing upon landing. The subject was instructed to quickly reverse the downward movement of the body to an upward movement in order to minimize the contact time with the ground upon landing, and maximize take-off velocity [20].

Skating Multistage Aerobic Test (SMAT)

This on-ice test for the prediction of $\dot{V}O_{2max}$ was designed by Leone et al. [21]. The test was conducted on a 45 m course defined with markers at both extremities of the indoor ice hockey rink (Figure 1). The participant skated, holding the hockey stick with the preferred single hand, from one end to the other with a predefined speed, and then the speed was gradually increased until the participant was unable to maintain the speed anymore (about 3 m before a marker

Jump tests and ice skating performance in ice hockey

after the sound signal). The pace was dictated by audible signals emitted by a calibrated audio player. The initial skating speed was set at $3.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, which was increased stepwise by $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. A 30 s rest period was allowed before beginning the next stage. The sound signals provided guidance to synchronize skating velocity with markers located at the midpoint (22.5 m) and both extremities of the 45 m course. At the start of each stage the participant player rested upright with the front skate parallel to the starting line. $\text{VO}_{2\text{max}}$ was estimated from a table based on the formula [21]:

$$\text{VO}_{2\text{max}} = 22.368 \times (\text{maximal velocity}) - 58.618$$

Forward and backward acceleration (0-5-10-30 m) test

The subjects were required to start from the goal line and skate forward with maximal effort for 30 m distance on a straight line (Figure 2). All subjects performed this test twice, with a break of 10 min, and the fastest performance was recorded. During the break between two trials, players followed self-selected low intensity active recovery [13].

After a break of 15 min rest, backward skating was performed from the same starting line. The protocol of forward and backward skating was similar. Both the forward and backward skating started after the player remained at standstill close to the starting line. The forward and backward skating time and velocity were measured using a photocell automatic laser timing system (Microgate, Racetime 2, Bolzano, Italy). The starting and finishing sensors were placed 30 m apart on the ice. Sprint time was measured to the nearest 0.01 s. Photocells were set at 0, 5, 10, and 30 m distance. Average speed while skating forward was designated as forward average skating speed (FASS), and similarly, the average speed attained while skating backward was called backward average skating speed (BASS).

Top speed test (50 ft flying top speed test)

Players were instructed to take their standing position on the goal line. The trial was started by skating toward the opposite goal line and around the net in an anticlockwise fashion toward the sprint

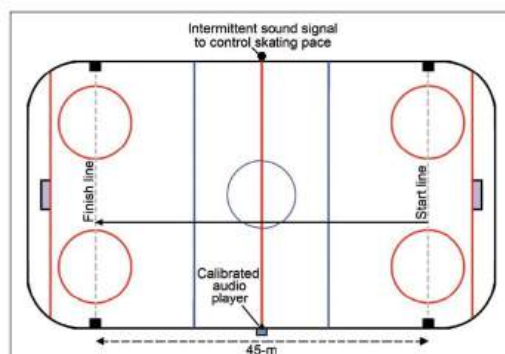


FIG. 1. Diagram of Skating Multistage Aerobic Test (SMAT) layout [21].

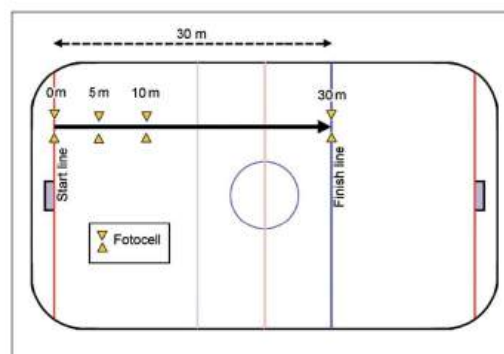


FIG. 2. Setup for the forward and backward acceleration (0-5-10-30 m) test.

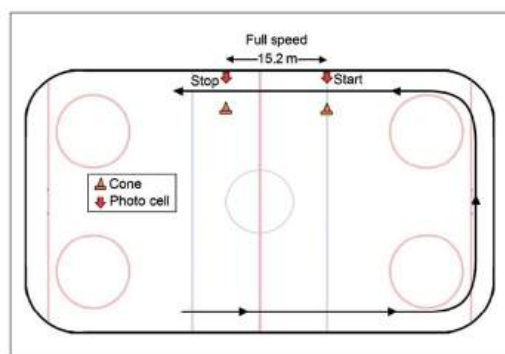


FIG. 3. Setup for the top speed test.

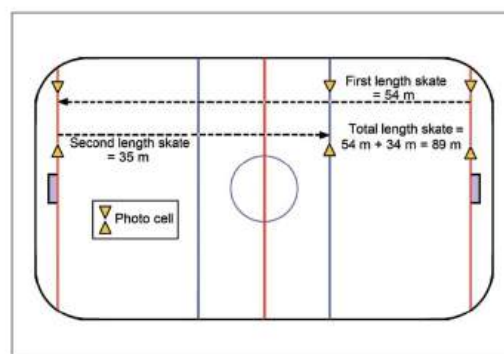


FIG. 4. Schematic of the 6 x (54 + 35)-m repeated sprint ability (RSA) test.

line. An automatic laser timing system (Microgate, Racetime 2, Bolzano, Italy) measured the maximum speed while skating. The starting and finishing sensors were set on the opposing blue lines 50 ft apart (Figure 3). Time to calculate top speed was measured to the nearest 0.01 s. One trial was performed crossing over to the right and the other crossing over to the left. Rest time between sprints was 6 minutes, during which the player performed stretching and very light activities only [13].

Repeated sprint ability (RSA) test [$6 \times (54 + 35) \text{ m}$]

This test involved sprinting an 89 m skating course – goal line to goal line (54 m) and back to the blue line (35 m) – as quickly as possible, and then returning to the starting line slowly. This was repeated 6 times, with 30 s recovery including the slow skating time required to return to the starting line. Figure 4 illustrates the course of skating of RSA. Subjects performed 5 minutes of individualized warm up before testing. All times were recorded by a set of photocells (Microgate Racetime 2, Bolzano, Italy). Fatigue index (FI) was calculated as follows [22]:

$$\text{FI} = (\text{mean sprint time} - \text{fastest sprint time}) / \text{fastest time} \times 100 (\%)$$

Statistical analyses

The descriptive statistics for all dependent variables were expressed by their means and standard deviations (mean $\pm$ SD). The reliability of all VJ tests were assessed using intraclass correlation analysis (ICC_{2,1}) with 95% confidence intervals ($\pm$ 95 CI). The coefficients obtained for CMJ, SJ, and DJ were 0.948 (0.794–0.981), 0.922 (0.809–0.967) and 0.913 (0.725–0.967), respectively. One-way analyses of variance were used to identify the statistical significance of the differences between vertical jumps. Tukey's post-hoc tests were employed to determine the level of significance when a significant F-ratio was found. Homogeneity of variance was examined by conducting Levene's test. The Pearson product-moment correlation coefficient was used to examine the relationship between off-ice and on-ice performance variables. The magnitude of the correlations was determined using the following criteria: trivial: 0 to 0.10, small: 0.11 to 0.3, moderate: 0.31 to 0.50, large: 0.51 to 0.70, very large: 0.71 to 0.90, and almost perfect: 0.91 to 1.00 [23]. Stepwise multiple regression was used to estimate on-ice performance variables by VJ (CMJ, SJ, DJ). All statistical analyses were conducted using Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA) and all graphics were plotted with the Sigma Plot version 12.0 and R software (R version 4.0.3, The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). A level of $p \leq 0.05$ was selected for statistical significance.

RESULTS

Physical and physiological characteristics of the subjects, and the speeds they attained during on-ice speed tests (forward and backward acceleration test and top speed test), are presented in Table 1. $\text{VO}_{2\text{max}}$ was estimated from SMAT as described. Both forward and backward

TABLE 1. Physical and physiological characteristics of the subjects and skating speeds during on-ice speed tests.

Variables	Mean $\pm$ SD
Physical characteristics	
Age (y)	18.7 $\pm$ 2.2
Height (cm)	179.2 $\pm$ 11.6
Weight (kg)	77.8 $\pm$ 10.2
BMI ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	24.6 $\pm$ 1.9
$\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	69.5 $\pm$ 4.7
Forward skating speed at distance zones	
0–5 m ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	18.91 $\pm$ 1.10
5–10 m ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	19.96 $\pm$ 0.91
10–30 m ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	30.84 $\pm$ 1.13
0–30 m ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	25.72 $\pm$ 0.92
Backward skating speed at distance zones	
0–5 m ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	15.98 $\pm$ 1.52
5–10 m ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	17.26 $\pm$ 1.42
10–30 m ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	25.79 $\pm$ 1.43
0–30 m ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	21.83 $\pm$ 1.30
Maximum skating speed attained at 50-ft top skating speed test	
Maximum speed ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	35.10 $\pm$ 1.67
Duration at maximal speed (s)	1.54 $\pm$ 0.07

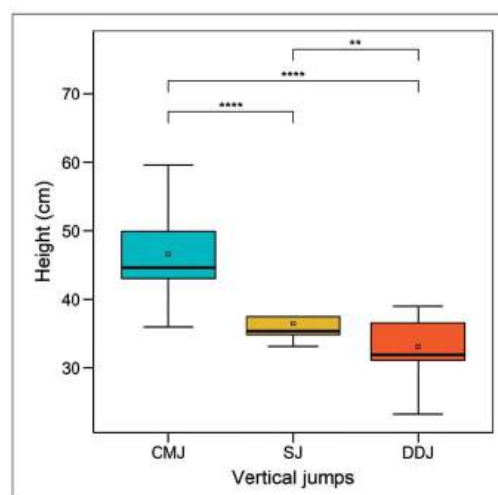


FIG. 5. Jump test performance of the subjects.

Note: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, **** $p < 0.0001$.

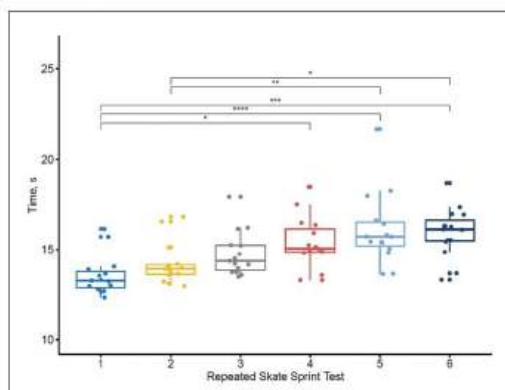


FIG. 6. Duration of sprint bouts in repeated sprint ability test [6 x (54+35)-m] on ice.

Note: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, **** $p < 0.0001$.

skating speeds were highest in the 10 to 30 m distance range and lowest in the 0 to 5 m range. Forward average skating speed was 17% to 21% faster than BASS at different photocell distance markings.

Performance of all the jump tests, expressed in centimetres, is presented graphically in Figure 5. Countermovement jump score was the highest, followed by SJ and DDJ.

Figure 6 shows the time required by the volunteers to complete each of the 6 skating sprints of the RSA test. The sprint time was shortest (13.19 ± 0.51 s) in the first bout, gradually increased thereafter, and was longest in the last (6th) bout (15.8 ± 1.97 s). The difference of the duration (and, thus speed) between any two consecutive bouts was non-significant. Statistical significance between sprint bouts and corresponding p-values are also presented in Figure 6.

Correlations between all the off-ice and on-ice performance of the subjects are presented in Figure 7. Countermovement jump shows a moderate correlation ($r = 0.68$, $p < 0.05$) with BASS but has no statistically significant correlation with any other ice skating fitness

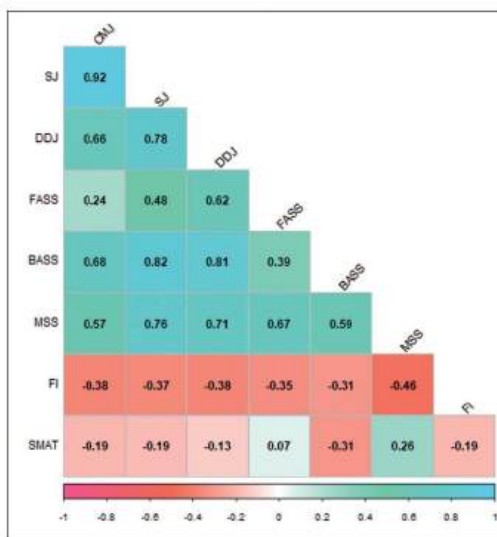


FIG. 7. Correlations between various performance variables in ice hockey players.

variables. Squat jump shows a strong correlation with both BASS ($r = 0.82$, $p < 0.01$) and MSS ($r = 0.76$, $p < 0.01$). Depth drop jump, on the other hand, shows moderate to strong correlations with all the skating speeds – FASS ($r = 0.62$, $p < 0.05$), BASS ($r = 0.81$, $p < 0.01$), and MSS ($r = 0.71$, $p < 0.01$). Performance decrement index (PDI) and fatigue index (FI), as calculated from RSA performance, are 11.07 ± 4.06 and 10.84 ± 3.47 , respectively. Neither PDI nor FI shows a significant relationship with any of the off- or on-ice variables.

Correlations between all the VJ performances are significant; especially the correlation between CMJ and SJ is very strong ($r = 0.92$, $p < 0.001$). No valid relationship ($r = 0.39$) between FASS and

TABLE 2. Regression equations to predict on-ice performance from vertical jump tests.

Equations	R	R ²	SEE	p-value
FASS 5 (km/h) = $-0.291 \text{ CMJ (cm)} + 0.513 \text{ SJ (cm)} + 13.883$	0.686	0.471	1.233	0.057
FASS 30 (km/h) = $0.128 \text{ DJ (cm)} + 21.599$	0.619	0.384	0.769	0.032
MSS (km/h) = $0.246 \text{ SJ (cm)} + 25.965$	0.760	0.577	1.106	0.004
BASS 10–30 (km/h) = $0.177 \text{ DJ (cm)} + 0.047 \text{ CMJ (cm)} + 17.600$	0.889	0.790	0.640	0.009
BASS 30 (km/h) = $0.129 \text{ SJ (cm)} + 16.527$	0.825	0.680	0.474	0.006

Note: FASS, forward average skating speed; BASS, backward average skating speed; MSS, maximum skating speed; R, multiple correlation coefficient; R², multiple R-Squared; SEE, standard error of estimate.

BASS was found. SMAT (or predicted $\text{VO}_{2\text{max}}$) was not found to be significantly correlated with any of the jump tests or with RSA, FASS, BASS, or MSS.

Based on the values obtained during VJ and on-ice tests, regression equations establishing the relationship between VJ and selected on-ice tests were determined by multiple regression analysis. Table 2 presents only those regression models for which the stochastic equation parameters are statistically significant. Regression analysis shows that CMJ and SJ are the best predictors for FASS over the first 5 m. Depth drop jump, on the other hand, predicts FASS over the distance of 30 m best. In the case of MSS, regression analysis reveals that SJ is an important predictor. Both DDJ and CMJ are the two valid indicators of BASS at the distance range of 10–30 m, whereas SJ can successfully predict backward skating performance (i.e., BASS) of the players over the distance of 30 m.

DISCUSSION

The aim of this study was to quantify the association mainly between VJ and ice skating performance in junior ice hockey players. The key finding of this study is that the VJ performance is a good indicator of ice skating speed of junior ice hockey players although each of the three VJ studied has a different magnitude of correlation with skating performance. The DDJ is significantly correlated with all skating speeds – forward, backward, and maximum. Squat jump performance can predict BASS and MSS, whereas CMJ is only significantly correlated with BASS. Another important finding is that the RSA cannot be predicted either from any of the VJ tests or from aerobic fitness alone.

The major purpose of this study was to determine the specific vertical jump test(s) which is/are most appropriate to predict on-ice performance of junior ice hockey players. Strong explosive power in the legs is one of the prerequisites for success in ice hockey players [19, 24, 25]. This is required to skate fast in all possible directions, quick acceleration and deceleration, change of direction, blocking opponent players, and hitting the puck with the hockey stick. Unlike many other team sports, jumping is not a very common activity in the sport of ice hockey. However, various jump tests are commonly used to measure strength and explosive power of leg muscles. Vertical jump tests are probably the most widely used jump tests to evaluate the effectiveness and progression of training, and selection of talents [10].

A strong correlation ($r = 0.92$) between CMJ and SJ, as observed in this study, is highly expected because many of the primary muscles involved in both the jumps are common. However, their differences cannot be ignored either. Knee extensor muscles have been indicated as the primary muscles involved in SJ [26, 27], whereas ankle planter flexors, in addition to knee extensors, are considered as the primary muscles for CMJ [27, 28]. The lateral gastrocnemius muscle has been shown to be one of the strongest predictors of all the VJ – CMJ, SJ, and DDJ [29]. Depth drop jump performance can be influenced by the jump heights (e.g., 20, 40, 60 cm) [30].

