

WYBRANE CECHY ANTROPOMETRYCZNE PŁYWAKÓW A KINEMATYCZNY OBRAZ SKOKU STARTOWEGO W PŁYWANIU

Daria Rudnik¹⁾, Pedro Fonseca²⁾, Susana Soares³⁾, Raúl Arellano Colomina⁴⁾, Ricardo J. Fernandes^{2,3)}, João Paulo Vilas-Boas^{2,3)}, Marek Rejman¹⁾

¹⁾ Zakład Pływania, Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu, Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu, Polska

²⁾ Laboratorium Biomechaniki Porto (LABIOMEPEP-UP), Wydział Sportu, Uniwersytet w Porto, Portugalia

³⁾ Centrum Badań, Edukacji, Innowacji i Interwencji w Sporcie (CIFID2D), Wydział Sportu, Uniwersytet w Porto, Portugalia

⁴⁾ Aquatics Lab, Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu, Wydział Nauk o Sporcie, Uniwersytet w Granadzie, Hiszpania

STRESZCZENIE

W niniejszej pracy podjęto próbę określenia wpływu wybranych cech antropometrycznych pływaków najwyższej klasy sportowej na skuteczność wykonania skoku startowego w aspekcie biomechanicznym oraz preferowanym przez nich ustawieniem tylnego panelu platformy startowej. Grupę badawczą stanowiło 13 kobiet oraz 14 mężczyzn. Pomiar antropometryczny wykonano w oparciu o obraz z skanera 3D (Mephisto EX-PRO, 4D Dynamics Bvba, Belgia). Do zebrania danych opisujących kinematyczną strukturę „kick-startu” wykorzystano: platformę startową, cztery kamery video oraz urządzenie nadające sygnał startu umożliwiające jednocześnie synchronizację elementów toru pomiarowego a także komputer wraz z dedykowanym oprogramowaniem. Zebrany materiał filmowy został poddany analizie wykorzystując oprogramowanie SIMI Motion System (SIMI Reality Motion Systems GmbH, Niemcy). W celu określenia zależności pomiędzy rozpatrywanymi parametrami wykonano analizę korelacji Pearsona. Przeprowadzone analizy wykazały, że sportowcy obu płci charakteryzujący się większą wysokością ciała oraz dłuższym ramieniem preferują ułożenie panelu tylnego dalej od przedniej krawędzi platformy startowej ($r > 0.5$). Czas odbicia od platformy startowej wydłużał się wraz z wzrostem wysokości ciała oraz długości kończyny dolnej ($r = 0.64$; $r = 0.68$). Mężczyźni o większej masie ciała i dłuższym ramieniu pokonywali dłuższy dystans podczas fazy lotu ($r = 0.75$; $r = 0.58$). Pływacy o wyższej masie ciała potrzebowali mniej czasu na pokonanie dystansu 15 m od linii startu ($r = -0.67$). Uzyskane wyniki ujawniły zbiór cech antropometrycznych mogących mieć istotny wpływ na skuteczność pływackiego skoku startowego. Istnieją przesłanki by sądzić, że świadomy wybór pozycji startowej w oparciu o indywidualny profil antropometryczny zawodnika może skutkować poprawą jakości techniki wykonania kolejnych elementów skoku startowego. W tym sensie uwzględniając specyfikę profilu cech antropometrycznych zawodnika można zindywidualizować proces monitorowania potencjału sportowego, zobiektywizować ocenę wykonania poszczególnych elementów techniki wykonania skoku startowego a tym samym usprawnić proces treningowy.

Słowa kluczowe: „kick-start”, wymiary ciała, pleć, biomechanika, wydajność.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2024 Vol. 88 Issue 3 pp. 25 – 44

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2024-0014

Strony: 20, rysunki: 3, tabele: 8

page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny

Termin nadesłania: 14.06.2024 r.

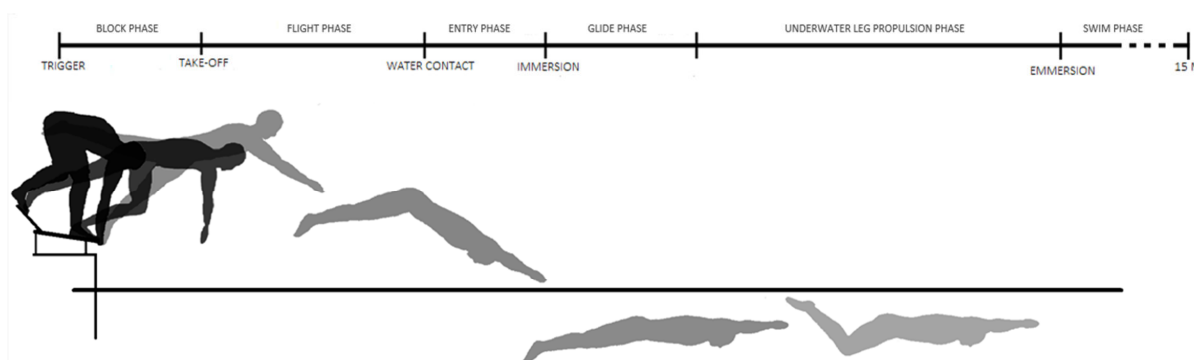
Termin zatwierdzenia do druku: 13.07.2024 r.



WSTĘP

W wyścigu pływackim na czas pokonania dystansu składają się takie elementy jak: start, nawroty, swobodne pływanie oraz finisz [1]. Wynik sportowy jest sumą wszystkich wspomnianych elementów i stanowi przede wszystkim konsekwencję wielokierunkowej pracy treningowej. Dlatego badacze najczęściej poszukują zależności przyczynowo skutkowych pomiędzy efektywnością pływania a czynnikami biomechanicznymi, fizjologicznymi, motorycznymi, czy też psychologicznym [2-5]. Istotną rolę w poszukiwaniu szerszego spektrum działań optymalizujących proces treningowy w kierunku podnoszenia wyniku odgrywają badania potencjału somatycznego sportowca, który uwarunkowany genetycznie podlega tylko niewielkim zmianom na skutek adaptacji do bodźców treningowych [3,5,6]. W pływaniu, ze względu na specyficzne właściwości wody i wynikające z nich opory badania zależności wyniku sportowego i somatycznej charakterystyki sportowca mają wieloletnią tradycję. Wskazują one zgodnie na istotny wpływ budowy ciała na technikę ruchów pływackich oraz ich efektywność [2,7,8].

Skok startowy (Rys. 1) jest jedynym elementem wyścigu pływackiego, który obejmuje działania pływaka zarówno na lądzie (faza bloku), w powietrzu – bez kontaktu z podłożem (faza lotu) jak i w wodzie (faza poślizgu, faza wykonywania ruchów napędowych kończynami dolnymi i faza pływania) [9,10]. Przytoczona specyfika startu pływackiego skutkująca wysokim stopniem skomplikowania wykonywaniach struktur ruchowych i ich koordynacji w czasie i w przestrzeni wydaje się oczywistym uzasadnieniem do podejmowania odrębnych analiz tego elementu techniki wyścigu pływackiego.



Rys. 1 Fazy skoku startowego.