In this study it was found that VJ, especially DDJ, was correlated with all the skating speed performances, but not with RSA. Vertical jump provides a reliable measure of strength and explosive power of lower limb muscles, especially muscles associated with ankle, knee, and hip joints [31, 32]. A number of anthropometric, biomechanical, and physiological factors regulate VJ performance [33, 34]. Joint angle, velocity of muscle contraction, centre of mass height, air resistance, acceleration, and momentum are some of the biomechanical factors regulating VJ. Powerful contraction of muscles such as extensors, gluteus maximus, quadriceps, hamstrings, gastrocnemius, and soleus push the body against gravity by ground reaction during VJ [35, 36]. Good muscle flexibility, especially in males, can positively influence VJ by accommodating the imposed stress more easily and efficiently [33]. The leading physiological determinants of VJ measurement are muscle fibre composition, phosphagen storage, and concentration of some specific enzymes in the muscles [35, 36].

The SJ and DDJ, in the present study, were moderately to strongly correlated with forward and backward average skating speed and maximal skating speed. Although these jumps are biomechanically different from ice skating, they involve many of the same leg muscles and share a similar underlying basis of power generation [2]. A number of other studies [3, 4] have shown a strong correlation between squat jump and skating speed. However, the results of Behm *et al.* [37] did not find any significant relationship between squat jump and skating speed, probably because of use of only two-thirds of the rink for the speed test, which was not enough to build up maximum speed. In their study, Behm *et al.* [37] did not find any relationship between drop-jump (a form of DDJ) and skating speed, because the period of contact with the ground was too short. Skating during playing ice hockey involves longer contact times, and unlike the drop jump, greater emphasis on impulse. Depth drop jump in this study was strongly correlated with FASS, BASS, and MSP. Longer contact time upon landing may be one of the reasons for such significant correlations.

All the vertical jumps in this study show a poor relationship with RSA time (nonsignificant in all cases). Vertical jumps in the laboratory are largely dependent on the explosive power and strong leg muscles, whereas FI, an RSA indicator, is strongly dependent on both anaerobic and oxidative systems of the ice hockey players. However, significant correlations between VJ and RSA performance have been found by some researchers [38, 39]. Countermovement jump was found to be significantly correlated with RSA by Buchheit *et al.* [40]. Similarly, a positive correlation between squat jump and 10-m shuttle run sprint performance was found by Wisløff *et al.* [39]. SMAT performance is mainly determined by the capabilities of the aerobic metabolism and not much influenced by the explosive power of the leg muscles or efficiency of anaerobic metabolism. This may explain why the SMAT results are not correlated with VJ or RSA test results.

The investigated on-ice and off-ice skills are only a few of many determinants of the complex performance of a hockey player. One-time testing and reliability of the results are other limitations of the

Jump tests and ice skating performance in ice hockey

study. This study also did not focus on the playing position-specific experimental response of the players. This was due to time-limited organizational options of the research file. Although a number of studies, including EMG, revealed involvement of principal leg muscles in VJ, much of the information is still incomplete [27]. More specific laboratory and field studies are required that can reveal the role of leg muscles responsible for the remarkable correlation between off-ice and on-ice tests. Besides leg muscles, VJ requires co-ordinated activities of several other muscles in the trunk and arms. Future research should seek to reveal the role of these muscles in playing ice hockey, and appropriate laboratory and field tests that can predict on-ice performance of the players should be designed.

Practical applications

The DDJ test, using a 45-cm high jump box, is the most reliable predictor of all three types of ice skating speeds – FASS, BASS, and MSS. Squat jump and CMJ tests can also predict some of the ice

skating speeds. We recommend that CMJ, SJ, and DDJ tests can be used appropriately as off-ice tests on junior ice hockey players to predict their on-ice performance. The RSA test is commonly used to estimate anaerobic endurance of ice hockey players, but none of the VJ tests nor an endurance test like SMAT can be used to predict fatigue in ice hockey players. Backward average skating speed is about 18% slower than FASS, and this can help guide coaches to plan defence and attack phases of ice hockey matches. According to the findings of this study, the correlations between the test results may guide training plan design and follow-up in junior ice hockey players.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Nightingale SC, Miller S, Turner A. The usefulness and reliability of fitness testing protocols for ice hockey players: A literature review. *J Strength Cond Res.* 2013;27(6):1742–8.
- Bracko MR, George JD. Prediction of Ice Skating Performance with Off-Ice Testing in Women's Ice Hockey Players. *J Strength Cond Res.* 2001;15(1):116–22.
- Bracko MR, Fellingham GW. Prediction of ice skating performance with off-ice testing in youth hockey players. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(Supplement):172.
- Mascaro T, Seaver BL, Swanson L. Prediction of skating speed with off-ice testing in professional hockey players. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1992;15(2):92–8.
- Stastny P, Tufano JJ, Kregl J, Petr M, Blazek D, Steffl M, Roczniok R, Fiala M, Golas A, Zmijewski P. The role of visual feedback on power output during intermittent wingate testing in ice hockey players. *Sports.* 2018;6(2).
- Stanula A, Roczniok R, Maszczyk A, Pietraszewski P, Zajac A. The role of aerobic capacity in high-intensity intermittent efforts in ice-hockey. *Biol Sport.* 2014;31(3):193–5.
- Roczniok R, Stanula A, Gabrys T, Szmatlan-Gabrys U, Golas A, Stastny P. Physical fitness and performance of polish ice-hockey players competing at different sports levels. *J Hum Kinet.* 2016;50(2):201–8.
- Bouchard C, Taylor A, Simoneau J. Testing anaerobic power and capacity: Physiological testing of the high-performance athlete. Third. MacDougall J, Wenger H, Green H, editors. Champaign: Human Kinetics;1991. 175–221 p.
- Hermiston RT, Gratto J, Teno T. Three hockey skills tests as predictors of hockey playing ability. *Can J Appl Sport Sci.* 1979;4(1):95–7.
- Burr JF, Jamnik RK, Baker J, Macpherson A, Gledhill N, McGuire EJ. Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *J Strength Cond Res.* 2008;22(5):1535–43.
- Liebermann DG, Katz L. On the assessment of lower-limb muscular power capability. *Isokinet Exerc Sci.* 2003;11(2):87–94.
- Duthie GM. A framework for the physical development of elite rugby union players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2006;1(1):2–13.
- Runner AR, Lehnhard RA, Butterfield SA, Tu S, O'Neill T. Predictors of Speed Using Off-Ice Measures of College Hockey Players. *J Strength Cond Res.* 2016;30(6):1626–32.
- Glatthorn JF, Gouge S, Nussbaumer S, Stauffacher S, Impellizzeri FM, Maffiuletti NA. Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J Strength Cond Res.* 2011;25(2):556–60.
- Read MM, Cisar C. The influence of varied rest interval lengths on depth jump performance. *J Strength Cond Res.* 2001;15(3):279–83.
- Rodacki ALF, Fowler NE, Bennett SJ. Vertical jump coordination: Fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(1):105–16.
- Petrigna L, Karsten B, Marcolin G, Paoli A, D'Antona G, Palma A, Bianco A. A Review of Countermovement and Squat Jump Testing Methods in the Context of Public Health Examination in Adolescence: Reliability and Feasibility of Current Testing Procedures. *Front Physiol.* 2019;10(1384).
- Bosco C, Luhtanen P, Komi P V. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1983;50(2):273–82.
- Burr JF, Jamnik VK, Dogra S, Gledhill N. Evaluation of jump protocols to assess leg power and predict hockey playing potential. *J Strength Cond Res.* 2007;21(4):1139–45.
- Váczai M, Tollár J, Meszler B, Juhász I, Karsai I. Short-term high intensity plyometric training program improves strength, power and agility in male soccer players. *J Hum Kinet.* 2013;36(1):17–26.
- Leone M, Léger LA, Larivière G, Comtois AS. An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players. *Int J Sports Med.* 2007;28(10):823–8.
- Glaister M, Howatson G, Jpattison OR, McInnes G. The Reliability and validity of fatigue measures during multiple-sprint work: A review revisited. *J Strength Cond Res.* 2008;22(5):1597–601.
- Hopkins WG. A scale of magnitudes for effect statistics. *Sportscience.* 2002;5:1–7.
- Janot JM, Beltz NM, Dalleck LD. Multiple off-ice performance variables predict on-ice skating performance in male and female division III ice hockey players. *J Sport Sci Med.* 2015;14(3):522–9.
- Pal'ov R, Pivovarniček P, Jančoková L. Relationship between on-ice skating performance and off-ice running performance tests of young hockey players. *Sport Sci.* 2016;9(1):37–41.
- Bradley PS, Olsen PD, Portas MD. The

- effect of static, ballistic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on vertical jump performance. *J Strength Cond Res.* 2007;21(1):223–6.
27. Charoenpanich N, Boonsinsukh R, Sirisup S, Saengsirisuwan V. Principal component analysis identifies major muscles recruited during elite vertical jump. *ScienceAsia.* 2013;39(3):257–64.
 28. Shinkle J, Nesser TW, Demchak TJ, McMannus DM. Effect of Core Strength on the Measure of Power in the Extremities. *J Strength Cond Res.* 2012;26(2):373–80.
 29. Earp JE, Kraemer WJ, Newton RU, Comstock BA, Fragala MS, Dunn-Lewis C, Solomon-Hill G, Penwell ZR, Powell MD, Volek JS, Denegar CR, Häkkinen K, Maresh CM. Lower-body muscle structure and its role in jump performance during squat, countermovement, and depth drop jumps. *J Strength Cond Res.* 2010 Mar;24(3):722–9.
 30. Walsh M, Arampatzis A, Schade F, Brüggemann GP. The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *J Strength Cond Res.* 2004;18(3).
 31. Ostojić SM, Stojanović M, Ahmetović Z. Vertical jump as a tool in assessment of muscular power and anaerobic performance. Vol. 63, *Medicinski pregled.* 2010. p. 371–5.
 32. Lees A, Vanrenterghem J, De Clercq D. The maximal and submaximal vertical jump: Implications for strength and conditioning. *J Strength Cond Res.* 2004 Nov;18(4):787–91.
 33. Saiyed MZ, Pais V, Shaikh A, Shemjaz AM, Pais S. Relationship of limb girth, segmental limb length, hamstring flexibility with vertical jump in male sports players. *Health Sci J.* 2015;7(4):11–4.
 34. Abidin NZ, Adam MB. Prediction of vertical jump height from anthropometric factors in male and female martial arts athletes. *Malaysian J Med Sci.* 2013;20(1):39–45.
 35. Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM. The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Natl Strength Cond Assoc J.* 1991;13(3):38–9.
 36. Reeves RA, Hicks OD, Navalta JW. The relationship between upper arm anthropometrical measures and vertical jump displacement. *Int J Exerc Sci.* 2008;1(1):22–9.
 37. Behm DG, Wahl MJ, Button DC, Power KE, Anderson KG. Relationship between hockey skating speed and selected performance measures. *J Strength Cond Res.* 2005;19(2):326–31.
 38. Okuno NM, Tricoli V, Silva SBC, Bertuzzi R, Moreira A, Kiss MAPDM. Postactivation potentiation on repeated-sprint ability in elite handball players. *J Strength Cond Res.* 2013;27(3).
 39. Wisløff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med.* 2004;
 40. Buchheit M, Spencer M, Ahmaidi S. Reliability, usefulness, and validity of a repeated sprint and jump ability test. *Int J Sports Physiol Perform.* 2010;5(1):3–17.

Article

Effect of Rest Period Duration between Sets of Repeated Sprint Skating Ability Test on the Skating Ability of Ice Hockey Players

Jakub Baron ¹, Subir Gupta ², Anna Bieniec ¹, Grzegorz Klich ³, Tomasz Gabrys ⁴, Andrzej Szymon Swinarew ⁵, Karel Svatora ^{4,6} and Arkadiusz Stanula ^{1,*} 

¹ Institute of Sport Sciences, Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, 40-065 Katowice, Poland; j.baron@awf.katowice.pl (J.B.); a.bieniec@awf.katowice.pl (A.B.)

² Faculty of Medical Sciences, University of West Indies, Cave Hill 11000, Barbados; subir.gupta@cavehill.uwi.edu

³ Zagłębie Sosnowiec Hockey Club, 41-200 Sosnowiec, Poland; g.klich@onet.pl

⁴ Department of Physical Education and Sport, Faculty of Education, University of West Bohemia, 30100 Pilsen, Czech Republic; tomaszek1960@o2.pl (T.G.); svatorak@icloud.com (K.S.)

⁵ Faculty of Science and Technology, University of Silesia in Katowice, 41-500 Chorzów, Poland; andrzej.swinarew@us.edu.pl

⁶ Department of Kinanthropology and Humanities, Faculty of Physical Education and Sport, Charles University, 16252 Prague, Czech Republic

* Correspondence: a.stanula@awf.katowice.pl; Tel.: +48-207-53-33



Citation: Baron, J.; Gupta, S.; Bieniec, A.; Klich, G.; Gabrys, T.; Swinarew, A.S.; Svatora, K.; Stanula, A. Effect of Rest Period Duration between Sets of Repeated Sprint Skating Ability Test on the Skating Ability of Ice Hockey Players. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 10591. <https://doi.org/10.3390/ijerph182010591>

Academic Editors: Antonio Sousa and Paul B. Tchounwou

Received: 13 September 2021

Accepted: 7 October 2021

Published: 9 October 2021

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



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

Abstract: The aim of this study was to determine the effects of two different rest periods, 2 min and 3 min, between consecutive sets of a repeated sprint skating ability (RSSA) test, on the skating ability of ice hockey players. Two RSSA tests, RSSA-2 and RSSA-3, were assessed on 24 ice hockey players. In RSSA-2, six sets of 3 × 80 m sprint skating, with 2 min passive recovery between two consecutive sets was allowed. In RSSA-3, the recovery period between the sets was 3 min. Average speed, average heart rate (HR_{aver}), peak heart rate (HR_{peak}), blood lactate concentration ([BLa]), and rate of perceived exertion (RPE) were measured in both RSSA-2 and RSSA-3 tests. In all the sets, except set 1, the average speed of the subjects was significantly ($p < 0.05$) higher in RSSA-3 than the respective set in RSSA-2. Average HR and RPE were higher in RSSA-2 than RSSA-3 in most of the sets. For any given set, no difference in HR_{peak} was noted between RSSA-2 and RSSA-3. Post-sprint (Set 6) [BLa] was significantly ($p < 0.05$) higher in RSSA-3 than RSSA-2. This study concludes that the 3 min rest period is more beneficial than the 2 min rest period, for (1) increasing skating speed and (2) reducing overall cardiac workload and perceived fatigue.

Keywords: average speed; blood lactate concentration; rate of perceived exertion; speed decrement; average heart rate; peak heart rate

1. Introduction

Ice hockey is a high-intensity intermittent team game, characterized by rapid changes in skating speed and direction, and frequent high-impact body contact. The actual time of play of ice hockey is 60 minutes, which is divided in three 20 minute periods. However, total time of match play often extends over 3 hours, including two rest intervals [1,2]. Ice hockey players are substituted frequently to keep the speed of the game very fast [3]. The effective or actual time an ice hockey player plays averages 15 to 24 min, which is much shorter than players of most other team sports [3]. Players in a typical ice hockey match alternate at nearly regular intervals, called a “shift”. The duration of each shift usually varies from 30 to 80 s (average 45 s) with 2 to 5 min of rest between shifts [3].

In the game of ice hockey, sprint skating performed is frequently interspersed with brief recovery intervals. Repeated sprint skating leads to fatigue that does not allow the player to sustain sprint. The ability to produce power quickly during brief intervals determines the successful performance of repeated sprints by the players. Quicker regeneration

of energy between bouts of sprint skating during a match play gives a hockey player an edge over his/her opponent [4–6].

A number of repeated sprint ability (RSA) tests have been designed for players of team sports, depending on the demands of an intense period of competitive match play. Fatigue index, performance decrement index or speed decrement are often used to express the drop-off in performance in an RSA test [7]. In spite of an exponential increase in interest, the physiological mechanism responsible for drop-off performance in RSA-test is unclear [8]. However, RSA performance can help in implementing appropriate training, if required, and thus improve match performance by delaying fatigue [8].

The purpose of quick and regular substitution of ice hockey players during a match play is to play the game faster and attack or defend the opponent players with bouts of faster movement. The duration of the rest period between the shifts of play is determined by the team coach based on the match strategy and also on the recovery of anaerobic energy that was utilized during the shift of play [9]. However, to the best of our knowledge, no such study was conducted that determined the effect of the rest period duration between shifts of play or in an appropriately designed RSSA test. As 2 to 5 min rest periods are commonly used between shifts of play in hockey match play, our effort in this study was to compare the effects of two different durations, 2 min and 3 min between the bouts of RSSA tests, on the performance and psychophysiological response of the ice hockey players. This study attempted to mimic a few movement patterns and rest periods of ice hockey match play with a repeated sprint skating ability (RSSA) protocol. The major objective of this study was to determine the effects of two different durations of rest period (passive recovery), 2 min and 3 min, between two consecutive sets of RSSA tests. The effects of rest period duration on performance were determined by analysing average skating speed, speed decrement (S_{dec}), heart rate (HR), blood lactate concentration ([BLa]), and rate of perceived exertion (RPE) at relevant times of the RSSA tests. It is hypothesized that the 3 min rest period between the sets of the RSSA (i.e., RSSA-3) test is advantageous over the 2 min rest period between the sets (i.e., RSSA-2), for (a) increasing the average skating speed and [BLa] but without rise in and drop-off performance (i.e., S_{dec}) and imposing excess workload on the heart and (b) reducing perceived exertion.

2. Materials and Methods

2.1. Subjects

Twenty-four professional outfield ice hockey players (age: 22.65 ± 4.77 years, ranging from 17 to 34 years of age; height: 181.3 ± 4.1 cm; weight: 81.5 ± 7.2 kg), from a top division club in southern Poland, served as subjects. They had 5 to 13 years of experience of playing competitive ice hockey.

2.2. Main Test Procedures

2.2.1. Study Design

The study was conducted in the pre-season of the year 2020–2021. During the off-season, prior to the pre-season, all the players were engaged in a periodized strength and conditioning program. The whole study was conducted over 4 non-consecutive days. On day 1, height, body weight, and body composition of the subjects were determined. Skating multistage aerobic test (SMAT), for the measurement of maximum heart rate (HR_{max}) and VO_{2max} , was conducted on day 2. Repeated sprint skating ability tests, using two different durations of rest period (i.e., RSSA-2, using 2 min rest period, and RSSA-3, using 3 min rest period) were determined on days 3 and 4, in a randomized order. Experiments on days 2, 3, and 4 were conducted under similar experimental condition and at the same time of the day (10 a.m. to 1 p.m. and 6 p.m. to 9 p.m.). Day 3 was separated from day 2 by 4 days in all the subjects. Subjects were instructed to maintain normal diet and fluid intake and to abstain from heavy physical activity 24 h before experiment. The experimental protocol and potential risks involved in the study were described to the subjects before

giving written informed consent. The study was approved by the Ethics Committee of the Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice (approval number: 8/2018).

2.2.2. Measurement of Body Composition

Body weight and height, total muscle mass, fat mass, and total body water were measured by body composition analyzer (InBody170, Biospace, Seoul, Korea). This is a non-invasive device that uses bioelectrical impedance analysis (BIA) method by using multi-frequencies and eight-point tactile electrodes to measure body composition.

Skating Multistage Aerobic Test (SMAT) for the Measurement of Maximum Heart Rate and Prediction of VO_{2max}

This on-ice test for the prediction of VO_{2max} was designed by Leone et al (2007) [10]. This test was conducted on a 45 m course defined with markers at both extremities of the indoor ice hockey rink. The subject skated, holding the hockey stick with a preferred hand, from one end to the other with a predefined speed and then the speed was gradually increased until he was unable to maintain it any more. The pace was dictated by audible signals emitted by a calibrated audio player. The initial skating speed was set at $3.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, which was increased stepwise by $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. A 30 s rest period was allowed before beginning the next stage. No further rise of HR at the most exhaustive stage of the test indicated attainment of HR_{max} in the subject [11]. VO_{2max} was estimated from the table based on the formula [10]:

$$VO_{2max} = 18.07 \times (\text{maximum velocity in } \text{m} \cdot \text{s}^{-1}) - 35.596 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \quad (1)$$

Warm-up before RSSA-2 and RSSA-3 Tests

The warm-up procedure on each day of the RSSA tests was similar. The total duration of the warm-up was 20 min, which consisted of 15 min and 5 min of off-ice and on-ice warm-ups, respectively, separated by about 20 min passive break to put on hockey gear. The off-ice warm-up was done with the use of the RAMP (raise-activate-mobilise-potentiate) protocol [12]. The on-ice warm up consisted an alternating interplay of fast and slow skating for preparing for the RSSA-2 and RSSA-3 tests.

Repeated Sprint Skating Ability Test

This test was originally designed by Hülka et al. [13], based on the work rate profiles e.g., movement pattern and duration of each sprint of the players found during match play. In this test, the subjects were required to perform 6 sets of $3 \times 80\text{-m}$ sprint trials. Subjects abstained from heavy training during the last 24 h before the RSSA test. Each set of sprint trials consisted of three repetitions of 80 m sprints, where two consecutive repetitions were spaced by 30 s of passive recovery period. Figure 1a illustrates the direction of skating movement of each repetition of RSSA-2 and RSSA-3 tests. In each of the repetitions in a set, a player has to skate forward and backward, makes a stoppage, and makes a sharp turn at some stage of the 80 m total distance. Each sprint consists of 18 m of skating forward straight from the goal line, stopping at blue line (2-m from barrier), followed by skating backward 22 m on the goal line, then skating forward 22 m and finished by sharp right on the blue line and the last 18 m skating forward to finish at the goal line. The subject has to go back at the starting point by skating (gliding) slowly. The total recovery time between two sprints, i.e., the time spent from the end of one sprint to the beginning of the next is 30 s (including the slow skating time from the end point of one sprint trial to the beginning of the next repetition).

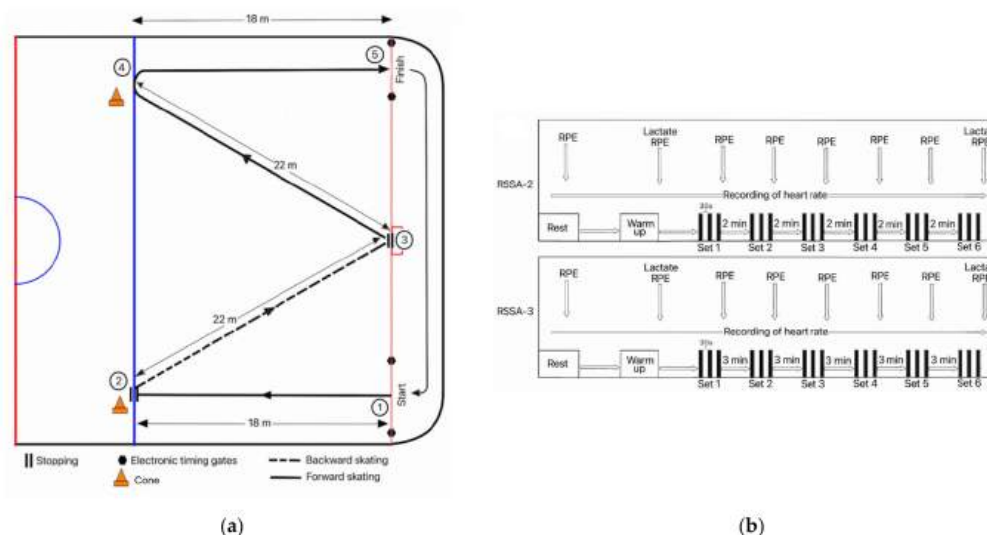


Figure 1. Study protocol. (a) Diagrammatic presentation of the direction and distance of skating in the repeated sprint skating ability test. (b) Schematic representation of the study protocol. This shows six sets of repeated sprint skating ability tests with two different passive rest period durations. (1) RSSA-2: Rest period of 2 min and (2) RSSA-3: Rest period of 3 min. Down arrows indicate time for collection of blood samples and recording of RPE. Heart rate was recorded continuously from rest until the end of the RSSA test.

The sprint time was measured by using photocell automatic laser timing system (Microgate, Racetime 2, Bolzano, Italy). Recovery time was measured by using a hand stopwatch. Based on the rest period (bench time) between two sets, the subjects performed two types of RSSA test (RSSA-2 and RSSA-3), separated by 5 days, in a randomized order. The overall study protocol has been presented schematically in Figure 1b.

RSSA-2: In this test, the rest period or bench time between two sets was 2 min.

RSSA-3: The rest period between two consecutive sets was 3 min.

Speed Decrement (S_{dec})

Speed decrement for any given set of RSSA-2 and RSSA-3 tests was calculated by using the following formula [14]:

$$S_{dec} (\%) = [(S1 + S2 + S3) / (3 \times S_{best}) - 1] \times 100 \quad (2)$$

where S1 to S3 are times of 3 sprint repetitions in a set and S_{best} is the best sprint time of the given set.

Recording of Heart Rate

Heart rate was recorded continuously by heart rate telemeter Polar Team 2, during the whole period of the SMAT, at an interval of 2 s. In the cases of the RSSA-2 and RSSA-3 tests, HR was recorded at every 2 s, from the beginning of the warm-up till the end of the last (6th) set. The highest HR attained during a set of RSSA-2 and RSSA-3 tests was noted as the peak HR (HR_{peak}) and the lowest HR recorded was noted as the minimum HR (HR_{min}) of the subject. The minimum HR was noted in order to examine the extent of resetting of the cardiovascular system and recovery before the next set of the RSSA test begins. The average or mean HR (HR_{aver}) was calculated from the recorded HR during the entire period of a set (i.e., from the beginning of repetition 1 to the end of repetition 3).

Measurement of Blood Lactate Concentration

Finger-prick capillary blood samples were collected by health professionals for the measurement of blood lactate by automated lactate analyzer (Biosen C-Line, EKF Diagnostics, UK). This determines the blood lactate by enzymatic-amperometric method using chip-sensor technology. Blood samples were collected within 1 min after the end of on-ice warm up and 3 min following the end of the last (6th) set of RSSA-2 and RSSA-3 tests. Precautions were taken to avoid possible dilution of the blood sample by tissue fluid and perspiration. Blood samples were analyzed for [BLa] within 6 h of blood withdrawal.

Rate of Perceived Exertion

The RPE was determined by using the Borg's CR-10 scale [15]. The subjects indicated their RPE at rest, immediately after warm-up, and after the end of each set of RSSA-2 and RSSA-3 tests.

2.3. Statistical Analyses

Mean and standard deviation (SD) were used to represent the average and the typical spread of values of all measurable variables. The Normal Gaussian distribution of the data was verified by the Shapiro–Wilk test. Homoscedasticity and sphericity of data were tested by Levene's and Mauchly's tests, respectively. A two-way analysis of variance with repeated measures and Tukey's HSD (honestly significant difference) post hoc was used to investigate differences in variables. In relation to the results obtained on the basis of the Borg's CR-10 scale, Friedman's analysis of variance and Dunn's post hoc tests were used. The effect size (ES) of the intervention was calculated using Cohen's guidelines. Threshold values for ES were >0.2 (small), >0.6 (moderate), >1.2 (large), and >2.0 (very large) [16]. The relationship between HR_{aver} and RPE, and between average speed in the last set of RSSA and post-RSSA blood lactate, were determined with Pearson's product-moment correlation analysis. Statistical significance was set at $p \leq 0.05$. All statistical analyses were conducted using Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA).

3. Results

3.1. Physical and Physiological Characteristics

Age, height, body mass, body fat percentage, predicted VO_{2max} , and HR_{max} of the subjects are presented in Table 1. The VO_{2max} and HR_{max} were determined by SMAT.

Table 1. Physical characteristics of the volunteers ($n = 24$).

Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Body Fat (%)	Muscle Mass (kg)	Predicted VO_{2max} ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min$)	HR_{max} ($beats \cdot min^{-1}$)
22.65 ± 4.77	181.3 ± 4.2	81.5 ± 7.4	15.4 ± 3.9	39.5 ± 3.3	51.7 ± 4.2	197.2 ± 11.1

3.2. Repeated Sprint Skating Ability Test Performance

Figure 2 presents the average skating speed of the subjects, in both RSSA-2 and RSSA-3 tests. All the sets of RSSA-3 were performed faster than the corresponding set of RSSA-2 and the difference was significant ($p < 0.05$) from Set 2 through 6. Skating speed was fastest in the Set 1 of RSSA-2 and then declined in the subsequent sets although the difference ($p < 0.05$) was not significant between all the consecutive sets. In RSSA-3, on the other hand, no significant decline in skating speed was observed between any two given sets.

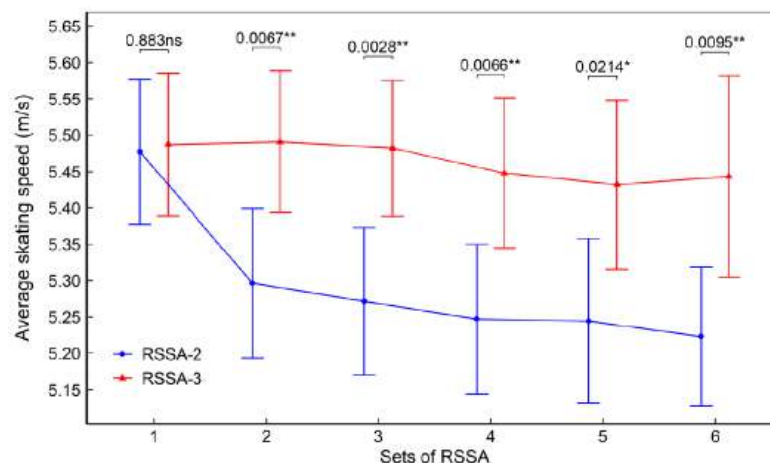


Figure 2. Average skating speed during RSSA-2 and RSSA-3 tests (ns—non-significant, ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$).

3.3. Speed Decrement

Speed decrement (%) of the subjects, both in RSSA-2 and RSSA-3, has been presented in Figure 3. The S_{dec} is higher in RSSA-2 than RSSA-3 although no significant difference was noted between the two.

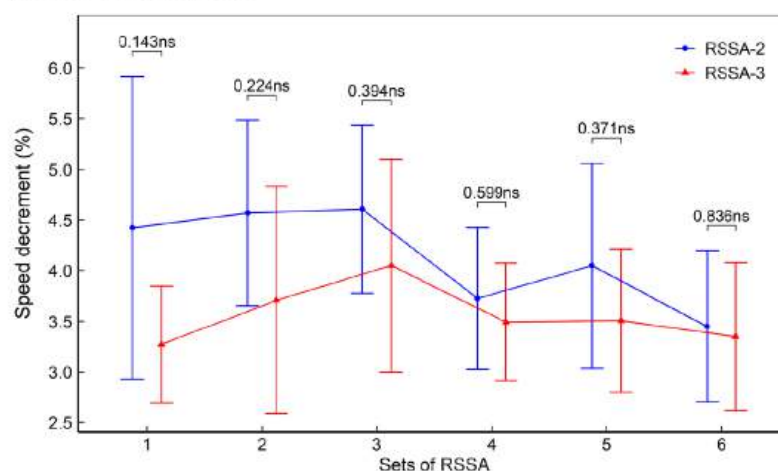


Figure 3. Speed decrement during RSSA-2 and RSSA-3 tests (ns—non-significant).

3.4. Heart Rate Response

Average-, minimum-, and peak HR (HR_{peak}) of the subjects during RSSA-2 and RSSA-3 tests are presented in Figure 4. In the RSSA-2 test, HR_{aver} of the subjects varied from 156.4 ± 10.4 beats/min ($80.3 \pm 5.1\%$ of HR_{max}) in Set 1 to 172.3 ± 6.8 beats/min ($88.7 \pm 3.6\%$ of HR_{max}) in Set 6, whereas in RSSA-3, the respective values are 155.5 ± 8.1 and 166.7 ± 7 beats/min ($80.1 \pm 4.9\%$ and $86.0 \pm 3.8\%$ of HR_{max}). Average HR is almost similar in Set 1 of RSSA-2 and RSSA-3, but higher in rest of the sets of RSSA-2 than the

corresponding set of RSSA-3, although significant difference ($p < 0.05$) was noted in Sets 3, 4, 5, and 6 only.