Poprawa wyniku skoku startowego, może się odbywać poprzez zmiany w obrębie warunków startowych, indywidualnych możliwości motorycznych sportowca, zmiany techniki startu lub poprzez dozwolone przepisami modyfikacje ustawienia platformy startowej [9]. Pomimo tego, że opracowań na temat budowy somatycznej pływaków jest wiele [7], to możemy odnaleźć tylko nieliczne doniesienia naukowe rozpatrujące relacje pomiędzy budową ciała pływaków a charakterystyką wykonania skoku startowego [11-14]. Dostępne analizy częściej skupiały się na analizach komponentów tkankowych ciała pływaków aniżeli na poszukiwaniach związków pomiędzy ich cechami somatycznymi a skutecznością startu. Wśród dostępnych publikacji naukowych można odnaleźć między innymi opis zależności pomiędzy długością podudzia (służącą jako wskaźnik anatomiczny determinujący ułożenie panelu tylnego platformy startowej), a przestrzennym ułożeniem pozostałych segmentów ciała w trakcie startu [15,16]. Wspomniani autorzy wykazali także, że ustawienie panelu tylnego platformy startowej w zależności od długości podudzia istotnie determinuje czas trwania fazy na bloku [16] oraz czas reakcji [15]. Z drugiej strony, Wędrzyk i wsp. [13] przedstawili wyniki świadczące o tym, że w grupie młodych pływaków długość kończyn nie ma istotnego wpływu na pozycję startową. Mając na uwadze podobieństwa jakie występują pomiędzy pływackim track-startem i lekkoatletycznym startem niskim [17,18] można założyć, że również w pływaniu preferowana pozycja panelu tylnego ma uzasadnienie w charakterystyce antropometrycznej pływaków.

Analiza aktualnego stanu wiedzy ukazuje potrzebę naukowej weryfikacji wpływu charakterystyki budowy somatycznej ciała pływaków na skuteczność wykonania poszczególnych elementów skoku startowego. W niniejszej pracy podjęto próbę określenia zależności pomiędzy wybranymi cechami antropometrycznymi pływaków a skutecznością wykonania skoku startowego w aspekcie biomechanicznym. Istnieją przesłanki by sądzić, że porównanie parametrów czasowo-przestrzennych opisujących pozycję startową i poszczególne fazy skoku startowego z parametrami antropometrycznymi pływaków różnych płci, ujawni zbiór cech mających istotny wpływ na jakość techniki startu w aspekcie jego skuteczności. Jednocześnie uzyskane wyniki powinny ujawnić związki pomiędzy budową ciała pływaków wysokiej klasy a preferowanym przez nich ustawieniem tylnego panelu na platformie startowej. Przewidywane wyniki w postaci obiektywnych wskaźników skuteczności startu, powinny dostarczyć naukowych przesłanek służących indywidualizacji i racjonalizacji treningu technicznego skoku startowego uwzględniających potencjał somatyczny zawodnika.

METODY

Grupę badawczą stanowiło 25 pływaków reprezentujących międzynarodowy poziom sportowy (12 kobiet w wieku 16 ± 1.7 lat oraz 13 mężczyzn w wieku 19.7 ± 3.9 lat, o wartości punktowej co najmniej 750 w punktacji FINA). Badania przeprowadzono w laboratorium biomechanicznym (pomiar antropometryczny) oraz na 25 m krytej pływalni (skok startowy). Przed przystąpieniem do zbierania danych, uczestnicy badań zostali zapoznani z celem oraz procedurami

protokołu testowego, a następnie dobrowolnie wyrazili chęć udziału w zaplanowanych próbach. Wszystkie procedury badawcze obejmowały działania zgodne z Deklaracją Helsińską oraz zostały zatwierdzone przez Uczelnianą Komisję Etyki Badań.

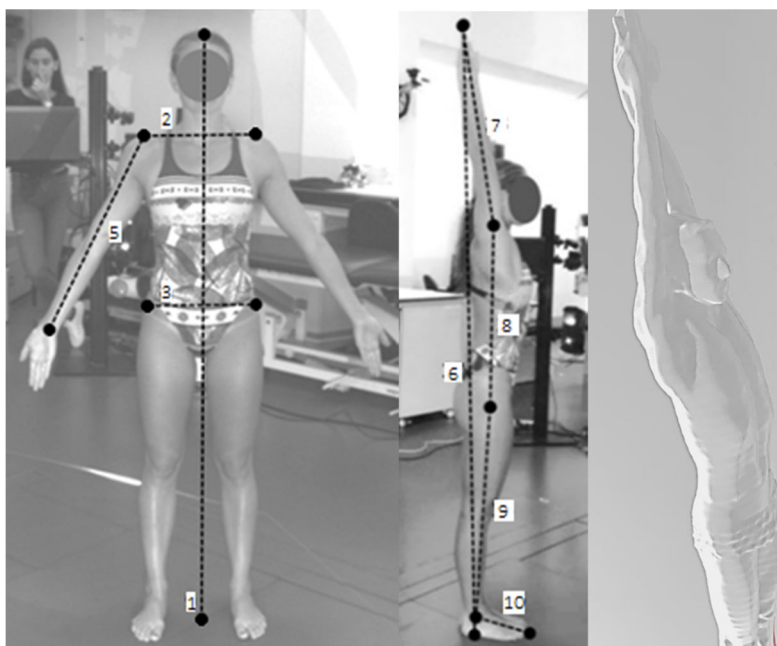
POMIARY ANTROPOMETRYCZNE

W pierwszej części badań przeprowadzono pomiary antropometryczne pływaków i pływaczek (Rys. 2). Podczas pomiaru każdy z badanych był ubrany w standardowy strój pływacki. Pomiarów dokonano w bezruchu, w dwóch pozycjach: anatomicznej i w pozycji opływowej („strzałka”). Za pomocą czterech skanerów 3D (Mephisto EX-PRO, 4D Dynamics Bvba, Belgia) ustawionych w płaszczyźnie czołowej (od przodu i od tyłu) i w płaszczyźnie strzałkowej (lewa i prawa strona) wyznaczono trójwymiarowe modele każdej z badanych osób oraz zaznaczono wybrane punkty antropometryczne. Na ich podstawie wyznaczono parametry wskazane w Tabeli 1 oraz na Rys. 2. Masę ciała zmierzono przy pomocy urządzenia Inbox 230 (Biospace Co. Ltd., Seoul, Korea).

Tab. 1

Parametry antropometryczne uwzględnione w przeprowadzonych analizach.

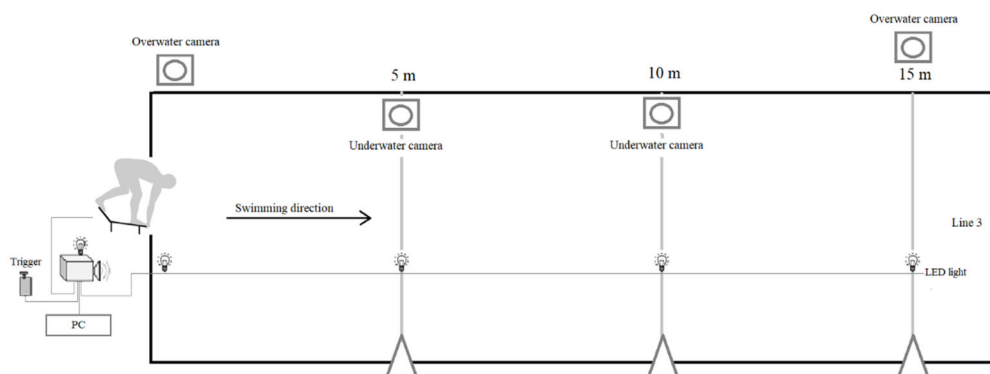
Lp.	Parametr
1	Wysokość ciała (B-v)
2	Szerokości barków (a-a)
3	Szerokość miednicy (ic-ic)
4	Szerokość barków w pozycji „strzałki” (najszerza część)
5	Długość kończy górnej (a-sty)
6	Wysokość ciała w pozycji „strzałki” (B-da)
7	Długość kończyn górnych w pozycji „strzałki” (a-da)
8	Długość tułowia w pozycji „strzałki” (a-tro)
9	Długość kończyny dolnej (tro- mlf)
10	Długość stopy (ap-mlf)



Ryc. 2 Graficzna prezentacja protokołu pomiaru danych antropometrycznych (obraz z przodu w pozycji anatomicznej, obraz od boku w pozycji strzałki, trójwymiarowy model uzyskany przy pomocy skanera).