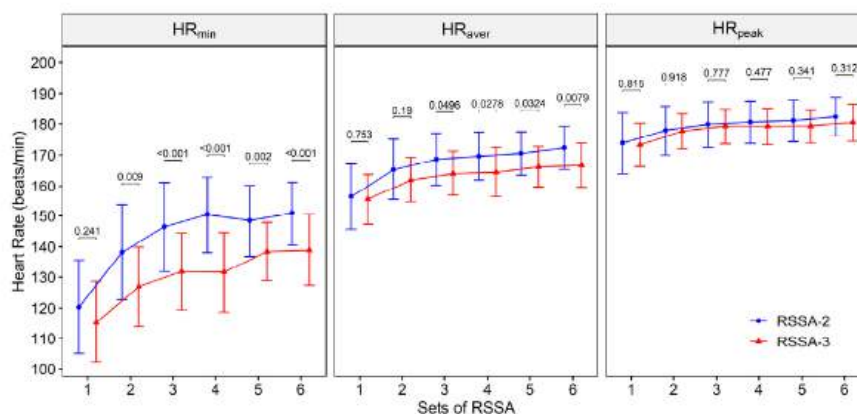


Figure 4. Heart rate response during RSSA-2 and RSSA-3 tests. P values between corresponding sets of RSSA-2 and RSSA-3 have been indicated above upper bars of 95% CI.

Like HR_{aver} , a gradual increase in HR_{min} and HR_{peak} was noted in both RSSA-2 and RSSA-3 tests. Minimum HR of the subjects, attained just before the beginning of each set, was significantly higher in RSSA-2 than the corresponding HR_{min} in RSSA-3, excepting in Set 1. Peak HR, on the other hand, is similar in both RSSA-2 and RSSA-3 and reaches nearly plateau after Set 2, and no significant difference was observed between the two. The lowest and the highest HR_{peak} in RSSA-2 were 173.9 ± 10.5 beats/min or $89.3 \pm 5.0\%$ of HR_{max} (in Set 1) and 182.4 ± 6.3 beats/min or $93.8 \pm 3.6\%$ of HR_{max} (in Set 6) respectively. Similarly, the lowest- and the highest HR_{peak} attained in RSSA-3 were 173.3 ± 6.8 beats/min or $89.1 \pm 3.6\%$ (in Set 1) and 180.5 ± 5.9 beats/min or $92.8 \pm 3.5\%$ HR_{max} , respectively.

3.5. Rate of Perceived Exertion

Figure 5 shows the RPE recorded after each set of RSSA-2 and RSSA-3 tests. A gradual increase in the RPE was found in both RSSA-2 and RSSA-3. The RPE was found significantly higher in RSSA-2 than the corresponding set of RSSA-3, except in set 6.

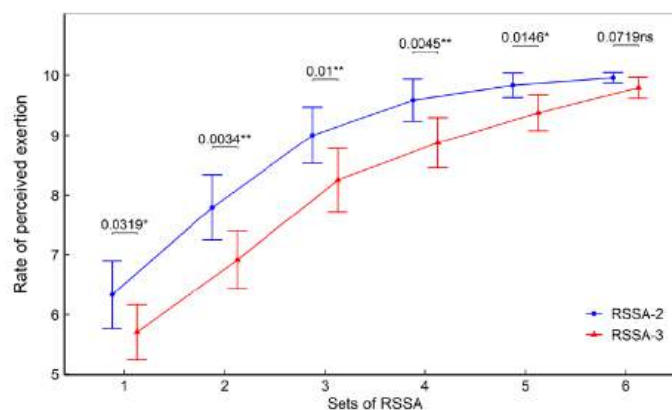


Figure 5. Rate of perceived exertion in RSSA-2 and RSSA-3 tests (** $p < 0.01$; * $p < 0.05$, ns—non-significant).

3.6. Blood Lactate

The [BLa] after warm-up and 3 min following the completion of the last set of both RSSA-2 and RSSA-3 tests are presented in Figure 6. Higher [BLa] after RSSA-3 (12.27 ± 2.75 mmol/L) was noticed in comparison to RSSA-2 (8.72 ± 2.59 mmol/L). No significant difference between warm up [BLa] before RSSA-2 (1.98 ± 0.68 mmol/L) and RSSA-3 (2.31 ± 1.01 mmol/L) was found.

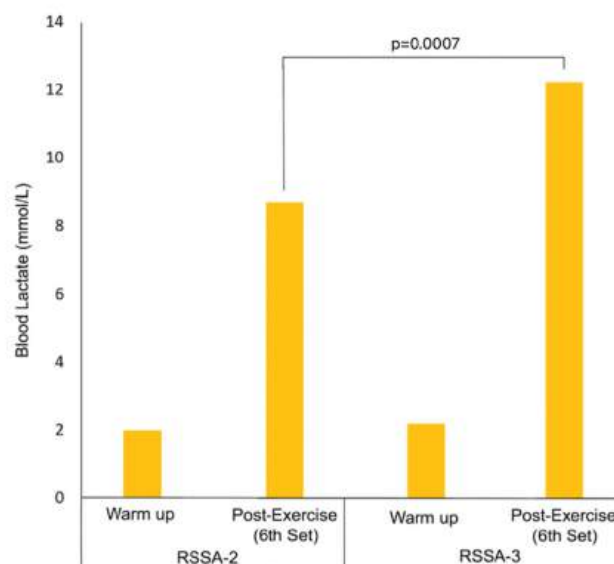


Figure 6. Blood lactate concentration after warmup and following the last set of RSSA-2 and RSSA-3 tests.

4. Discussion

The key findings of this investigation are that RSSA-3 causes the players to skate faster, reduces HR_{aver} and RPE, and increases lactate production, in comparison to RSSA-2 test.

Ice hockey players need to develop anaerobic endurance, power, and muscle strength to match the high-intensity bursts of energy output during games. The VO_{2max} of the players are very similar to the top Polish ice hockey players [5] but lower than elite ice hockey players [17]. A lean body composition is essential for optimization of their performance as well as to support fast skating, quick change of direction, balance, agility, and frequent high impact body contact [18,19]. Lower division players were reported to contain more body fat than higher division players of NCAA [4].

Results clearly indicate that one extra minute of rest period made a significant difference in average speed, HR, and perceptual responses in the players. An important fitness requirement of an ice hockey player is the ability to recover early and to reproduce performance in subsequent skating sprints [14]. Phosphocreatine is the most important and immediate source of energy for repeated sprint exercise. During a single short sprint, the contribution of the oxidative phosphorylation is limited (<10%) [20,21]. However, with the repetitions of the sprint, the level of aerobic ATP contribution increases progressively and may share up to 40% of the total energy supply in the final repetitions of a repetitive sprint exercise [20].

A large depletion of phosphocreatine occurs immediately after repeated sprint exercise, and longer than 5 min may be required for complete recovery of the phosphocreatine back to the pre-exercise level [22,23]. Thus, only partial restoration of phosphocreatine occurs during the recovery periods between the sets of RSSA-2 and RSSA-3 tests. Gradual

reduction of phosphocreatine at the beginning of subsequent sets of RSSA may be an important cause of sprint decrement in the players. Higher skating speed and lower S_{dec} in RSSA-3 possibly results from greater restoration of phosphocreatine due to longer rest period.

Blood lactate in ice hockey match play varies from 8.2 mmol/L to 13.7 mmol/L [24]. The [BLa] recorded in RSSA-2 and RSSA-3 tests of this study show similarities with the ice hockey match play. In RSSA-2, the [BLa] ranged from 5.58 to 14.99 mmol/L, with the mean value of 8.72 mmol/L. In RSSA-3, the [BLa] reached $12.27 (\pm 2.75)$ mmol/L at the end. The mean [BLa] in RSSA-3 was 12.27 ± 2.75 mmol/L that ranged from 6.16 to 17.71 mmol/L. Higher skating speed in RSSA-3 is probably responsible for higher [BLa] in spite of longer rest period in comparison to RSSA-2. Studies [25] have shown that the contribution of the anaerobic glycolysis in the initial sprint is high but inhibited progressively as sprints are repeated. The relationship between the anaerobic glycolytic rate and repeated sprint performance, however, is still unclear [14,25].

Ice hockey matches are played with HR_{aver} of about 85% of HR_{max} and the HR often exceeds 90% of HR_{max} [18,26,27]. A steady rise in HR with the progression of sets of repeated sprint tests confirms the involvement of a greater aerobic contribution during the latter sets. The maximal workload on the heart, indicated by HR_{peak} , in both RSSA-2 and RSSA-3, is similar as indicated by similar HR_{peak} although the players experienced higher overall cardiac workload in RSSA-2 than in RSSA-3. This is because of higher HR_{min} in RSSA-2. Shorter rest period in RSSA-2 causes the HR remains elevated. This may be caused by higher circulating catecholamines in the beginning of a set of RSSA-2 than the corresponding set of RSSA-3 [28]. A rise in HR before the start of any short-burst of high intensity exercise prepares the individual for faster circulatory adjustment and quicker release of energy. However, slower HR recovery, before the next set of bouts, is likely to reduce the cardiac reserve that leads to early fatigue [29,30].

The RPE is a valid marker of exercise intensity. This is also a recognized means of measuring training effects using standardized exercise test protocols [31]. The RPE enables an individual to evaluate how hard or easy a physical task is at any point of time by integrating afferent stimuli and feedforward mechanisms [32]. The RSSA-3 in this study induced significantly lower RPE in spite of higher average skating velocity when compared with RSSA-2. Lower HR_{aver} and longer rest period likely to be responsible for reduced perception of fatigue in RSSA-3, although HR_{peak} in both the protocols were similar.

The usual rest period between the shifts during ice hockey match play varies widely. In this study we tried to compare some differences in physiological and perceptual response between 2- and 3 min rest periods while performing an RSSA test that was based on some basic movement patterns of ice hockey players during real match play. Substitution of the players is likely to depend largely on the match strategy by the coach and partly on the physiological ability of the players. More studies are required that can evaluate the difference in physiological response between rest periods of other durations, e.g., between 2- and 4 min, 3- and 5 min, or 2- and 5 min. However, a 3 min rest period is advantageous over the 2 min rest duration where the coach has to decide the option of a rest period from 2- or 3 min. Thus, this study cannot conclude when the choice of rest period is not 2 min and 3 min but longer durations like 4 min and 5 min.

Only one withdrawal of blood for the measurement of [BLa] following sprint skating is a limitation of this study. Measurement of [BLa] after every set of RSSA tests could be more useful to determine the role of anaerobic glycolysis and removal pattern of lactate from blood. However, lactate measurement after every set of RSSA tests is meaningful when the rest period is preferably 4 min or longer because [BLa] reaches its peak value only after 3 min following the end of sprint events [33].

5. Conclusions

The results of the present study suggest the potential benefits of a 3 min rest period (RSSA-3) over a 2 min rest period (RSSA-2) for (1) increasing the average skating speed,

(2) reducing overall cardiac workload, and (3) reducing the perception of fatigue. This study may have practical importance to the ice hockey coaches for effective use of their players by considering duration of bench time between shifts of play.

Author Contributions: Conceptualization, J.B., S.G. and G.K.; methodology, J.B., S.G., A.B. and G.K.; validation, S.G., A.S., T.G. and G.K.; formal analysis, J.B., A.S. and A.S.S.; investigation, J.B., S.G., A.B. and K.S.; data curation, J.B., S.G. and A.S.S.; writing—original draft preparation, J.B., S.G. and A.S.; writing—review and editing, A.S., T.G., A.S.S. and K.S.; visualization, A.B., G.K. and T.G.; supervision, S.G., A.S., T.G. and K.S.; project administration, J.B., A.S., A.B. and G.K. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: Financed by the Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Katowice 40-065, Poland.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the University Bioethics Committee for Research at The Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice (No. 8/2018).

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

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

References

1. Cox, M.H.; Miles, D.S.; Verde, T.J.; Rhodes, E.C. Applied Physiology of Ice Hockey. *Sports Med.* **1995**, *19*, 184–201. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
2. Green, H.; Bishop, P.; Houston, M.; McKillop, R.; Norman, R.; Stothart, P. Time motion and physiological assessments of ice hockey performance. *J. Appl. Physiol.* **1976**, *40*, 159–163. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Brocherie, F.; Girard, O.; Millet, G.P. Updated analysis of changes in locomotor activities across periods in an international ice hockey game. *Biol. Sport* **2018**, *35*, 261–267. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
4. Peterson, B.J.; Fitzgerald, J.S.; Dietz, C.C.; Ziegler, K.S.; Ingraham, S.J.; Baker, S.E.; Snyder, E.M. Aerobic capacity is associated with improved repeated shift performance in hockey. *J. Strength Cond. Res.* **2015**, *29*, 1465–1472. [\[CrossRef\]](#)
5. Roczniok, R.; Stanula, A.; Gabrys, T.; Szmatlan-Gabrys, U.; Golas, A.; Stastny, P. Physical fitness and performance of polish ice-hockey players competing at different sports levels. *J. Hum. Kinet.* **2016**, *50*, 201–208. [\[CrossRef\]](#)
6. Stanula, A.; Roczniok, R.; Maszczyk, A.; Pietraszewski, P.; Zajac, A. The role of aerobic capacity in high-intensity intermittent efforts in ice-hockey. *Biol. Sport* **2014**, *31*, 193–195. [\[CrossRef\]](#)
7. Oliver, J.L. Is a fatigue index a worthwhile measure of repeated sprint ability? *J. Sci. Med. Sport* **2009**, *12*, 20–23. [\[CrossRef\]](#)
8. Glaister, M. Multiple sprint work: Physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med.* **2005**, *35*, 757–777. [\[CrossRef\]](#)
9. Douglas, A.; Johnston, K.; Baker, J.; Rotondi, M.A.; Jamnik, V.K.; Macpherson, A.K. On-Ice Measures of External Load in Relation to Match Outcome in Elite Female Ice Hockey. *Sports* **2019**, *7*, 173. [\[CrossRef\]](#)
10. Leone, M.; Léger, L.A.; Larivière, G.; Comtois, A.S. An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players. *Int. J. Sports Med.* **2007**, *28*, 823–828. [\[CrossRef\]](#)
11. Allisse, M.; Bui, H.T.; Léger, L.; Comtois, A.-S.; Leone, M. Updating the Skating Multistage Aerobic Test and Correction for Vo₂max Prediction Using a New Skating Economy Index in Elite Youth Ice Hockey Players. *J. Strength Cond. Res.* **2020**, *34*, 3182–3189. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
12. McGowan, C.J.; Pyne, D.B.; Thompson, K.G.; Rattray, B. Warm-Up Strategies for Sport and Exercise: Mechanisms and Applications. *Sports Med.* **2015**, *45*, 1523–1546. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. Hülka, K.; Bělka, J.; Cuberek, R.; Schneider, O. Reliability of specific on-ice repeated-sprint ability test for ice-hockey players. *Acta Gymnica* **2014**, *44*, 69–75. [\[CrossRef\]](#)
14. Girard, O.; Mendez-Villanueva, A.; Bishop, D. Repeated-sprint ability part I: Factors contributing to fatigue. *Sports Med.* **2011**, *41*, 673–694. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
15. Borg, G. Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand. J. Work. Environ. Health* **1990**, *16*, 55–58. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
16. Hopkins, W.G.; Marshall, S.W.; Batterham, A.M.; Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2009**, *41*, 3–13. [\[CrossRef\]](#)
17. Burr, J.F.; Jamnik, R.K.; Baker, J.; Macpherson, A.; Gledhill, N.; McGuire, E.J. Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *J. Strength Cond. Res.* **2008**, *22*, 1535–1543. [\[CrossRef\]](#)
18. Montgomery, D.L. Physiology of ice hockey. *Sports Med.* **1988**, *5*, 99–126. [\[CrossRef\]](#)
19. Twist, P.; Rhodes, T. Exercise physiology: A physiological analysis of ice hockey positions. *Natl. Strength Cond. Assoc. J.* **2008**, *15*, 44–46. [\[CrossRef\]](#)
20. McGawley, K.; Bishop, D. Anaerobic and aerobic contribution to two, 5 × 6-s repeated-sprint bouts. *Coach. Sport Sci. J.* **2008**, *3*, 52.

21. Parolin, M.L.; Chesley, A.; Matsos, M.P.; Spriet, L.L.; Jones, N.L.; Heigenhauser, G.J.F. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *Am. J. Physiol.-Endocrinol. Metab.* **1999**, *277*, E890–E900. [\[CrossRef\]](#)
22. Bogdanis, G.C.; Nevill, M.E.; Boobis, L.H.; Lakomy, H.K.; Nevill, A.M. Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *J. Physiol.* **1995**, *482*, 467–480. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
23. Tomlin, D.L.; Wenger, H.A. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med.* **2001**, *31*, 1–11. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Noonan, B.C. Intragame blood-lactate values during ice hockey and their relationships to commonly used hockey testing protocols. *J. Strength Cond. Res.* **2010**, *24*, 2290–2295. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
25. Gaitanos, G.C.; Williams, C.; Boobis, L.H.; Brooks, S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J. Appl. Physiol. (Bethesda Md. 1985)* **1993**, *75*, 712–719. [\[CrossRef\]](#)
26. Stanula, A.; Rocznio, R. Game intensity analysis of elite adolescent ice hockey players. *J. Hum. Kinet.* **2014**, *44*, 211–221. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
27. Stanula, A.; Gabrys, T.; Rocznio, R.; Szmatlan-Gabrys, U.; Ozimek, M.; Mostowik, A. Quantification of the demands during an ice-hockey game based on intensity zones determined from the incremental test outcomes. *J. Strength Cond. Res.* **2016**, *30*, 176–183. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
28. Eisenhofer, G.; Kopin, I.J.; Goldstein, D.S. Catecholamine metabolism: A contemporary view with implications for physiology and medicine. *Pharmacol. Rev.* **2004**, *56*, 331–349. [\[CrossRef\]](#)
29. McArdle, W.D.; Foglia, G.F.; Patti, A.V. Telemetered cardiac response to selected running events. *J. Appl. Physiol.* **1967**, *23*, 566–570. [\[CrossRef\]](#)
30. Le Meur, Y.; Buchheit, M.; Aubry, A.; Coutts, A.J.; Hausswirth, C. Assessing Overreaching With Heart-Rate Recovery: What Is the Minimal Exercise Intensity Required? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2016**, *12*, 569–573. [\[CrossRef\]](#)
31. Lamberts, R.P.; Swart, J.; Noakes, T.D.; Lambert, M.I. A novel submaximal cycle test to monitor fatigue and predict cycling performance. *Br. J. Sports Med.* **2011**, *45*, 797–804. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
32. Eston, R. Use of ratings of perceived exertion in sports. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2012**, *7*, 175–182. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
33. Gupta, S.; Stanula, A.; Goswami, A. Peak Blood Lactate Concentration and Its Arrival Time Following Different Track Running Events in Under-20 Male Track Athletes. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2021**, 1–9. [\[CrossRef\]](#)

(1.7) DOI: 10.5604/01.3001.0054.2947

FUNCTIONAL MOVEMENT SCREEN TEST AS A PREDICTOR OF JUMPING TEST PERFORMANCE AND ON-ICE SKATING SPRINTING IN ELITE-LEVEL ICE HOCKEY PLAYERS

Jakub Baron^{1*} ABDEF, Maciej Hołub¹ BCDE, Arkadiusz Stanula¹ ACDEG

Authors' contribution:

- A. Study design/planning
- B. Data collection/entry
- C. Data analysis/statistics
- D. Data interpretation
- E. Preparation of manuscript
- F. Literature analysis/search
- G. Funds collection

Received: 19.11.2023

Revised: 24.11.2023

Accepted: 6.12.2023

Published: 18.12.2023

¹ Institute of Sport Sciences, Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Katowice, Poland.

Keywords: team sports, ice hockey, on-ice tests, off-ice tests, motor skills, elite level

*Author for correspondence: j.baron@awf.katowice.pl

Abstract:

Background: The main purpose of this research was to establish selected motor skills measured in off-ice and on-ice conditions in ice hockey players using the functional movement screen test, vertical jumps, and on-ice sprints.

Material and Methods: The present study measured fifty-four ($n=54$) elite-level ice hockey players, competing in the top-level league in Poland (Polish Ice Hockey League, PHL) during the 2019/2020 season. Tests were divided into off-ice and on-ice protocols. The off-ice tests consisted of body composition measurements (including body weight, muscle mass, % of body fat), functional movement screening (FMS), measurements of jump height and power of the lower limbs, including countermovement jump (CMJ), squat jump (SJ), and drop jump (DJ). On-ice tests were divided into skating sprint testing measured in splits (0-10m, 10-30m), and total sprint between 0-30m. Furthermore, the maximal skating sprint was also measured between blue lines (15m). Results were correlated between FMS tests, vertical jump tests, and on-ice skating tests. The relationships between the variables were quantified using Pearson's product-moment correlation. The aim of this study was to highlight off-ice protocols, which can best predict on-ice parameters. Fitness profiling involved division into forwards and defenders and the calculations were also performed for a whole group of hockey players.

Results: The study showed a strong correlation between total points scored in FMS with the vertical jumps and skating sprints, especially in the defender group in CMJ jump height $r = 0.69$ ($p < 0.001$) and 30m skating sprint $r = 0.7$ ($p < 0.001$).

Conclusions: The study found positive correlations between FMS tests and off-ice and on-ice parameters, showing that the FMS test could be used to predict ice skating performance.

Introduction

The game of ice hockey is considered one of the most demanding and fastest team sports [1–5], with dynamic accelerations and decelerations, rapid changes of directions, and upper-body explosive efforts (body checking/shooting) occurring during the game [6–11]. Ice hockey is considered a sport of repeated sprints with the anaerobic nature of shifts (69% anaerobic glycolysis) and aerobic nature of recovery time (31% aerobic metabolism). Furthermore, the somatic profile of ice hockey players is important, for example, due to the permitted physical contact in the game and

the physiological capabilities of the players [11–13]. Hockey players must be fully prepared for the varied activities that occur during such an intense game as ice hockey, including anaerobic sprint performance, a strong aerobic endurance base, and high levels of muscular strength, power, and endurance [5,14,15]. Researchers argue that speed and acceleration are undoubtedly very important fitness components of successful ice hockey players, considering speed as the most desirable ability that is routinely evaluated [5,16,17]. Moreover, nowadays there is a trend among players and coaches related to exercises that develop movement patterns. Functional training focused on a given sport is aimed at preparing the musculoskeletal system and joint-ligament apparatus for training and competition loads [18,19]. Many practitioners and researchers suggest looking for the correct performance of movement patterns related to the players' predispositions to improve physical abilities, thus ensuring more efficiency in the game [17,20–22]. Functional movement screen test (FMS) is commonly used by practitioners to assess functional status [20,23,24]. When considering profiling players, in specific conditions (e.g. on the ice) it's very challenging and in practice difficult and time-consuming to measure the power of the lower limbs. Vertical jump (VJ) tests are commonly used by strength and conditioning practitioners and are also used in NHL drafts [5]. VJs are considered not only the gold standard but also an easy tool to assess players' potential with minimal effort and less time-consuming [5,25]. Nowadays it is known that functional training is crucial in athletic performance [21]. The essential role in athletic training is to achieve and maintain the proper balance of mobility and stability with accuracy and efficiency [26,27]. The correct relationship between muscle strength, balance, and flexibility as well as motor control is a critical aid in achieving high sports performance [28]. Therefore, the FMS is one of the tools that can help in the assessment with an individual approach. The correlations between body composition, functional movement patterns, power of the lower limbs, and skating on the ice were investigated to show the results, which allows strength and conditioning coaches and performance specialists to find appropriate ways for developing prehab exercises and performance training. It is also a fact that FMS is becoming more and more popular as a tool used by practitioners to improve sports performance but its popularity among researchers is also growing. It is said that FMS is becoming increasingly popular worldwide as a test to determine non-contact injury risk [26].

Material and Methods

Research design

In the first stage, players were tested for body composition. Functional movement screening (FMS) was also performed, including all seven trials. In the next part of the study, participants were tested for the power of the lower limbs in three different vertical jumps. Power was measured by countermovement jump with arm swinging, squat jump, and drop jump from the 45cm box. The last part of the study was to determine special motor skills under specific conditions; on ice, during 10 m and 30m sprints, and at maximal skating. The research was divided into two consecutive days. On the first day, during a morning session (10:00 – 12:00), athletes participated in the measurements of body composition, FMS, and testing of the power of the lower limbs. On day two between 12:00 – 14:00, on-ice testing was conducted. This allowed athletes to rest between testing for 24 hours.

Subjects

Eighty-nine senior (n=89) ice hockey players from four Polish clubs competing in the top-level Polish league participated in the study. Due to failure to complete testing, absence, or injury, 35 players were excluded from the project. Goalkeepers were excluded from the test. All of the participants (n=54) were players of the Polish Hockey League (PHL), organized by the Polish Ice Hockey Federation. Of the participants, 21 were defenders and 33 were forwards.

Age, body height, and body composition parameters (total weight, % of body fat, muscle mass) were collected. The age of the players ranged from 18 to 37 years with 10 to 20 years of hockey playing experience. Due to failure to complete testing, absence, or injury, 35 players were excluded from the project. Goalkeepers were excluded from the test.

Participants were characterized by good health status assessed by the team physician before they took part in the study. Athletes were in the middle of their in-season, participating in 4 to 6 training sessions per week that comprised technical, tactical, endurance, and strength training. Furthermore, because of in-season, athletes played around 2 matches per week, on Fridays and Sundays. None of the volunteers ate anything for the last 3 hours before testing, however, water was allowed to drink. Participants were instructed to maintain a normal diet and fluid intake and to abstain from training and any other heavy physical activity 24 hours before testing. Intake of coffee and any caffeine-containing beverages for the last 12 hours before the experiment was not allowed.

Anthropometric Measurements

Anthropometric measurements were taken using standard methods [29]: body height was measured to the nearest 0.1 cm using a Harpenden Portable Stadiometer (Holtain, UK), whereas body mass (0.1 kg) and percentage body fat (0.1%) were evaluated using a total body composition analyzer (TANITA BC-420S MA, Tokyo, Japan). Athletes were instructed to be barefoot, wear light clothes, and have a light breakfast 2 hours before the test. Data for each component are presented in Table 1.

Table 1. Means and standard deviations of the physical characteristics of subjects

Variable / Position	All (n = 54)	Forwards (n = 33)	Defender (n = 21)
Age (years)	26.57 ± 5.10	26.88 ± 4.84	26.00 ± 5.65
Height (cm)	182.30 ± 5.16	181.41 ± 5.71	183.89 ± 3.60
Weight (kg)	83.44 ± 6.43	82.69 ± 6.20	84.78 ± 6.78
MM (kg)	70.62 ± 4.90	69.79 ± 4.88	72.09 ± 4.72
BF (%)	11.01 ± 2.49	11.32 ± 2.18	10.45 ± 2.95

MM – muscle mass, BF – body fat

Functional movement screen

A functional movement screen is a test that assesses the quality of movement patterns and identifies asymmetry and compensations in the movements responsible for basic sport-specific skills [20,21,30,31]. FMS was conducted including all seven trials of the test designed by Cook, using the FMS kit [32].

The kit includes a base, which is a board with dimensions of 5 × 15 × 150 cm, tubes with a centimeter scale, and a rubber cord [32]. Players have to wear sport outfit (T-shirts, trunks, and sports shoes). The test is performed without warming up. Seven trials consisted of (1) deep squat, (2) hurdle step, (3) in-line lunge, (4) shoulder mobility exercises, (5) active leg raise, (6) push-up, and (7) rotary stability exercises [32,33]. Each test is evaluated on a four-point scale from 0 to 3 points, where 0 means pain during the test, 1 – inability to perform the test, 2 – performing movement with compensation, and 3 – correct movement. Movement patterns included in FMS assess the quality of movement, range of motion, balance, stability, and coordination [20,21,32]. Individual tests are carried out three times and recorded as the best result. The grade was downgraded in case of doubt.

Table 2. Means and standard deviations of the functional movement screen (FMS) results

FMS / Position	All (n = 54)	Forwards (n = 33)	Defenders (n = 21)
Total points	16.43 ± 1.81	16.41 ± 1.62	16.47 ± 2.17
trial.1	2.28 ± 0.50	2.26 ± 0.45	2.32 ± 0.58
trial.2	2.15 ± 0.50	2.15 ± 0.44	2.16 ± 0.60
trial.3	2.55 ± 0.67	2.53 ± 0.71	2.58 ± 0.61
trial.4	2.00 ± 0.78	2.03 ± 0.76	1.95 ± 0.85
trial.5	2.62 ± 0.63	2.68 ± 0.64	2.53 ± 0.61
trial.6	2.68 ± 0.51	2.68 ± 0.47	2.68 ± 0.58
trial.7	2.13 ± 0.56	2.06 ± 0.55	2.26 ± 0.56

Power of the lower limbs

The power of the lower limbs was evaluated using three common vertical jumps: vertical jump with arm swing (CMJ), vertical jump from a static position (squat jump), and vertical jump from the 45cm box (drop jump). The players performed regular pre-workout warm-up, instructed by a strength and conditioning coach, 10 minutes before the first protocol. All tests were conducted using OptoJump (Single Meter configuration of OptoJump Next, Microgate, Bolzano, Italy) optical data acquisition system, with time precision up to 0.001 of a second. The Optojump system

consists of two bars, one of which is a transmitter and the other a receiver. The LEDs in the transmitter are in constant contact with the LEDs in the receiving bar. The system detects the movement of the object between the bars, precisely calculating the contact time with the ground during the jump, and then sends the recorded data to the computer, which calculates such parameters as flight height and flight time. To calculate the power generated during the vertical jump, the Seyers formula was used [Power (W) = $60.7 \times \text{Height of stroke (cm)} + 45.3 \times \text{Body weight (kg)} - 2055$] [34]. Two jumps were measured for each protocol and the best result was selected.

Table 3. Means and standard deviations of the jump test results

Variable / Position	u.m.	All (n = 54)	Forwards (n = 33)	Defenders (n = 21)
Countermovement jump (CMJ)	Height [cm]	49.03 ± 6.84	49.17 ± 5.43	48.77 ± 9.00
	Power [W]	4725 ± 517.24	4702 ± 440.77	4765 ± 643.47
Squat jump (SJ)	Height [cm]	41.06 ± 6.03	41.13 ± 5.39	40.95 ± 7.20
	Power [W]	4244 ± 465.78	4218 ± 414.14	4290 ± 555.63
Drop jump (DJ)	Height [cm]	43.91 ± 6.61	43.83 ± 5.74	44.04 ± 8.11
	Power [W]	4414 ± 511.40	4378 ± 454.74	4478 ± 607.96

u.m. – unit of measure

On-ice skating sprint testing

The 30m skating sprint was performed on an ice rink using a set of RaceTime 2 photocells made by Microgate (Bolzano, Italy) on the playing field in a straight line, with measuring gates on 10 and 30 meters. The evaluation of the skating sprint was started on the coach's command. Sprint distance was measured for two splits: the first gate (0–10 m), and a flying speed recorded between 10 and 30 m. The test setup is shown in Figure 1. All participants were required to familiarize themselves with the test at least 2 days before its performance. A standardized off-ice warm-up, including jogging, dynamic stretching, muscle activation, and joint mobilization has been performed before testing. A standard on-ice warm-up, including slow and sprint skating, was also administered. The athletes performed two trials and the best results were used in the analysis. A 3-minute rest between each trial was allowed.

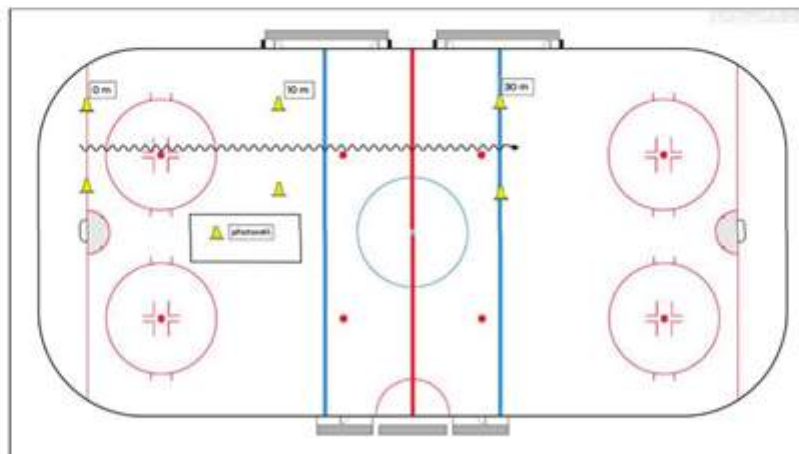


Figure 1. Setup for the on-ice skating sprint testing

Source: own study based on empirical research

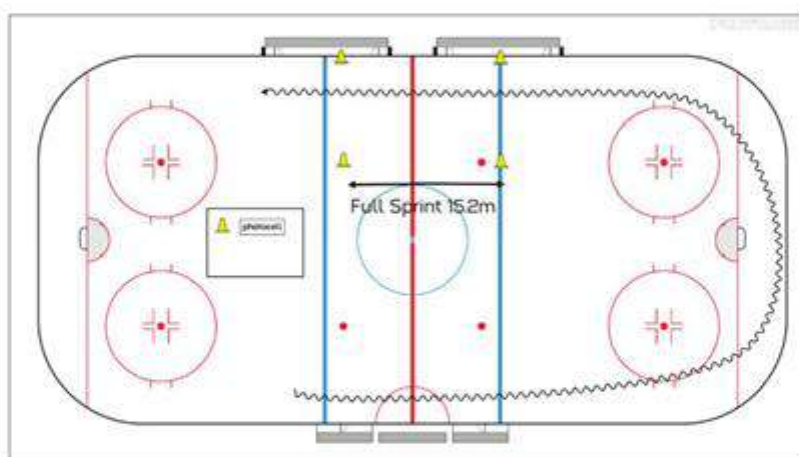
Table 4. Means and standard deviations of the velocity results in sprint tests

Variable / Position	All (n = 54)	Forwards (n = 33)	Defender (n = 21)
Split velocity 0-10 m [m/s]	5.89 ± 0.34	5.88 ± 0.38	5.90 ± 0.27
Split velocity 10-30 m [m/s]	8.28 ± 0.37	8.28 ± 0.35	8.29 ± 0.40
Velocity 0-30 m [m/s]	7.28 ± 0.28	7.27 ± 0.28	7.30 ± 0.30
Velocity 0-15 m max [m/s]	10.19 ± 0.51	10.19 ± 0.57	10.19 ± 0.41

Maximal skating sprint (15m)

Athletes started the test at the opposite goal line on their own command.