SKOK STARTOWY

Zadaniem osób badanych było jednokrotne wykonanie skoku startowego techniką „kick-start” (znaną i preferowaną przez wszystkich badanych) wraz z przepłynięciem odcinka 20 m z maksymalną prędkością. Rozpoczęcie każdej z prób wyznaczało nadanie dźwiękowego oraz wizualnego sygnału startowego. Do zebrania danych opisujących fazę na bloku wykorzystano blok startowy (zgodny z przepisami FINA dla OMEGA OSB 14) wyposażony w niezależne platformy dynamometryczne umożliwiające pomiar parametrów czasowych sił reakcji podłoża generowanych niezależnie przez każdą z kończyn podczas fazy odbicia [19]. Z pozyskanych tą drogą danych, dzięki analizom w programie MatLab (MathWorks Inc., Natick, MA, USA) wyznaczono parametry czasowe sub-fazy fazy bloku (czas utraty kontaktu dłoni z platformą, czas odbicia nogi zakrocznej, czas odbicia nogi wykrocznej oraz całkowity czas odbicia).



Rys. 3 Zestaw urządzeń pomiarowych wykorzystany do zebrania danych na podstawie których określono wartości parametrów czasowo-przestrzennych opisujących strukturę wykonania pływackiego skoku startowego.

Cztery kamery filmowe (GoPro Hero 5, GoPro, USA o częstotliwości 120 fps) ustawiono wzdłuż bocznej ściany pływalni, równoległe do toru przemieszczania się pływaków tak aby rejestrować ich działania od momentu sygnału startowego do momentu gdy głowa znajdzie się w punkcie wyznaczającym dystans 15 m od linii startu (oznaczonym markerem) (Rys. 3). Wzdłuż toru pomiarowego, w polu widzenia każdej z kamer umieszczono oświetlenie LED emitujące sygnał świetlny w momencie nadania sygnału startowego i umożliwiające synchronizację aparatury pomiarowej.

Do analizy zebranego materiału video wykorzystano oprogramowanie SIMI Motion System (SIMI Reality Motion Systems GmbH, Germany). Pierwsza klatka z widocznym światłem LED wyznaczała moment rozpoczęcia każdej z prób. Na podstawie analizy video wyliczono wartości wybranych parametrów czasowo-przestrzennych opisujących kinematyczną strukturę wykonania skoku startowego. Dobór parametrów oraz sposób ich pomiaru został określony w oparciu o dostępne doniesienia naukowe obejmujące analizy wykonania pływackiego skoku startowego [9,20,21,22]. Definicje parametrów kinematycznych opisujących strukturę wykonania skoku startowego zostały przedstawione w Tabeli 2.

Tab. 2

Definicje parametrów kinematycznych opisujących strukturę wykonania skoku startowego.

Parametr	Definicja
Czas utraty kontaktu dłoni z platformą (s)	Czas pomiędzy sygnałem startu a oderwaniem kończyn górnych od platformy startowej.
Czas odbicia kończyny zakroczonej (s)	Czas pomiędzy sygnałem startu a oderwaniem kończyny dolnej zakroczonej od platformy startowej.
Czas odbicia kończyny wykroczonej (s)	Czas pomiędzy oderwaniem kończyny dolnej zakroczonej od platformy startowej a opuszczeniem platformy startowej.
Czas odbicia (s)	Czas pomiędzy pierwszą widoczną reakcją ciała na sygnał startu a momentem ostatniego kontaktu stóp pływaka z platformą startową.
Czas lotu (s)	Czas pomiędzy momentem ostatniego kontaktu stóp pływaka z platformą startową a pierwszym kontaktem jego ciała z powierzchnią wody.
Długość lotu (m)	Odległość mierzona w płaszczyźnie poziomej od linii start do miejsca pierwszego kontaktu ciała pływaka z powierzchnią wody.
Czas 5 m (s)	Czas zmierzony od nadania sygnału startu a momentem w którym głowa pływaka przecięła linię wyznaczającą odległości 5 m od linii startu.
Czas 5 m - 10 m (s)	Czas zmierzony od momentu w którym głowa pływaka przecięła linię wyznaczającą odległości 5 m od linii startu a momentem w którym głowa pływaka przecięła linię wyznaczającą odległości 10 m od linii startu.
Czas 10 m (s)	Czas zmierzony od nadania sygnału startu a momentem w którym głowa pływaka przecięła linię wyznaczającą odległości 10 m od linii startu.
Czas 10 m - 15 m (s)	Czas zmierzony od momentu, w którym głowa pływaka przecięła linię wyznaczającą odległości 10 m od linii startu a momentem, w którym głowa pływaka przecięła linię wyznaczającą odległości 15 m od linii startu.
Czas 15 m (s)	Czas zmierzony od nadania sygnału startu a momentem, w którym głowa pływaka przecięła linię wyznaczającą odległości 15 m od linii startu.

Po dokonaniu pomiarów, przeprowadzono statystyki opisowe umożliwiające obliczenie średnich wartości oraz odchylenia standardowego badanych parametrów oraz określenie czy zostały spełnione założenia testowe umożliwiające wykorzystanie analiz parametrycznych. Następnie wykonano test t-Studenta dla dwóch grup niezależnych, który posłużył do określenia czy płeć uczestników badań różnicuje badane parametry struktury kinematycznej skoku startowego oraz czy kryterium płci różnicuje wybrane parametry antropometryczne badanych. W celu określenia zależności pomiędzy rozpatrywanymi parametrami antropometrycznymi a parametrami opisującymi strukturę czasowo-przestrzenną skoku startowego wykonano analizę korelacji Pearsona ($\alpha = 0.05$). Do przeprowadzenia analiz statystycznych wykorzystano oprogramowanie Statistica 13.1 (StatSoft, Tulsa, OK, USA).

WYNIKI

Ze względu na fakt, że zbiory danych antropometrycznych istotnie różnicowały badanych ze względu na płeć (Tabela 3) wyniki analizowano i interpretowano z rozróżnieniem na kobiety i mężczyzn. W porównaniu do kobiet, u mężczyzn zmierzono większą masę ciała ($p = 0.001$). Biorąc pod uwagę pomiary dokonywane w pozycji anatomicznej, mężczyźni charakteryzowali się większymi wartościami parametrów długościowych. Wśród nich należy wymienić: wysokość ciała ($p = 0.002$), długość tułowia ($p = 0.020$), szerokość barków ($p < 0.001$), oraz długość stopy ($p = 0.046$). Żaden z badanych parametrów antropometrycznych zmierzonych w pozycji „strzałki” nie różnicował badanych ze względu na ich płeć.

Tab. 3

Wynik testu t-Studenta oraz statystyki opisowe (średnia i odchylenie standardowe) rozpatrywanych parametrów antropometrycznych. Wyniki przedstawiono z rozróżnieniem na płeć.

Parametry	KOBIETY	MĘŻCZYŹNI
masa ciała (kg)	58.12 ± 6.25	70.02 ± 9.55 *
wysokość ciała (cm)	169.5 ± 4.3	177.2 ± 8.7 *
wysokość ciała _{ST} (cm)	218.6 ± 8.4	230.7 ± 12.6
szerokość barków (cm)	31.14 ± 2.48	35.24 ± 2.43 *
szerokość barków _{ST} (cm)	39.16 ± 2.18	40.98 ± 3.33
szerokość miednicy (cm)	33.36 ± 3.05	33.66 ± 2.18
długość kończyny górnej (cm)	62.50 ± 2.27	63.64 ± 4.52
długość kończyny górnej _{ST} (cm)	66.16 ± 9.75	67.87 ± 8.42
długość tułowia (cm)	62.68 ± 4.99	69.60 ± 4.51 *
długość kończyny dolnej (cm)	78.00 ± 2.79	77.30 ± 5.87
długość stopy (cm)	19.52 ± 1.04	21.15 ± 1.63 *

_{ST} - w pozycji „strzałki”, * poziom istotności statystycznej na poziomie $p \leq 0.05$.

Wyniki analizy statystycznej uwzględniające płeć uczestników badań wskazały na istnienie różnic w obrębie parametrów czasowych skoku startowego (Tabela 4). W porównaniu do kobiet, mężczyźni uzyskali krótszy czas skoku startowego mierzony na dystansie 15 m od linii startu ($p < 0.001$). Pływacy płci męskiej potrzebowali mniej czasu na pokonanie wszystkich analizowanych, pięciometrowych odcinków skoku startowego ($p < 0.024$) oraz pokonali dłuższy dystans nad powierzchnią wody ($p = 0.006$).

Tab. 4

Wynik testu t-Studenta oraz statystyki opisowe (średnia i odchylenie standardowe) wybranych parametrów opisujących kinematyczną strukturę wykonania skoku startowego. Dane przedstawiono z rozróżnieniem na płeć.

Parametry	KOBIETY	MĘŻCZYŹNI
Czas utraty kontaktu dłoni z platformą (s)	0.25 ± 0.08	0.29 ± 0.07
Czas odbicia kończyny zakroczonej (s)	0.46 ± 0.04	0.45 ± 0.04
Czas odbicia kończyny wykroczonej (s)	0.10 ± 0.04	0.10 ± 0.04
Czas odbicia (s)	0.56 ± 0.05	0.56 ± 0.03
Czas lotu (s)	0.27 ± 0.07	0.29 ± 0.04
Długość lotu (m)	2.87 ± 0.22	3.13 ± 0.22 *
Czas 5m (s)	1.71 ± 0.09	1.57 ± 0.09 *
Czas 10m-5m (s)	2.75 ± 0.19	2.29 ± 0.23 *
Czas 10m (s)	4.46 ± 0.24	3.86 ± 0.31 *
Czas 15-10m (s)	2.80 ± 0.17	2.57 ± 0.30 *
Czas 15m (s)	7.26 ± 0.29	6.43 ± 0.53 *

*poziom istotności statystycznej na poziomie $p \leq 0.05$.



Uzyskane wyniki (Tab. 5), świadczą o istnieniu zarówno u kobiet jak i u mężczyzn korelacji pomiędzy czasem kontaktu kończyn górnych z platformą startową (Hands) a długością kończyny dolnej oraz długością ciała mierzoną w pozycji strzałki ($p < 0.05$). W grupie pływaków czas odbicia kończyną zakroczną (Rear foot) skracał się proporcjonalnie do większego wymiaru długości tułowia ($p = 0.023$). Czas odbicia kończyną wykroczną (Front foot) u kobiet wzrastał proporcjonalnie do wysokości ciała w pozycji anatomicznej ($p = 0.016$), szerokości miednicy ($p = 0.035$) i do długości kończyny górnej ($p = 0.033$). W przypadku pływaków dla Rear foot wykazano dodatniej korelacji z długością kończyny dolnej. Tylko w grupie badanych pływaków czas odbicia od platformy startowej (Movement) wydłużał się wraz z rosnącą wysokością ciała w pozycji anatomicznej ($p = 0.014$), w pozycji strzałki ($p = 0.018$) oraz wraz z wzrostem długości kończyny dolnej ($p = 0.008$). W grupie kobiet ten parametr skoku startowego wykazał istotną odwrotną zależność z długością tułowia ($p = 0.027$) oraz pozytywną wartość współczynnika korelacji z długością kończyny górnej ($p = 0.033$).

Tab. 5

Wyniki analizy korelacji Pearsona (r) przeprowadzonej pomiędzy rozpatrywanymi parametrami antropometrycznymi a parametrami opisującymi czasową strukturę wykonania fazy bloku. Dane przedstawiono z rozróżnieniem na płeć.

parametry	KOBIETY				MĘŻCZYŹNI			
	Hands	Rear foot	Front foot	Movement	Hands	Rear foot	Front foot	Movement
Masa ciała	-0.15	-0.42	0.34	-0.06	0.29	-0.15	0.47	0.25
Wysokość ciała	-0.19	-0.13	0.63*	0.38	0.50	0.28	0.41	0.64*
Wysokość ciała _{ST}	0.53*	-0.24	-0.15	-0.29	0.54*	0.39	0.25	0.62*
Długość tułowia	0.19	-0.60*	-0.17	-0.58*	0.43	-0.07	0.07	-0.02
Szerokość barków	0.32	-0.31	0.09	-0.16	0.12	-0.07	0.12	0.09
Szerokość barków _{ST}	0.14	-0.03	-0.36	-0.53	0.18	-0.11	0.28	0.35
Szerokość miednicy	0.08	-0.02	0.56*	0.40	0.06	-0.01	0.23	0.06
Długość kończyny dolnej	0.74*	0.18	0.08	0.20	0.54*	0.50	0.19	0.68*
Długość kończyny górnej	0.27	0.19	0.58*	0.57*	0.45	0.08	0.45	0.48
Długość kończyny górnej _{ST}	-0.08	-0.01	-0.31	-0.24	-0.02	0.01	0.07	-0.34
Długość stopy	0.20	-0.13	-0.39	-0.39	0.12	-0.08	0.22	-0.33

_{ST} - w pozycji "strzałki", Hands - czasem kontaktu kończyn górnych z platformą startową; Rear foot - czasem odbicia kończyną zakroczną, Front foot - czasem odbicia kończyną wykroczną, Movement - czasem odbicia od platformy startowej, * poziom istotności statystycznej na $p \leq 0.05$

Badając zależności pomiędzy rozpatrywanymi parametrami antropometrycznymi a parametrami czasowo-przestrzennymi poszczególnych faz startu (Tabela. 6), w grupie kobiet istotną korelację wykazano pomiędzy czasem i długością lotu a długością tułowia ($p = 0.002$; $p = 0.010$). Natomiast w grupie mężczyzn odległość pokonana w fazie lotu istotnie korelowała z większą masą ciała ($p = 0.002$), większą długością kończyny górnej ($p = 0.002$) oraz na niższym poziomie istotności z większą wysokością ciała badanych w pozycji anatomicznej.

Tab. 6

Wyniki analizy korelacji Pearsona (r) przeprowadzonej pomiędzy rozpatrywanymi parametrami antropometrycznymi a parametrami opisującymi czasowo-przestrzenną strukturę wykonania fazy lotu. Dane przedstawiono z rozróżnieniem na płeć.

parametry	KOBIETY		MĘŻCZYŹNI	
	Długość lotu	Czas lotu	Długość lotu	Czas lotu
Masa ciała	0.45	0.42	0.75*	0.25
Wysokość ciała	0.12	-0.17	0.50	-0.18
Wysokość ciała _{ST}	0.22	0.17	0.28	0.30
Długość tułowia	0.74*	0.67*	0.49	0.40
Szerokość barków	0.29	0.32	0.27	0.19
Szerokość barków _{ST}	-0.18	-0.02	0.01	0.06
Szerokość miednicy	0.25	0.00	0.11	-0.03
Długość kończyny dolnej	-0.04	-0.27	0.21	-0.25
Długość kończyny górnej	-0.09	-0.35	0.58*	0.00
Długość kończyny górnej _{ST}	0.05	0.13	0.03	0.10
Długość stopy	0.03	-0.07	0.12	-0.07