The goal was to skate along the boards and then around the curve behind the net, coming out of the curve. The task was to get the maximum forward speed between the two blue lines. Similar to the 30m sprint, time was measured using a photocell set (Racetime 2, Microgate, Bolzano, Italy). Players were familiarized with this test at least 2 days before collecting data. Participants performed two trials of this test and the best result was selected. A detailed testing setup is presented in Figure 2.

**Figure 2.** Setup for the maximal skating sprint test (15.2m)

Source: own study based on empirical research

Statistical Analysis

The descriptive statistics for all dependent variables were expressed by their means and standard deviations (mean ± SD). The normality of distribution was confirmed using the Shapiro–Wilk test. The Pearson correlation coefficient was used to examine the relationships between off-ice and on-ice performance variables. The magnitude of the correlations was determined using the following criteria: trivial: 0 to 0.10, small: 0.11 to 0.3, moderate: 0.31 to 0.50, large: 0.51 to 0.70, very large: 0.71 to 0.90, and almost perfect: 0.91 to 1.00 [35]. The level of statistical significance was set at $p \leq 0.05$. All statistical analyses were conducted using Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA).

Results

Total points attained from the FMS test showed a moderate correlation for almost all jumping trials. The countermovement jump score was the highest, followed by SJ and DJ. CMJ showed a large correlation with FMS total point score of ($r = 0.54$, $p < 0.001$) for trials measured in centimeters (cm) and moderate correlation ($r = 0.47$, $p < 0.001$) for

values calculated into watts. Furthermore, the SJ test showed a moderate correlation with FMS total point score of ($r = 0.48$, $p < 0.001$) considering trials measured in cm and also a moderate correlation when considering SJ in watts ($r = 0.42$, $p < 0.002$). Correlations between FMS and VJ tests are presented in Figure 3.

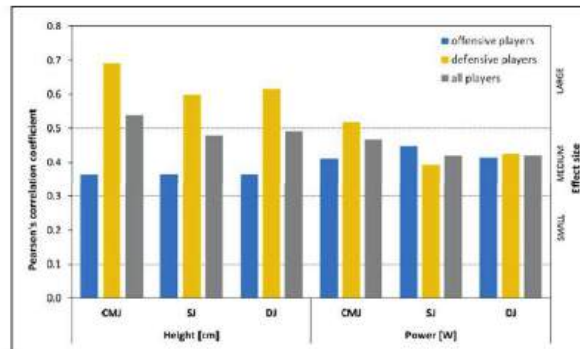
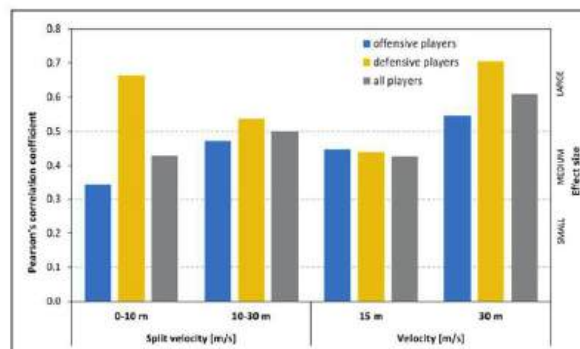


Figure 3. Pearson's correlations (r) of mean values of FMS points with height and power in countermovement jump, squat jump, and drop jump in three groups

Skating sprint at 0-10m and FMS total points showed a moderate negative correlation ($r = -0.43$, $p < 0.001$). Split velocity developed at the distance of 10-30m showed also moderate correlation ($r = -0.37$, $p < 0.06$). Velocity at the distance of 20m between 10-30m also showed a moderate correlation ($r = 0.50$, $p < 0.001$). Velocity at the total distance covered by the athlete showed a large negative correlation ($r = -0.60$, $p < 0.001$). FMS total score was significantly moderately correlated with the results of the maximal skating sprint test ($r = -0.42$, $p < 0.01$).

Results of FMS test trials were also correlated with those of the jump trials and skating testing according to playing position. Calculations showed that results achieved by defenders in the VJ tests measured in cm were also largely correlated (CMJ $r = 0.69$, $p < 0.002$, SJ $r = 0.60$, $p < 0.007$, and DJ $r = 0.62$, $p < 0.005$). Detailed data divided into defenders and forwards including VJ-FMS test correlation are presented in Figure 3. For skating measurements with regards to the position, results showed a large correlation for 0-10m split ($r = -0.66$, $p < 0.002$) for defenders and a moderate correlation for forwards ($r = -0.34$, $p < 0.46$) with FMS total point. Split between 10-30m shows negative large correlation ($r = -0.54$, $p < 0.018$). At a distance of 30m, defenders revealed a large correlation ($r = 0.7$, $p < 0.001$). Calculations for forwards revealed a moderate correlation in split of 10-30m as $r = -0.47$, $p < 0.005$. Only forwards showed a moderate correlation for maximal skating sprint and FMS total points score, which was ($r = -0.45$, $p < 0.008$). No correlation was found considering defenders.

Results for FMS trials and skating sprint measurements are presented in Figure 4.



ALL- players without positioning, OFF-offensive players, DEF-defensive players

Figure 4. Pearson's correlations (r) of mean values of FMS points with mean velocity of on-ice tests in three groups

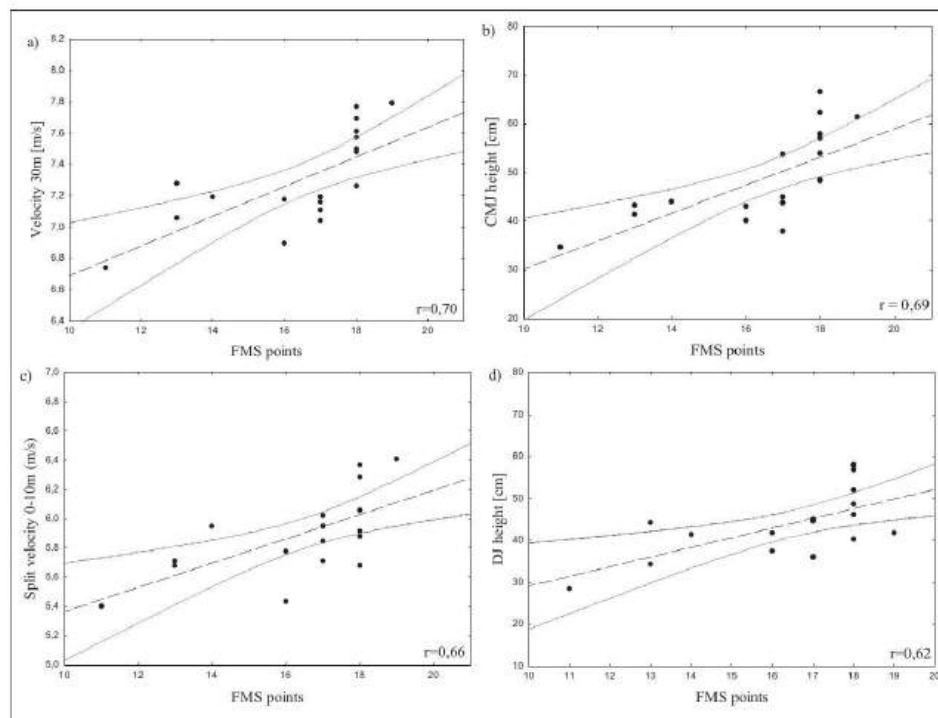


Figure 5. The four largest Pearson's correlations (r) of mean values of FMS points with defensive players means for (a) velocity over 30m, (b) CMJ height, (c) split velocity of 0-10m, and (d) DJ height

Source: own study based on empirical research

Discussion

FMS tests have become popular in the past few years. This is because it is a very simple method to use for coaches and it does not require special skills [36,37]. The vision of the designer of the test was to determine global movement patterns. FMS test allows for the assessment of functional deficits and asymmetries and the determination of the weakest links in the kinematic chains [38]. However, many studies have shown the importance of using the FMS test for injury prevention [26]. What is more, the deficit in any of basic motor skills such as coordination, mobility, and stability can lead to deficits in more complex sports skills, e.g., strength, speed, power, and endurance, and then can disturb performance in sport-specific skills [20]. In this study, we attempted to find if there are correlations between FMS and more specific demands. We are aware that the FMS test was not designed to predict any sport-specific skills. However, the aim of this study was to find out if athletes with better results in the FMS test could score more in other ice hockey tests. This hypothesis was stated because of the practical point of view of strength and conditioning coaches, who pointed out that athletes with better movement efficiency and quality would be better in their sports. The research conducted by Zhixiong, Chen et al. (2016) showed a positive correlation between FMS testing with vertical jump tests in youth football players [39]. In other studies, clear performance with good movement quality with no compensation allowed for the increased load in strength training, which translated into producing more power [40]. Research by Berning (2010) revealed that a better functional squat technique improved vertical jump [41–43]. A study of López-Segovia (2011) pointed out the positive effect of a training composed of squats and vertical jumps on the power of the lower limbs and a positive correlation with a short sprint in youth footballers [44].

In conclusion, using the FMS test could be beneficial to assess the possible risk of injury and support performance assessment. In the present study, there were clear correlations between the FMS test and vertical jump test results, such as on-ice specific skills in both forwards and defenders. This may mean that FMS could be used as

a potential predictive sport-specific test, especially in time-limited situations and when a large group of players is tested. According to other studies, the implementation of a training program based on FMS, which can be individualized, could help improve the performance of the athletes.

Limitations of the study

The FMS test was created as a subjective tool to assess potential injury risk. In this study, researchers wanted to find if any correlation exists between FMS and players' performance. It is recommended that this study should be extended for more game-specific movements and actions and also game statistics.

Conclusion

The present study provides reference values on the FMS performance of high-level competitive ice hockey players. Even if FMS was created as a subjective tool to assess potential injury risk, in case of developing performance, it could be an effective and helpful tool which, with the rest of the testing battery, can complete the player's profile, especially in ice hockey, where off-ice training can help improve the on-ice performance.

Practical Application

As a practical application, the authors recommend that coaching staff use collective training programs with an emphasis on improving deficits (especially in younger players), which can be performed individually or in a subgroup.

Funding: Financed by the Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education, Katowice 40-065, Poland.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the University Bioethics Committee for Research at the Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice (No. 8/2018).

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

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

Data Availability Statement: All data are presented in the study.

References:

- [1] Mascaro T, Seaver BL, Swanson L. Prediction of skating speed with off-ice testing in professional hockey players. *J Orthop Sports Phys Ther* 1992;18:92–8. <https://doi.org/10.2519/jospt.1992.15.2.92>.
- [2] Janot JM, Beltz NM, Dalleck LD. Multiple off-ice performance variables predict on-ice skating performance in male and female division III ice hockey players. *J Sport Sci Med* 2015;15:522–9.
- [3] Chang R, Turcotte R, Pearsall D. Hip adductor muscle function in forward skating. *Sport Biomech* 2009;8:212–22. <https://doi.org/10.1080/14763140903229534>.
- [4] Lignell E, Fransson D, Krustup P, Mohr M. Analysis of high-intensity skating in top-class ice hockey match-play in relation to training status and muscle damage. *J Strength Cond Res* 2018. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001999>.
- [5] Gupta S, Baron J, Bieniec A, Swinarew A, Stanula A. Relationship between vertical jump tests and ice skating performance in junior Polish ice hockey players. *Biol Sport* 2023;3–10.
- [6] Bond CW, Bennett TW, Noonan BC. Evaluation of Skating Top Speed, Acceleration, and Multiple Repeated Sprint Speed Ice Hockey Performance Tests. *J Strength Cond Res* 2018;00:2364–70.
- [7] Brocherie F, Girard O, Millet GP. Updated analysis of changes in locomotor activities across periods in an international ice hockey game. *Biol Sport* 2018;35:261–7. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2018.77826>.
- [8] Buckeridge E, LeVangie MC, Stetter B, Nigg SR, Nigg BM. An on-ice measurement approach to analyse the biomechanics of ice hockey skating. *PLoS One* 2015;10:1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127324>.
- [9] Rocznik R, Stanula A, Maszczyk A, Mostowik A, Kowalczyk M, Fidos-Czuba O, et al. Physiological, physical and on-ice performance criteria for selection of elite ice hockey teams. *Biol Sport* 2016;33:43–8. <https://doi.org/10.5604/20831862.1180175>.
- [10] Stanula A, Rocznik R, Maszczyk A, Pietraszewski P, Zajac A. The role of aerobic capacity in high intensity intermittent efforts in ice hockey. *Biol Sport* 2014;31:193–9. <https://doi.org/10.5604/20831862.1111437>.

- [11] Baron J, Gupta S, Bieniec A, Klich G, Gabrys T, Swinarew AS, et al. Effect of rest period duration between sets of repeated sprint skating ability test on the skating ability of ice hockey players. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18. <https://doi.org/10.3390/ijerph182010591>.
- [12] Montgomery DL. Physiology of Ice Hockey. *Sport Med* 1988;5:99–126. <https://doi.org/10.2165/00007256-198805020-00003>.
- [13] Twist P, Rhodes T. Exercise physiology: A physiological analysis of ice hockey positions. *Natl Strength Cond Assoc J* 2008;15:44–6. [https://doi.org/10.1519/0744-0049\(1993\)015<0044:apaoih>2.3.co;2](https://doi.org/10.1519/0744-0049(1993)015<0044:apaoih>2.3.co;2).
- [14] Stanula A, Gupta S, Baron J, Bieniec A, Tomik R, Gabrys T, et al. A comparative study of two-minute versus three-minute passive recovery on sprint skating performance of ice hockey forwards and defensemen. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413029>.
- [15] Burr JF, Jamnik RK, Baker J, Macpherson A, Glendhill N, McGuire EJ. Prediction of ice skating performance with off-ice testing in women's ice hockey players. *J Strength Cond Res* 2008;22:1535–43. <https://doi.org/10.1093/intimm/dxq019>.
- [16] Burr JF, Jamnik RK, Baker J, Macpherson A, Glendhill N, McGuire EJ. Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players. *J Strength Cond Res* 2008. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318181ac20>.
- [17] Runner AR, Lehnhard RA, Butterfield SA, Tu S, O'Neill T. Predictors of Speed Using Off-Ice Measures of College Hockey Players. *J Strength Cond Res* 2016. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000911>.
- [18] Boyle M. *New Functional Training for Sports*. Human Kinetics; 2016.
- [19] Ridan T, Warzecha A, Ogródkaczechanowicz K, Kita B, Czupryna K. Fms test in assessing the risk of injury in a group of female floorball players. *Fizjoterapia Pol* 2018;18:74–84.
- [20] Baron J, Bieniec A, Swinarew AS, Skalski D, Stanula A. The Effects of Twelve-Week Functional Training on the Power of the Lower Limbs of Young Footballers. *Acta Kinesiol* 2020;14:70–6.
- [21] Baron J, Bieniec A, Swinarew AS, Gabrys T, Stanula A. Effect of 12-week functional training intervention on the speed of young footballers. *Int J Environ Res Public Health* 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010160>.
- [22] Campa F, Spiga F, Toselli S. The Effect of a 20-Week Corrective Exercise Program on Functional Movement Patterns in Youth Elite Male Soccer Players. *J Sport Rehabil* 2019;28:746–51. <https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0039>.
- [23] Song H-S, Woo S-S, So W-Y, Kim K-J, Lee J, Kim J-Y. Effects of 16-week functional movement screen training program on strength and flexibility of elite high school baseball players. *J Exerc Rehabil* 2014;10:124–30. <https://doi.org/10.12965/jer.140101>.
- [24] Campa F, Semprini G, Jüdice PB, Messina G, Toselli S. Anthropometry, Physical and Movement Features, and Repeated-sprint Ability in Soccer Players. *Int J Sports Med* 2019;40:100–9. <https://doi.org/10.1055/a-0781-2473>.
- [25] Burr JF, Jamnik VK, Dogra S, Glendhill N. Evaluation of jump protocols to assess leg power and predict hockey playing potential. *J Strength Cond Res* 2007;21:1139–1145. <https://doi.org/10.1519/R-21496.1>.
- [26] Bernardes Marques V, Menezes Medeiros T, de Souza Stigger F, Yuzo Nakamura F, Manfredini Baroni B. The Functional Movement Screen (FMS) in Elite Young Soccer Players Between 14 and 20 Years: Composite Score, Individual-Test Scores and Asymmetries. *Int J Sports Phys Ther* 2017;12:977–85. <https://doi.org/10.16603/ijst20170977>.
- [27] Sprague PA, Mokha GM, Gatens DR. Changes in functional movement screen scores over a season in collegiate soccer and volleyball athletes. *J Strength Cond Res* 2014;28:3155–63. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000506>.
- [28] Campa F, Piras A, Raffi M, Toselli S. Functional movement patterns and body composition of high-level volleyball, soccer, and rugby players. *J Sport Rehabil* 2019;28:1–7. <https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0087>.
- [29] Aouadi R, Jlid MC, Khalifa R, Hermassi S, Chelly MS, Van Den Tillaar R, et al. Association of anthropometric qualities with vertical jump performance in elite male volleyball players. *J Sports Med Phys Fitness* 2012;52:11–7.
- [30] Cook G, Burton L, Hoogenboom BJ, Voight M. Functional Movement Screening: The Use of Fundamental Movements as an Assessment of Function-Part 2. *Int J Sports Phys Ther* 2014;9:549–63.
- [31] Kiesel K, Plisky PJ, Voight ML. Can Serious Injury in Professional Football be Predicted by a Preseason Functional Movement Screen? *N Am J Sports Phys Ther* 2007.
- [32] Cook G, Burton L, Hoogenboom BJ, Voight M. Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function - part 1. *Int J Sports Phys Ther* 2014;9:396–409.
- [33] Cook G, Burton L, Hoogenboom B. Pre-participation screening: the use of fundamental movements as an assessment of function - part 2. *N Am J Sports Phys Ther* 2006.
- [34] Sayers M. Running techniques of field sport players. *Sport Coach* 2000;23:26–7.
- [35] Hopkins WG. A scale of magnitudes for effect statistics. *Sportscience*. *Sportscience* 2002;5:1–7.
- [36] Lisman P, O'Connor FG, Deuster PA, Knapik JJ. Functional movement screen and aerobic fitness predict injuries in military training. *Med Sci Sports Exerc* 2013;45:636–43. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827a1c4c>.
- [37] Tervo T, Nordstrom A. Science of floorball: a systematic review. *Open Access J Sport Med* 2014;249. <https://doi.org/10.2147/oajsm.s60490>.
- [38] Cook G, Burton L, Hoogenboom BJ, Voight M. Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function-part 2. *Int J Sports Phys Ther* 2014;9:398–409.
- [39] Zhixiong Z, Chen W, Wang Y, Yabin S. Analysis on Relationship between Physical Functional Movement Ability and Lower Limb Explosive Strength of Elite Youth Fencers in China. *J Cap Univ Phys Educ Sport* 2016;28:348–51.

- [40] Adams K, O'Shea JP, O'Shea KL, Climstein M. The effect of six weeks of squat, plyometric and squat-plyometric training on power production. *J Strength Cond Res* 1992;6:36–41. <https://doi.org/10.1519/00124278-199202000-00006>.
- [41] Berning JM, Adams KJ, Debeliso M, Sevene-Adams PG, Harris C, Stamford BA. Effect of functional isometric squats on vertical jump in trained and untrained men. *J Strength Cond Res* 2010;24:2285–9. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e7ff9a>.
- [42] Ferreira LC, Weiss LW, Hammond KG, Schilling BK. Structural and functional predictors of drop vertical jump. *J Strength Cond Res* 2010;24:2456–67. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e3484b>.
- [43] Loturco I, Pereira LA, Moraes JE, Kitamura K, Abad CCC, Kobal R, et al. Jump-squat and half-squat exercises: Selective influences on speed-power performance of elite rugby sevens players. *PLoS One* 2017;12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170627>.
- [44] López-Segovia M, Marques MC, Van Den Tillaar R, González-Badillo JJ. Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in U21 soccer players. *J Hum Kinet* 2011;30:135–44. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0081-2>.

Citation:

Baron J, Holub M, Stanula A: Functional movement screen test as a predictor of jumping test performance and on-ice skating sprinting in elite-level ice hockey players. *Journal of Kinesiology and Exercise Sciences*. 2024; 106 (34): 68-77.

11. Bibliografia

- Allisse, M., Bui, H. T., Léger, L., Comtois, A.-S., & Leone, M. (2018). Updating the skating multistage aerobic test and correction for VO₂max prediction using a new skating economy index in elite youth ice hockey players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002602>
- Allisse, M., Bui, H. T., Léger, L., Comtois, A. S., & Leone, M. (2020). Updating the Skating Multistage Aerobic Test and Correction for V[Combining Dot Above]O₂max Prediction Using a New Skating Economy Index in Elite Youth Ice Hockey Players. *Journal of strength and conditioning research*, 34(11), 3182–3189. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002602>
- Aoki, M. S., Ronda, L. T., Marcelino, P. R., Drago, G., Carling, C., Bradley, P. S., & Moreira, A. (2017). Monitoring training loads in professional basketball players engaged in a periodized training program. W *Journal of Strength and Conditioning Research* (T. 31, Numer 2). <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001507>
- Asgari, M., Alizadeh, S., Sendt, A., & Jaitner, T. (2021). Evaluation of the Functional Movement Screen (FMS) in Identifying Active Females Who are Prone to Injury. A Systematic Review. *Sports Medicine - Open*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-021-00380-0>
- Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2018). Essentials of strength training and conditioning. W *Advanced Strength and Conditioning*. <https://doi.org/10.4324/9781315542348-16>
- Bangsbo, J. (1999). *Sprawność Fizyczna Piłkarza*. Biblioteka Trenera.
- Behm, D. G., Wahl, M. J., Button, D. C., Power, K. E., & Anderson, K. G. (2005). Relationship between hockey skating speed and selected performance measures. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 326–331. <https://doi.org/10.1519/R-14043.1>
- Bennett, H., Fuller, J., Milanese, S., Jones, S., Moore, E., & Chalmers, S. (2022). Relationship Between Movement Quality and Physical Performance in Elite Adolescent Australian Football Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(10), 2824–2829. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003903>

- Berthelot, G., Sedeaud, A., Marck, A., Antero-Jacquemin, J., Schipman, J., Saulière, G., Marc, A., Desgorces, F. D., & Toussaint, J. F. (2015). Has Athletic Performance Reached its Peak? *Sports Medicine*, 45(9), 1263–1271. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0347-2>
- Bishop, D. J., & Girard, O. (2013). Determinants of team-Sport performance: Implications for altitude training by team-Sport athletes. *British Journal of Sports Medicine*, 47(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092950>
- Bompa, T., & Haff, G. G. (2009). *Periodization-5th Edition: Theory and Methodology of Training* (5 edition). Human Kinetics.
- Bonazza, N. A., Smuin, D., Onks, C. A., Silvis, M. L., & Dhawan, A. (2017). Reliability, Validity, and Injury Predictive Value of the Functional Movement Screen. *American Journal of Sports Medicine*, 45(3), 725–732. <https://doi.org/10.1177/0363546516641937>
- Boyle, M. (2016). *New Functional Training for Sports*. Human Kinetics.
- Buchheit, M., Settembre, M., Hader, K., & McHugh, D. (2023). Planning the Microcycle in Elite Football: To Rest or Not to Rest? *International journal of sports physiology and performance*, 18(3), 293–299. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2022-0146>
- Buckthorpe, M., Morris, J., & Folland, J. P. (2012). Validity of vertical jump measurement devices. *Journal of Sports Sciences*, 30(1), 63–69. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.624539>
- Campa, F., Piras, A., Raffi, M., & Toselli, S. (2019). Functional movement patterns and body composition of high-level volleyball, soccer, and rugby players. *Journal of Sport Rehabilitation*, 28(7), 1–7. <https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0087>
- Campa, F., Semprini, G., Júdice, P. B., Messina, G., & Toselli, S. (2019). Anthropometry, Physical and Movement Features, and Repeated-sprint Ability in Soccer Players. *International Journal of Sports Medicine*, 40(2), 100–109. <https://doi.org/10.1055/a-0781-2473>
- Campa, F., Spiga, F., & Toselli, S. (2019). The Effect of a 20-Week Corrective Exercise Program on Functional Movement Patterns in Youth Elite Male Soccer Players. *Journal*

of Sport Rehabilitation, 28, 746–751. <https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0039>

Carling, C., Le Gall, F., & Dupont, G. (2012). Are physical performance and injury risk in a professional soccer team in match-play affected over a prolonged period of fixture congestion? *International Journal of Sports Medicine*, 33(1), 36–42.

<https://doi.org/10.1055/s-0031-1283190>

Carling, Christopher, Le Gall, F., & Dupont, G. (2012). Analysis of repeated high-intensity running performance in professional soccer. *Journal of Sports Sciences*, 30(4), 325–336.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2011.652655>

Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical Activity, Exercise, and Physical Fitness: Definitions and Distinctions for Health-Related Research. *Public Health Reports*, 100(2), 126–131. <https://doi.org/10.1093/nq/s9-IX.228.365-f>

Chmura, J. (2016). Charakterystyka zespołowych gier sportowych - Piłka nożna. W A. Zając & J. Chmura (Red.), *Współczesny System Szkolenia w Zespołowych Grach Sportowych* (ss. 25–61). AWF Katowice.

Cook, G., Burton, L., & Hoogenboom, B. (2006). Pre-participation screening: the use of fundamental movements as an assessment of function - part 2. *North American journal of sports physical therapy : NAJSPT*.

Cook, G., Burton, L., Hoogenboom, B. J., & Voight, M. (2014a). Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function-part 2. *International journal of sports physical therapy*, 9, 398–409.

Cook, G., Burton, L., Hoogenboom, B. J., & Voight, M. (2014b). Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function - part 1. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 9(3), 396–409.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24944860><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4060319>

Denisiuk, L., & Milicer-Gruzewska, H. (1969). Rozwój sprawności motorycznej dzieci i młodzieży w wieku szkolnym. W *Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych*.

Dinc, E., Kilinc, B. E., Bulat, M., Erten, Y. T., & Bayraktar, B. (2017). Effects of special

- exercise programs on functional movement screen scores and injury prevention in preprofessional young football players. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 13(5), 535–540. <https://doi.org/10.12965/jer.1735068.534>
- Domaradzki, J., & Koźlenia, D. (2023). Clustered Associations between Musculoskeletal Fitness Tests and Functional Movement Screen in Physically Active Men. *BioMed Research International*, 8. <https://doi.org/10.1155/2023/5942329>
- Dorrel, B. S., Long, T., Shaffer, S., & Myer, G. D. (2015). Evaluation of the Functional Movement Screen as an Injury Prediction Tool Among Active Adult Populations: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health*, 7(6), 532–537. <https://doi.org/10.1177/1941738115607445>
- Drabik, J. (1995). *Aktywność fizyczna w edukacji zdrowotnej społeczeństw*. Wydawnictwo Uczelniane Gdańsk.
- Farlinger, C. M., Kruisselbrink, L. D., & Fowles, J. R. (2007). Relationships To Skating Performance in Competitive Hockey Players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 915–922.
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal of Sports Sciences*, 30(7), 625–631. <https://doi.org/10.1080/02640414.2012.665940>
- Ferrari Bravo, D., Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Castagna, C., Bishop, D., & Wisloff, U. (2008). Sprint vs. interval training in football. *International Journal of Sports Medicine*, 29(8), 668–674. <https://doi.org/10.1055/s-2007-989371>
- Galas, S. (2019). *Motoryczne, somatyczne i wolnoczynowe uwarunkowania sprawności specjalnej młodych tenisistów stołowych - rozprawa doktorska*. Akademia Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu Wydział Nauk o Kulturze Fizycznej.
- Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability part I: Factors contributing to fatigue. *Sports Medicine*, 41, 673–694. <https://doi.org/10.2165/11590550-000000000-00000>

- Hoff, J., Kemi, O. J., & Helgerud, J. (2005). Strength and endurance differences between elite and junior elite ice hockey players. The importance of allometric scaling. *International Journal of Sports Medicine*, 26, 537–541. <https://doi.org/10.1055/s-2004-821328>
- Hołub, M., Stanula, A., Baron, J., Głyk, W., Rosemann, T., & Knechtle, B. (2021). Predicting breaststroke and butterfly stroke results in swimming based on olympics history. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph18126621>
- Howley, E. T., & Franks, B. D. (1992). *Health fitness instructor's handbook*. Human Kinetics Books.
- Hůlka, K., Bělka, J., Cuberek, R., & Schneider, O. (2014). Reliability of specific on-ice repeated-sprint ability test for ice-hockey players. *Acta Gymnica*, 44(2), 69–75. <https://doi.org/10.5507/ag.2014.007>
- Ingebrigtsen, J., Jeffreys, I., & Rodahl, S. (2013). Physical characteristics and abilities of junior elite male and female handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(2), 302–309. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318254899f>
- Janot, J. M., Beltz, N. M., & Dalleck, L. D. (2015). Multiple off-ice performance variables predict onice skating performance in male and female division III ice hockey players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15, 522–529.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J. B. (2017). Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Frontiers in Physiology*, 7(JAN), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00677>
- Jovanović, M. (2018). *HIIT Manual*. www.uaconcepts.com
- Klavora, P. (2000). Vertical-jump Tests : A Critical Review. *Strength and Conditioning Journal*, 22(5), 70.
- Kose, D. S. Y., & Bilge, M. (2019). Examining of the Correlation Between the Functional Movement Screen and the Cardio Fitness Test in Students Studying in the *European Journal of Physical Education and Sport ...*, 3477650, 129–144. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3477650>

- Leard, J. S., Cirillo, M. A., Katsnelson, E., Kimiatek, D. A., Miller, T. W., Trebincevic, K., & Garbalosa, J. C. (2007). Validity of Two Alternative Systems For Measuring Vertical Jump Height. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(4), 1296–1299.
- Leone, M., Léger, L. a., Larivière, G., & Comtois, a. S. (2007). An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(10), 823–828. <https://doi.org/10.1055/s-2007-964986>
- Lewis, N. A., Collins, D., Pedlar, C. R., & Rogers, J. P. (2015). Can clinicians and scientists explain and prevent unexplained underperformance syndrome in elite athletes: An interdisciplinary perspective and 2016 update. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2015-000063>
- 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. <https://doi.org/10.1519/14253.1>
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Radnor, J. M., Rhodes, B. C., Faigenbaum, A. D., & Myer, G. D. (2015). Relationships between functional movement screen scores, maturation and physical performance in young soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 33(1), 11–19. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.918642>
- Lorenz, D., & Morrison, S. (2015). Periodisation strength physical therapy. *The International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(6), 734–747.
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., & Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18, 551–555. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<551:RAFVOS>2.0.CO;2)
- McMahon, S., & Jenkins, D. (2002). Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Medicine*, 32(12), 761–784. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232120-00002>
- Migasiewicz, J. (2006). *Wybrane przejawy sprawnosci motorycznej*. Wydawnictwo AWF Wrocław.