_{ST} - w pozycji "strzałki", * poziom istotności statystycznej na $p \leq 0.05$

Wyniki przeprowadzonych analiz dla faz odbywających się w środowisku wodnym zaprezentowano w Tabeli 7. Biorąc pod uwagę czasową strukturę omawianych faz startu u kobiet, najsilniejszą korelację uzyskano pomiędzy czasem pokonania odcinka zawartego pomiędzy 10 m a 15 m od krawędzi platformy startowej a następującymi parametrami antropometrycznymi: wysokością ciała w pozycji anatomicznej ($p = 0.047$), szerokością barków w pozycji „strzałki” ($p = 0.003$), długością kończyny górnej ($p = 0.010$). Mężczyźni o wyższej masie ciała potrzebowali mniej czasu nie tylko na pokonanie dystansu 15 m od linii startu ($p = 0.008$), ale również jego kolejnych pięciometrowych odcinków. U mężczyzn w części podwodnej (10 – 15 m) zanotowano istotną pozytywną korelację z szerokością barków ($p = 0.036$). Dla obu grup otrzymano negatywne wartości współczynnika korelacji pomiędzy czasem pokonania dystansu pomiędzy 10m a 15m a wysokością ciała ($p < 0.045$).

Tab. 7

Wyniki analizy korelacji Pearsona (r) przeprowadzonej pomiędzy rozpatrywanymi parametrami antropometrycznymi a parametrami opisującymi kinematyczną strukturę wykonania faz odbywających się w środowisku wodnym. Dane przedstawiono z rozróżnieniem na płeć.

Parametry	KOBIECY				MĘŻCZYŹNI			
	5m	5-10m	10-15m	15m	5m	5-10m	10-15m	15m
Masa ciała	-0.11	0.10	-0.35	-0.17	-0.60*	-0.47	-0.67*	-0.67*
Wysokość ciała	-0.03	0.15	-0.57*	-0.24	-0.18	-0.13	-0.54*	-0.38
Wysokość ciała $_{ST}$	-0.21	-0.29	-0.07	-0.29	0.05	0.11	-0.22	-0.07
Długość tułowia	-0.39	-0.28	-0.04	-0.33	-0.35	-0.23	-0.18	-0.26
Szerokość barków	0.17	0.30	-0.15	0.16	-0.58*	-0.29	-0.56*	-0.53*
Szerokość barków $_{ST}$	-0.24	-0.21	0.72*	0.20	0.50	0.52	0.15	0.39
Szerokość miednicy	0.18	0.45	-0.43	0.10	-0.36	-0.18	-0.18	-0.24
Długość kończyny dolnej	0.15	-0.20	-0.14	-0.16	0.26	0.23	-0.06	0.11
Długość kończyny górnej	0.13	-0.10	-0.64*	-0.40	-0.24	-0.23	-0.37	-0.34
Długość kończyny górnej $_{ST}$	-0.16	-0.39	0.34	-0.11	0.49	0.50	0.44	0.54*
Długość Stopy	-0.14	-0.31	0.33	-0.05	0.10	0.22	-0.16	0.03

$_{ST}$ - w pozycji „strzałki”, * poziom istotności statystycznej na $p \leq 0.05$

Związki korelacyjne pomiędzy wybranymi parametrami antropometrycznymi a preferowaną przez uczestników badań pozycją panelu tylnego platformy startowej zostały przedstawione w Tabeli 8. Przeprowadzone analizy wykazały, że pływacy obu płci charakteryzujący się większą wysokością ciała oraz większą długością kończyny górnej preferują ułożenie panelu tylnego dalej od przedniej krawędzi platformy startowej ($p < 0,017$). Warto zauważyć, że wyniki pomiaru wysokości ciała w pozycji anatomicznej korelują istotnie z ustawieniem panelu tylnego ($p = 0.016$) w przeciwieństwie do wyników pomiarów wykonanych w pozycji strzałki ($p > 0.05$). Jednocześnie w grupie mężczyzn, odsunięcie ku tyłowi panelu tylnego szło w parze z długością kończyny dolnej i z długością stopy ($p > 0.05$).

Tab. 8

Wyniki analizy korelacji Pearsona (r) przeprowadzonej pomiędzy rozpatrywanymi parametrami antropometrycznymi a preferowaną przez uczestników badań pozycją panelu tylnego platformy startowej. Dane przedstawiono z rozróżnieniem na płeć.

Parametry	KOBIECY	MĘŻCZYŹNI
Masa ciała	0.01	0.44
Wysokość ciała	0.65*	0.51
Wysokość ciała $_{ST}$	-0.04	0.31
Długość tułowia	-0.26	0.21
Szerokość barków	-0.31	0.06
Szerokość barków $_{ST}$	-0.13	0.07
Szerokość miednicy	0.49	0.42
Długość kończyny dolnej	0.34	0.43
Długość kończyny górnej	0.62*	0.68*
Długość kończyny górnej $_{ST}$	0.18	0.28
Długość stopy	-0.11	0.44

$_{ST}$ - w pozycji „strzałki”, * poziom istotności statystycznej na $p \leq 0.05$



DUSKUSJA

W niniejszej pracy podjęto próbę określenia wpływu wybranych cech antropometrycznych pływaków na skuteczność wykonania skoku startowego w aspekcie biomechanicznym. Poszukiwano także związku pomiędzy budową ciała pływaków wysokiej klasy a preferowanym przez nich ustawieniem tylnego panelu platformy startowej. Powyższe cele realizowano przy założeniu, że porównanie parametrów czasowo-przestrzennych opisujących pozycję startową i poszczególne fazy skoku startowego z parametrami antropometrycznymi (prostymi w pomiarze) pływaków różnych płci ujawni zbiór cech mających istotny wpływ na jakość techniki startu w aspekcie jego skuteczności.

Porównanie wyników pomiarów antropometrycznych u pływaków reprezentujących międzynarodowy poziom sportowy potwierdziło istnienie różnic płciowych w obrębie rozpatrywanych cech budowy somatycznej (Tab. 3). W porównaniu do kobiet, u mężczyzn zmierzono większą masę ciała, wysokość ciała, długość tułowia, szerokość barków oraz długość stopy (Tab. 3). Statystyczny zakres zmienności parametrów budowy ciała w obu grupach był zbliżony do wyników uzyskanych przez innych badaczy [8,13,14,23,24,25,26]. Na tym tle zróżnicowanie budowy ciała jako konsekwencji przynależności do danej płci wydaje się bezdyskusyjne. Niemniej jednak należy podkreślić, że budowa somatyczna pływaków jest również determinowana podatnością na specyficzne bodźce treningowe stosowane podczas wieloletniego ukierunkowanego treningu pływackiego z dużym [8,25], a wpływ cech antropometrycznych pływaków na predyspozycje do osiągnięcia sukcesów sportowych został wskazany w wielu pracach [6,7]. Mimo wszystko różnice somatycznym potencjale motorycznym kobiet i mężczyzn ujawniają się zarówno w efektywności i ekonomiczności pływania jak i innych elementów technicznych decydujących o wyniku sportowym (skok startowy, nawrót) a potęgują je specyficzne warunki przemieszczania się ciała człowieka w wodzie (hydrodynamika) i w przestrzeni (bez kontaktu z podłożem).