- Minick, K. I., Kiesel, K. B., Burton, L., Taylor, A., Plisky, P., & Butler, R. J. (2010). Interrater reliability of the functional movement screen. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(2), 479–486. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c09c04>
- Moir, G., Sanders, R., Button, C., & Glaister, M. (2005). The influence of familiarization on the reliability of force variables measured during unloaded and loaded vertical jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 140–145. <https://doi.org/10.1519/14803.1>
- Nevill, A. M., Whyte, G. P., Holder, R. L., & Peyrebrune, M. (2007). Are there limits to swimming world records? *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 1012–1017. <https://doi.org/10.1055/s-2007-965088>
- O'Connor, F. G., Deuster, P. A., Davis, J., Pappas, C. G., & Knapik, J. J. (2011). Functional movement screening: Predicting injuries in officer candidates. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(12), 2224–2230. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318223522d>
- Osiński, W. (2018). *Antropomotoryka (III)*. Akademia Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego. <https://doi.org/978-83-63747-22-9>
- Ostojić, S. M., Stojanović, M., & Ahmetović, Z. (2010). [Vertical jump as a tool in assessment of muscular power and anaerobic performance]. *Medicinski pregled*, 63(5–6), 371–375. <https://doi.org/10.2298/MPNS1006371O>
- Parenteau-G, E., Gaudreault, N., Chambers, S., Boisvert, C., Grenier, A., Gagné, G., & Balg, F. (2014). Functional movement screen test: A reliable screening test for young elite ice hockey players. *Physical Therapy in Sport*, 15(3), 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2013.10.001>
- Pate, R. R. (1988). The evolving definition of physical fitness. *Quest*, 40(3), 174–179. <https://doi.org/10.1080/00336297.1988.10483898>
- Peate, W. F., Bates, G., Lunda, K., Francis, S., & Bellamy, K. (2007). Core strength: A new model for injury prediction and prevention. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 2(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1745-6673-2-3>

- Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S. M., Ferrari Bravo, D., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *International Journal of Sports Medicine*.
<https://doi.org/10.1055/s-2006-924340>
- Rampinini, Ermanno, Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Azzalin, A., Bravo, D. F., & Wisløff, U. (2008). Effect of match-related fatigue on short-passing ability in young soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(5), 934–942.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181666eb8>
- Roczniok, R., Maszczyk, A., Czuba, M., Stanula, A., Pietraszewski, P., & Gabryś, T. (2012). The predictive value of on-ice special tests in relation to various indexes of aerobic and anaerobic capacity in ice hockey players. *Human Movement*, 13(1), 28–32.
<https://doi.org/10.2478/v10038-012-0001-x>
- Roczniok, R., Stastny, P., Novak, D., Opath, L., Terbalyan, A., & Musalek, M. (2024). The Relation of On-Ice and Off-Ice Performance at Two Different Performance Levels in Youth Ice-Hockey Players. *Journal of Human Kinetics*, 93, 193–203.
<https://doi.org/10.5114/jhk/187238>
- Rodríguez-Rosell, D., Mora-Custodio, R., Franco-Márquez, F., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2017). Traditional vs. Sport-specific vertical jump tests: Reliability, validity, and relationship with the legs strength and sprint performance in adult and teen soccer and basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(1), 196–206. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000001476>
- Rowan, C. P., Kuropkat, C., Gumieniak, R. J., Gledhill, N., & Jamnik, V. K. (2015). Integration of the Functional Movement Screen Into the National Hockey League Combine. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1163–1171.
- Schneiders, A. G., Davidsson, A., Horman, E., & Sullivan, S. J. (2011). *Functional Movement Screen Normative values in a young active population*. 6(2), 75–82.
- Siegfried, N., Schlesinger, T., Bayle, E., & Giauque, D. (2015). Professionalisation of sport federations – a multi-level framework for analysing forms, causes and consequences. *European Sport Management Quarterly*, 15(4), 407–433.

<https://doi.org/10.1080/16184742.2015.1062990>

Skotnicka, M., & Strzelczyk, R. (2018). *Wpływ Procesu Treningowego Na Wybrane Charakterystyki Morfofunkcjonalne Na Przykładzie Aerobiku Sportowego W Kontekście Osiąganych.*

Sozański, H., Gajewski, A., Kielak, D., Kosmol, A., Kuder, A., Perkowski, K., Poliszczuk, D., & Śledziwski, D. (1999). *Podstawy Teorii Treningu Sportowego*. Centralny Ośrodek Sportu.

Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisløff, U. (2005). Physiology of soccer: An update. *Sports Medicine*, 35(6), 501–536. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535060-00004>

Stone, M., Stone, M., & Sands, W. (2007). *Principles and Practice of Resistance Training*. Human Kinetics Publishers.

Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. W *Sports Medicine* (ss. 1419–1449). <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>

Szopa, J., Mleczko, E., & Żak, S. (1999). *Podstawy antropomotoryki*.

Tanner, R., & Gore, C. (2013). *Physiological Tests for Elite Athletes*. Australian Institute of Sport.

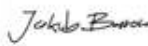
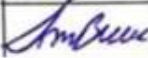
Teyhen, D., Bergeron, M. F., Deuster, P., Baumgartner, N., Beutler, A. I., De La Motte, S. J., Jones, B. H., Lisman, P., Padua, D. A., Pendergrass, T. L., Pyne, S. W., Schoomaker, E., Sell, T. C., & O'Connor, F. (2014). Consortium for health and military performance and American college of sports medicine summit: Utility of functional movement assessment in identifying musculoskeletal injury risk. *Current Sports Medicine Reports*, 13(1), 52–63. <https://doi.org/10.1249/JSR.00000000000000023>

Thorpe, R. T., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2017). Monitoring fatigue status in elite team-sport athletes: Implications for practice. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(January), 27–34. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0434>

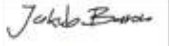
- Usgu, S., Yakut, Y., & Kudas, S. (2020). Effects of Functional Training on Performance in Professional Basketball Players. *Turkish Journal of Sports Medicine*, 55(4), 321–331. <https://doi.org/10.5152/tjism.2020.193>
- Vanezis, A., & Lees, A. (2005). A biomechanical analysis of good and poor performers of the vertical jump. *Ergonomics*, 48(11–14), 1594–1603. <https://doi.org/10.1080/00140130500101262>
- Zahradník, D., & Korvas, P. (2012). *Základy sportovního tréninku*. Univerzita Masaryka, Brno 2012.
- Zajac, P. (2017). The physiological demands of ice hockey and an annual, periodised conditioning programme for a British Elite League defenceman. *ResearchGate*, February, 1–11. <https://www.researchgate.net/publication/313476580>
- Zatsiorsky, V., & Kraemer, W. (2006). *Science and Practice of Strength Training*. <https://books.google.co.uk/books?id=QWSn4iKgNo8C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Zhixiong, Z., Chen, W., Wang, Y., & Yabin, S. (2016). Analysis on Relationship between Physical Functional Movement Ability and Lower Limb Explosive Strength of Elite Youth Fencers in China. *Journal of Capital University of Physical Education and Sports*, 28(4), 348–351.
- Zou, L. (2016). Relationship between Functional Movement Screening and Skill-Related Fitness in College Students. *International Journal of Sports Science*, 6(1), 11–18. <https://doi.org/10.5923/j.sports.20160601.03>

12. Oświadczenia autorów

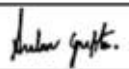
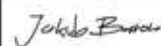
The effects of twelve-week functional training on the power of the lower limbs of young footballers.

Imię i nazwisko autora	Koncepcja pracy [%]	Zbieranie danych [%]	Analiza i interpretacja wyników [%]	Tworzenie manuskryptu [%]	Udział w procesie recenzentkim [%]	Średni wkład w pracę [%]	Podpis autora
Jakub Baron	20	10		20	10	60	
Anna Bieniec	10	5				15	
Andrzej Swinarew				5		5	
Dariusz Skalski	5					5	
Arkadiusz Stanula*			10		5	15	

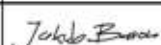
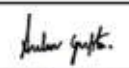
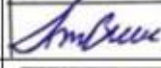
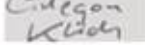
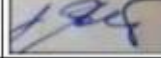
Effect of 12-week functional training intervention on the speed of young footballers

Imię i nazwisko autora	Koncepcja pracy [%]	Zbieranie danych [%]	Analiza i interpretacja wyników [%]	Tworzenie manuskryptu [%]	Udział w procesie recenzentkim [%]	Średni wkład w pracę [%]	Podpis autora
Jakub Baron	20	10		30	5	65	
Anna Bieniec	5	5				10	
Andrzej Swinarew	5		5			10	
Arkadiusz Stanula*			10		5	15	

Relationship between vertical jump tests and ice skating performance
in junior Polish ice hockey players

Imię i nazwisko autora	Koncepcja pracy [%]	Zbieranie danych [%]	Analiza i interpretacja wyników [%]	Tworzenie manuskryptu [%]	Udział w procesie recenzentkim [%]	Średni wkład w pracę [%]	Podpis autora
Subir Gupta	20		10		5	35	
Jakub Baron	10	15		10	15	50	
Anna Bieniec		5				5	
Andrzej Swinarew				5		5	
Arkadiusz Stanula*					5	5	

Effect of Rest Period Duration between Sets of Repeated Sprint
Skating Ability Test on the Skating Ability of Ice Hockey Players

Imię i nazwisko autora	Koncepcja pracy [%]	Zbieranie danych [%]	Analiza i interpretacja wyników [%]	Tworzenie manuskryptu [%]	Udział w procesie recenzentkim [%]	Średni wkład w pracę [%]	Podpis autora
Jakub Baron	15	10	5	15	5	50	
Subir Gupta	10			5		15	
Anna Bieniec		5				5	
Grzegorz Klich		5				5	
Tomasz Gabryś	5					5	
Andrzej Swinarew	5					5	
Karel Svátora	5					5	 Digitally signed by Karel Svátora Date: 2024.01.30 22:07:40 +01'00'
Arkadiusz Stanula*			5		5	10	

Functional movement screen test as an predictor for jumping tests performance and on-ice skating sprint in elite level ice hockey players

Imię i nazwisko autora	Koncepcja pracy [%]	Zbieranie danych [%]	Analiza i interpretacja wyników [%]	Tworzenie manuskryptu [%]	Udział w procesie recenzentkim [%]	Średni wkład w pracę [%]	Podpis autora
Jakub Baron *	15	10		15	20	60	<i>Jakub Baron</i>
Maciej Hołub		10	15		5	30	<i>Maciej Hołub</i>
Arkadiusz Stanula	5		5			10	<i>Arkadiusz Stanula</i>

13. Streszczenie w języku polskim

Tytuł: Analiza wybranych czynników determinujących sprawność specjalną zawodników piłki nożnej i hokeja na lodzie

Współczesny sport wyczynowy, charakteryzujący się rosnącą konkurencją, wymaga holistycznego podejścia do przygotowania fizycznego zawodników. W pracy analizowano wybrane czynniki determinujące sprawność specjalną zawodników piłki nożnej i hokeja na lodzie, koncentrując się na roli treningu funkcjonalnego, ocenie zdolności motorycznych a także ocenie sprawności specjalnej w powtarzanych wysiłkach o maksymalnej intensywności.

Cel pracy

Głównym celem badań była identyfikacja wpływu treningu funkcjonalnego na sprawność specjalną zawodników piłki nożnej i hokeja na lodzie, a także analiza zależności pomiędzy regeneracją a efektywnością powtarzanych wysiłków o maksymalnej intensywności. W pracy postanowiono odpowiedzieć na pytania badawcze dotyczące zależności między testem Functional Movement Screen (FMS) a mocą kończyn dolnych i sprawnością specjalną.

Metodologia badań

Przeprowadzono cztery niezależne badania:

1. **Trening funkcjonalny** – 12-tygodniowa interwencja u młodych piłkarzy wykazała poprawę wyników w testach FMS (wzrost o 45,2%) oraz parametrów skoków pionowych, m.in. wzrost mocy kończyn dolnych o 5,3%.

2. **Ocena mocy i szybkości hokeistów** – analizowano korelacyjne związki pomiędzy wynikami testów skoków pionowych (CMJ, SJ, DDJ) a testami wykonywanymi na lodzie, m.in. jazdą przodem i tyłem.
3. **Regeneracja między wysiłkami** – Badano wpływ długości przerwy (2 i 3 minuty) na efektywność powtarzanych maksymalnych wysiłków w hokeju na lodzie.
4. **Zastosowanie testów diagnostycznych** – Badano zależności między testem FMS a skokami pionowymi i testami poruszania się po lodzie.

Wyniki

1. Trening funkcjonalny znacząco wpłynął na poprawę wyników w teście FMS oraz wyników testów skoków pionowych i szybkości.
2. Wykazano istotne statystycznie korelacje pomiędzy testami skoków pionowych a wynikami jazdy na lodzie. Skoki z półprzysiadu (SJ) oraz zeskoku (DDJ) okazały się najlepszymi predyktorami szybkości jazdy.
3. Wydłużenie czasu regeneracji pomiędzy wysiłkami o wysokiej intensywności poprawiło efektywność czynności ruchowych o maksymalnej intensywności.
4. Wykazano, że wyższe wyniki FMS korelowały z lepszymi rezultatami w testach skoków pionowych oraz w testach poruszania się po lodzie. Badania te sugerują, że diagnostyka wzorców ruchowych za pomocą FMS może stanowić skuteczne narzędzie w ocenie potencjału sprawności specjalnej.

Wnioski

- Trening funkcjonalny, zintegrowany z narzędziami diagnostycznymi, jest efektywnym środkiem poprawy sprawności specjalnej zawodników piłki nożnej. Ograniczenia: brak grupy kontrolnej.
- Skoki pionowe, zwłaszcza DDJ i SJ, mają potencjał jako narzędzia oceny sprawności specjalnej w hokeju na lodzie. Ograniczenia: wybrane testy skoków pionowych, należy rozważyć przeanalizowanie większej ilości czynników mogących wpływać na sprawność specjalną.
- Wydłużenie przerw regeneracyjnych sprzyja lepszej efektywności wykonywania wysiłków o maksymalnej intensywności. Ograniczenia: należy rozważyć przeanalizowanie większej ilości czynników oraz zastosowanie innych przerw wypoczynkowych w teście.
- Test FMS może służyć jako narzędzie pomocne w ocenie sprawności specjalnej wśród hokeistów na lodzie. Ograniczenia: należy rozważyć przeanalizowanie większej ilości czynników mogących wpływać na sprawność specjalną.

Wyniki uzyskane w tej pracy mogą stanowić wsparcie dla trenerów i specjalistów w zakresie optymalizacji procesu treningowego w zespołowych grach sportowych, takich jak piłka nożna i hokej na lodzie.

Słowa kluczowe: sprawność specjalna, trening funkcjonalny, testy diagnostyczne, zespołowe gry sportowe

14. Streszczenie w języku angielskim

Title: Analysis of Selected Factors Determining the Specific Performance of Soccer and Ice Hockey Players

Abstract

Modern high-performance sports, characterized by increasing competition, demand a holistic approach to the physical preparation of athletes. This study analyzed selected factors determining the specific performance of soccer and ice hockey players, focusing on the role of functional training, the assessment of motor abilities, and the evaluation of specific performance in repeated maximum-intensity efforts.

Purpose of the Study

The primary aim of the research was to identify the impact of functional training on the specific performance of soccer and ice hockey players, as well as to analyze the relationship between recovery and the efficiency of repeated maximum-intensity efforts. The study sought to answer research questions regarding the relationships between the Functional Movement Screen (FMS) test, lower limb power, and specific performance.

Research Methodology

Four independent studies were conducted:

1. **Functional Training** – A 12-week intervention in young soccer players showed improvements in FMS test scores (an increase of 45.2%) and vertical jump parameters, including a 5.3% increase in lower limb power.
2. **Power and Speed Assessment of Hockey Players** – Correlations between vertical jump tests (CMJ, SJ, DDJ) and on-ice tests, such as forward and backward skating, were analyzed.
3. **Recovery Between Efforts** – The impact of rest duration (2 and 3 minutes) on the efficiency of repeated maximum-intensity efforts in ice hockey was studied.
4. **Diagnostic Tests Application** – The relationships between the FMS test, vertical jumps, and on-ice movement tests were examined.

Results

1. Functional training significantly improved FMS test results and vertical jump and speed test performance.
2. Statistically significant correlations were found between vertical jump tests and on-ice skating performance. Squat jumps (SJ) and drop jumps (DDJ) were the best predictors of skating speed.
3. Extending recovery time between high-intensity efforts improved the efficiency of maximum-intensity movements.
4. Higher FMS test scores correlated with better results in vertical jump tests and on-ice movement tests. These findings suggest that movement pattern diagnostics using the FMS test can be an effective tool for assessing specific performance potential.

Conclusions

- Functional training, integrated with diagnostic tools, is an effective means of improving the specific performance of soccer players. **Limitations:** Lack of a control group.
- Vertical jumps, particularly DDJ and SJ, have potential as tools for assessing specific performance in ice hockey. **Limitations:** The study focused on selected vertical jump tests; a broader analysis of other factors influencing specific performance is recommended.
- Extending recovery breaks enhances the efficiency of maximum-intensity efforts. **Limitations:** Additional factors and alternative recovery durations should be considered.
- The FMS test can be a helpful tool in assessing specific performance among ice hockey players. **Limitations:** Further analysis of additional factors influencing specific performance is needed.

The results of this study may support coaches and specialists in optimizing training processes in team sports such as soccer and ice hockey.

Keywords: specific performance, functional training, diagnostic tests, team sports