Generalnie pływaczki charakteryzują się niższą wysokością i mniejszą masą ciała, drobniejszą budową ciała, krótszymi kończynami dolnymi oraz większą procentową zawartością tkanki tłuszczowej a w konsekwencji również mniejszą gęstością ciała [26-28]. Różnice międzypłciowe będą się także objawiały w zdolnościach do generowania siły mięśniowej [29]. Wspomniane cechy sprzyjają u kobiet ekonomiczności pływania [27,28] natomiast nie predestynują ich do generowania i wykorzystania siły eksplozywnej, kluczowej dla skuteczności skoku [18]. Stąd przekonanie, że rozbieżności pomiędzy sprawnością a ekonomicznością ruchów u obu płci będą bardziej widoczne w ćwiczeniach odbywających się na lądzie, niż tych wykonywanych w wodzie, w odciążeniu będącym efektem działania siły wyporu [22,30]. Zatem reasumując - fakt, że pływacy płci męskiej uzyskali przewagę nad kobietami skracając czas startu mierzony na dystansie 15 m jak i 5m (Tab. 3) (tak jak chłopcy badani przez Wędrzyka i wsp. [13,14], należy interpretować w szerszym kontekście. Mianowicie z uwzględnieniem pojawiających się na tym tle różnic w strukturze czasowo-przestrzennej skoku startowego kobiet i mężczyzn zależnie od specyfiki działań odbywających się na lądzie (faza na bloku), w powietrzu bez kontaktu z podłożem (faza lotu) i w fazach wykonywanych w wodzie.

POZYCJA STARTOWA

Przeprowadzone analizy wykazały, że pływacy obu płci charakteryzujący się większą wysokością ciała oraz dłuższą kończyną górną preferują ustawienie panelu tylnego dalej od przedniej krawędzi platformy startowej (Tab. 8). W przypadku grupy mężczyzn dalsze ustawienie panelu zależało w mniejszym stopniu także od długości kończyn dolnych i stóp (Tab. 8). Ze względu na stałą pozycję nogi wykroczonej (w kontakcie z przednią krawędzią platformy startowej) umiejscowienie panelu tylnego determinuje odległość pomiędzy stopami na bloku startowym. W konsekwencji długości kończyn górnych i dolnych determinują pozycję pływaka przed startem, w momencie sygnału startowego i podczas fazy odbicia. Od tych cech antropometrycznych zależą bowiem: zakresy zgięcia w poszczególnych stawach kończyn dolnych, położenie bioder względem przedniej krawędzi platformy startowej i ustawienie tułowia [21,31] a więc i parametry decydujące o wartościach sił reakcji podłoża, które stanowią główny komponent siły odbicia przekładającej się na skuteczność kolejnych faz skoku [20]. Doniesienia naukowe wskazują, że ustawienie panelu tylnego w odległości równej długości podudzia pływaka ma korzystny wpływ na efektywność startu. W efekcie takiego ułożenia uzyskano najkrótszy czas reakcji na sygnał startowy [15] oraz zredukowano czas odbicia od platformy startowej [16]. Położenie poszczególnych segmentów ciała względem siebie w pozycji startowej i w fazie odbicia, decyduje więc o efektywności startu [32,33].

Do tej pory, zdecydowanie więcej analiz zostało przeprowadzonych w odniesieniu do startu lekkoatletycznego. W literaturze przedmiotu można znaleźć szereg przykładów analogi startu na lądzie do startu pływackiego (Rejman i wsp. 2017). Powołując się na te analogie można przytoczyć fakt, że najprostszy a zarazem najczęściej stosowany sposób ustawienia bloku startowego w lekkiej atletyce odnosi się do długości stopy zawodnika [34]. Wspomniani badacze, a także Cavedon i wsp. [35] wskazują także, że pozycja podpórek bloku startowego (start block pads) powinna uwzględniać długość kończyn dolnych. Co istotne, właściwe umiejscowienie elementów bloku będzie determinowało uzyskanie optymalnej z mechanicznego punktu widzenia pozycji startowej, a w konsekwencji rozwinięcie wysokiej prędkości startowej [36]. Dlatego, poszukując optymalnego ułożenia ciała w trakcie startu lekkoatletycznego, przy ustawieniu podpórek bloku startowego skupiono się przede wszystkim na wartościach kątowych w stawach kończyn dolnych oraz wysokości ułożenia bioder [35,37,38,39]. Również znaczenie ułożenia tułowia zostało podkreślone w aspekcie maksymalnego wykorzystania posiadanego potencjału mięśniowego u sprinterów [37].

Uzyskane wyniki i ich konfrontacja ze stanem wiedzy w obszarze lekkoatletyki wskazują na istnienie wyraźnej potrzeby dalszego poszukiwania obiektywnych przesłanek opisujących sposób ułożenia ciała pływaka na platformie startowej, co pozwoli na zrozumienie związków przyczynowo skutkowych pomiędzy cechami budowy ciała pływaków a optymalną pozycją startową i umożliwi indywidualizację treningu skoku startowego z uwagi na predyspozycje somatyczne sportowców (Pietraszewska i wsp., 2015).

FAZA BLOKU

W grupie mężczyzn większa wysokość ciała szła w parze z wydłużeniem czasu odbicia od platformy startowej zaś u kobiet wydłużeniu czasu odbicia sprzyjał krótszy tułów i dłuższe kończyny górne (Tab. 5). Kibele i wsp. wskazali na istnienie różnic w czasie odbicia jako konsekwencji ułożenia bioder ku pionowi a więc poniekąd i wysokości ciała pływaka jak i długości segmentów kończyn [31]. Interpretację tych wyników oparto na założeniu, że odniesienie praw ruchu obrotowego do układu segmentów ciała pływaka przemieszczających się względem siebie i względem danego układu odniesienia może być źródłem obiektywnych informacji wyjaśniających mechanizm skutecznego skoku startowego [40]. Moment siły zdefiniowany jako iloczyn siły (mięśni) i jej ramienia (długości dźwigni kostnych kończyn dolnych), jako miara zdolności pływaka do wywołania obrotu ciała względem przedniej krawędzi platformy startowej (dźwignia jednostronna) a następnie inicjowania rotacji ciała wokół osi poprzecznej, decyduje o uzyskanym przyspieszeniu kątowym (dynamice odbicia od platformy startowej) [41]. Biorąc pod uwagę moment bezwładności (przy danej prędkości lub sile generowanej do momentu odbicia), większa długość ciała – jego segmentów - będzie powodowała, wydłużenie czasu przemieszczenia ciała pływaka (o określoną odległość w linii prostej) od sygnału startu do momentu zakończenia odbicia. Z kolei moment pędu wygenerowany w płaszczyźnie strzałkowej na skutek odbicia od platformy startowej, zdeterminuje prędkość kątową lotu, a w konsekwencji trajektorię lotu oraz kąt wejścia ciała pływaka do wody [42].

FAZA LOTU

W grupie mężczyzn długość fazy lotu zwiększała się istotnie statystycznie wraz z wzrostem masy ciała oraz długością kończyny górnej oraz na granicy istotności statystycznej ($r = .50$) korelowała dodatnio z wysokością ciała (Tabela 6). W grupie kobiet długość fazy lotu istotnie korelowała z długością tułowia a długość tułowia z czasem fazy lotu (Tabela 6). Interpretując uzyskane wyniki w odniesieniu do wybranych testów skoczności można założyć, że obok czynników biomechanicznych i fizjologicznych, wysokość skoku jest determinowana budową somatyczną badanych, między innymi: masą i wysokością ciała oraz długością kończyn dolnych [43,44]. Jakkolwiek kierunek odbicia i lotu w starcie pływackim jest raczej ku przodowi, a niżeli ku górze [45], to zawsze większa masa ciała (u mężczyzn) będzie powodowała szybsze jego „opadanie”. O ile nie ma wątpliwości co do negatywnego wpływu na parametry lotu wysokiej procentowej zawartości tkanki tłuszczowej w organizmie [46,47], to zwiększenie przekroju poprzecznego mięśnia (a więc i jego masy) skutkuje wzrostem siły mięśniowej, transferowanej na siłę i prędkości odbicia, które decydują w dużej mierze o długości lotu [24,48]. Zważywszy, że, sportowcy płci męskiej w porównaniu z kobietami, charakteryzują się większą siłą oraz mocą przydatną w konkurencjach skocznościowych [49,50], nie są zaskoczeniem różnice w parametrach charakteryzujących fazę lotu [51,52]. O ile naukowcy nie są zgodni co do korzyści płynących z dużej wysokości ciała w odniesieniu do relatywnej wysokości wyskoku pionowego czy skoku w [53-56], to długość kończyn wydaje się sprzyjać osiągnięciu lepszych rezultatów.

FAZY ODBYWAJE SIĘ W ŚRODOWISKU WODNYM

Czas trwania faz obejmujących działania w środowisku wodnym stanowi około 84 % całkowitego czasu startu [57]. Fazy te ze względu na specyfikę działań ruchowych zostały nazwane: fazą poślizgu, fazą wykonywania ruchów napędowych kończynami dolnymi i fazą pływania [9,10]. Istnieją racjonalnie przesłanki aby analizę wpływu cech antropometrycznych na skuteczność wykonania wymienionych faz skoku opierać na zależnościach wynikających z mechaniki płynów [7,58].

W grupie mężczyzn, pływacy o wyższej masie ciała potrzebowali mniej czasu na pokonanie kolejnych pięciometrowych odcinków dystansu 15 m od linii startu (Tabela 7). Dla obu grup odnotowano natomiast odmienny kierunek powiązań (ujemna wartość współczynnika korelacji) pomiędzy masą ciała i wysokością ciała, a czasami pokonania dystansu pomiędzy 10 a 15m (Tabela 7). Uzyskane wyniki badań potwierdzają odwrotną zależność pomiędzy wysokością ciała a wymiarem generowanego oporu falowego [59] wynikającą między innymi z wielkości liczby Freuda wyznaczanej na podstawie długości ciała i prędkości z jaką przemieszcza się ono w wodzie [6]. Barbosa i wsp. badając kształt ciała pływaków pod kątem oceny hydrodynamiki fazy poślizgu, wykazali, że masa ciała, wysokość ciała oraz powierzchnia ciała miały istotny wpływ na efektywność tej fazy [60]. Jednocześnie wykluczono wpływ badanych cech antropometrycznych na wielkość siły wyporu. Taki związek w przypadku tkankowego składu ciała potwierdzając tezę, prawdziwą dla fazy pływania po powierzchni wody, że dzięki większej wyporności ciało pływaka jest mniej zanurzone i generuje mniejsze siły oporu [61,62]. W fazie poślizgu odbywającej się co najmniej 0,6 m pod powierzchnią wody, komponent oporu falowego zostaje zredukowany [63,64], a zatem w porównaniu do pływania na powierzchni, w trakcie pływania pod wodą znaczenie masy i długości ciała maleje [59].

W grupie kobiet, w fazie podwodnej (5-10m) zaobserwowano, że największy wpływ na jej czas trwania miała szerokość bioder (Tabela 7). Natomiast u mężczyzn dominowała zależność pomiędzy czasem pokonania odcinka 5-10 m a szerokością barków oraz długością kończyny górnej zmierzonych w pozycji strzałki (Tab. 7). Warto zauważyć, że te wyniki odzwierciedlają podstawowe cechy budowy ciała różnicujące obie płcie. Wiadomo, że „Opór czołowy zmienia się wprost proporcjonalnie do wielkości przekroju czołowego” a więc szersze barki i szersze biodra powiększają projekcję powierzchni oporującej ciała kobiet i mężczyzn. Jednocześnie jednak zarówno współczynnik całkowitego oporu hydrodynamicznego jak i jego składowe zależne są od kształtu ciała przemieszczającego się w wodzie. W przypadku ciała człowieka najistotniejszy jest kształt tułowia [65]. Tu, charakterystyczny dla pływaków płci męskiej kształt tułowia przypominający odwrócony trójkąt (utożsamiony z kształtem kropli wody) a wyznaczany wskaźnikiem biodrowo-barkowym (biacromial/bi-iliac diameter index) sprzyja minimalizacji współczynnika oporu [17,66].

W grupie kobiet o mniej korzystnych proporcjach biodrowo-barkowych, zawodniczki o węższych barkach i dłuższych kończynach górnych wykazały się większą efektywnością pokonania odcinka pomiędzy 10 m a 15 m (Tab. 7).

Wydaje się zatem, że ze względu na wspomniane proporcje, cechą sprzyjającą skuteczności tego elementu skoku u kobiet będą długie kończyny górne. Zważywszy że w omawianym fragmencie startu ruch kończyn dolnych jest głównym źródłem napędu pływaka ich długość jest cechą mającą pozytywny wpływ na skuteczność pływania [7,24,67,68,69]. Dzięki dłuższym kończynom pływak jest w stanie pokonać dłuższy dystans przy relatywnie mniejszej ilości cykli ruchowych [70], jak i wygenerować większą siłę napędową [71].

Opisane w niniejszej pracy zależności pomiędzy cechami somatycznymi pływaków a złożoną strukturą wykonania pływackiego skoku startowego, eksplorują jedynie jeden z aspektów problemu jego skutecznego wykorzystania do osiągnięcia sukcesu w wyścigu pływackim. Na czas startu – główne kryterium jego skuteczności – istotny wpływ ma wiele czynników warunkowych, biomechaniką, fizjologią, genetyką i konstrukcją psychiczną pływaka. Co więcej pozostają one ze sobą w ścisłych związkach o rozmaitych konfiguracjach. Dlatego intencją niniejszej pracy było stworzenie przesłanek naukowych, zwracających uwagę na zależność pomiędzy budową ciała pływaków a kinematyką wykonania skoku startowego, które mogą się wpisać w nurt poszukiwania kierunków optymalizacji techniki skoku startu, w celu podniesienia jej skuteczności. Ilość zmiennych antropometrycznych włączonych do analizy możnaby interpretować jako ograniczenie przeprowadzonych badań. Jednak ich wybór opierał się na przesłankach wynikających z aktualnego stanu wiedzy, z zamiarem zapewnienia zestawu zmiennych łatwych do zmierzenia również dla sztabu szkoleniowego.

WNIOSKI

Porównanie parametrów czasowo-przestrzennych opisujących pozycję startową i poszczególne fazy skoku startowego z parametrami antropometrycznymi u pływaków obu płci, ujawniło zbiór następujących cechy mające istotny wpływ na jakość techniki startu w aspekcie jego skuteczności: masa ciała, wysokość ciała, szerokość barków oraz długość kończyny górnej. Wielkość wpływu poszczególnych parametrów antropometrycznych zmieniała się w zależności od fazy skoku startowego. Ponadto, istnienie wskazanych zależności pomiędzy budową somatyczną uczestników badań a kinematyczną strukturą wykonania pływackiego skoku startowego istotnie różniło się ze względu na płeć badanych sportowców.

Przeprowadzone analizy wykazały, że pływacy (bez wglądu na płeć) o mniejszej wysokości ciała oraz krótszych kończynach górnych wybierali pozycję panelu tylnego znajdujące się bliżej przedniej krawędzi platformy startowej. Istnieją przesłanki by sądzić, że świadomy wybór pozycji startowej w oparciu o indywidualny profil antropometryczny zawodnika może skutkować poprawą jakości techniki wykonania skoku startowego.

O skuteczności fazy na bloku u kobiet decydowały długość tułowia oraz kończyny górnej. Natomiast dla mężczyzn jako najistotniejsze cechy budowy ciała wskazano wysokość ciała oraz długość kończyny dolnej. W trakcie fazy lotu, na startowym mężczyźni charakteryzujący się większą wysokością i masą ciała zyskiwali przewagę pokonując dłuższy dystans nad powierzchnią wody. Kobiety o dłuższym tułowiu przemieszczały się dalej nad powierzchnią wody w trakcie fazy lotu, przeznaczając jednocześnie mniej czasu na ten element skoku. W grupie mężczyzn wyższa masa ciała oraz szersze barki istotnie determinowały skrócenie nie tylko czasu pokonania dystansu 15 m od linii startu ale i poszczególnych pięciometrowych odcinków.

W sferze aplikacyjnej niniejsze badania dostarczyły informacji o zbiorze prosty w pomiarze cechach budowy ciała kobiet i mężczyzn, które jednocześnie wydają się kluczowe dla badaczy i trenerów pływania w obszarach monitorowania potencjału sportowego, obiektywizacji oceny techniki skoku startowego, służąc usprawnieniu proces treningowego szczególnie w aspekcie jego indywidualizacji. W tym względnie wyniki grupy pływaków reprezentujących najwyższy poziom sportowy, stanowią źródło rzetelnych danych referencyjnych. W dalszej perspektywie mogą one posłużyć do modelowania predykcji zmian w technice startu pływackiego celem podniesienia jego skuteczności.

Projekt dofinansowano z grantu „Porównanie profili antropometrycznych pływaków wysokiej klasy sportowej z Polski, Portugalii i Norwegii ze względu na specjalizację stylową i odmienny somatotyp populacji”, finansowanego ze środków Akademii Wychowani Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu. Numer umowy: PN/BK/M/202005.

LITERATURA

1. Marinho DA, Barbosa TM, Neiva HP, Silva AJ, Morais JE. Comparison of the Start, Turn and Finish Performance of Elite Swimmers in 100 m and 200 m Races. *J Sports Sci Med* 2020; 19(2):397-407, PMID: 32390734; PMCID: PMC7196746
2. Figueiredo P, Silva A, Sampaio A, Fernandes RJ. Front crawl sprint performance: a cluster analysis of biomechanics, energetics, coordinative, and anthropometric determinants in young swimmers. *Motor Control* 2016; 20(3):209-21, DOI 10.1123/mc.2014-0050
3. Morais JE, Saavedra JM, Costa MJ, Silva AJ, Marinho DA, Barbosa TM. Tracking young talented swimmers: follow-up of performance and its biomechanical determinant factors. *Acta Bioeng Biomech* 2013; 15(3):129-38, PMID 24215298
4. Pelayo P, Alberty M. The history of swimming research. *World book of swimming: From Science to Performance*; 2011, ISBN 978-1-61668-202-6
5. Zacca R, Azevedo R, Chainok P, Vilas-Boas JP, Castro FADS, Pyne DB, Fernandes RJ. Monitoring age-group swimmers over a training macrocycle: energetics, technique, and anthropometrics. *J Strength Cond Res* 2020; 34(3):818-827, DOI 10.1519/JSC.0000000000002762
6. Kjendlie PL, Stallman R. Morphology and swimming performance. *World Book of Swimming. From Science to Performance. New York: Nova*; 2011:203-222, ISBN 9781616682026
7. Alves M, Carvalho DD, Fernandes RJ, Vilas-Boas JP. How anthropometrics of young and adolescent swimmers influence stroking parameters and performance? A systematic review. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19(5):2543, DOI 10.3390/ijerph19052543
8. Rejman M, Tyc Ł, Kociuba M, Bornikowska A, Rudnik D, Kozieł S. Anthropometric predispositions for swimming from the perspective of biomechanics. *Acta Bioeng Biomech* 2018; 20(4):151-159, PMID 30821288.
9. Blanco, S. T., de la Fuente Caynzos, B., & Colomina, R. A. (2017). Ventral swimming starts, changes and recent evolution: A systematic review. *RETOS. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación* 2017; 32:279-288, DOI 10.47197/RETOS.V0132.49535
10. Vantorre J, Chollet D, Seifert L. Biomechanical analysis of the swim-start: a review. *J Sports Sci Med* 2014; 13(2):223-231. PMID 24790473; PMCID PMC3990873
11. Alpetkin A. Body composition and kinematic analysis of the grab start in youth swimmers. *J Hum Kinet* 2014; 10(42):15–26, DOI 10.2478/hukin-2014-0057

12. Cornett A, White J, Wright B, Willmott A, Stager J. Racing start safety: head depth and head speed during competitive swim starts into a water depth of 2.29 m. *Int J Aquatic Research Edu* 2011; 5(1): 14–18, DOI 10.25035/ijare.05.04.06.
13. Wądrzyk Ł, Staszkievicz R, Kryst Ł. Somatic build and kinematic variables of a swim start of young swimmers. In: ed. Rejman M, Zatoń K, Szczepan, S. *SWIMMING VII* 2018; 99, ISBN 978-83-64354-35-9
14. Wądrzyk Ł, Staszkievicz R, Zeglen M, Kryst Ł. Relationship between somatic build and kinematic indices of underwater undulatory swimming performed by young male swimmers. *Int J Perf Anal Sport* 2021; 21(3):435-450, DOI 10.1080/24748668.2021.1909450
15. Cicienia, A., Oster, C., & Mokha, M. (2019). Kick plate position and track start biomechanics in elite swimmers. *J. Exerc. Nutr.* 2019;2(3):12, ISSN 2640-2572
16. Cicienia A, Oster C, Mokh G. Using shin length to determine kick plate position optimizes select swim start mechanics in elite swimmers. In: Robinson MA, Lake MJ, Baltzopoulos V, Vanrenterghem J (ed.), Proceedings of the 38th Conference of the International Society of Biomechanics in Sports *ISBS Proceedings Archive* 2020; 38(1): 880-883.
17. Maglischo EW. *Swimming fastest*, Human Kinetics, Leeds, 2003, ISBN 0-7360-3180-4
18. Rejman M, Bilewski M, Szczepan S, Klarowicz A, Rudnik D, Maćkała K. Assessing the impact of a targeted plyometric training on changes in selected kinematic parameters of the swimming start. *Acta Bioeng Biomech* 2017; 19(2):149-160, PMID 28869635
19. Vilas-Boas, J, De Jesus K, Mourão L, Roesler H, De Jesus K, Fernandes RJ, Vaz M. A novel dynamometric central for 3D forces and moments assessment in swimming starting. In: the XIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming 28 April to 2 May 2014 Australian Institute of Sport, Canberra 2014; 135-136, ISBN 978-0-646-91869-3
20. de Jesus K, de Jesus K, Fernandes RJ, Vilas-Boas JP. Back plate and wedge use and individual ventral and dorsal swimming start performance: a systematic review. *Sports Biomech* 2023; 22(12):1634-1658, DOI 10.1080/14763141.2021.2016924
21. Rudnik, D, Rejman M, Machado L, Fernandes RJ, Vilas-Boas JP. Does the back plate position influence swimming start temporal characteristics?. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 26(19):2722, DOI 10.3390/ijerph19052722
22. Rudnik DM, Rejman M, Vilas-Boas JP. The kinematic profile of ventral swimming start: sex diversity. *Front Physiol* 2023; 14:1157359, DOI 10.3389/fphys.2023.1157359
23. Morais JE, Marques MC, Rodríguez-Rosell D, Barbosa TM, Marinho DA. Relationship between thrust, anthropometrics, and dry-land strength in a national junior swimming team. *Phys Sports Med* 2020; 48(3):304–311, DOI 10.1080/00913847.2019.1693240
24. Oliveira M, Henrique RS, Queiroz DR, Salvina M, Melo WV, Moura Dos Santos MA. Anthropometric variables, propulsive force and biological maturation: A mediation analysis in young swimmers. *Eur J Sport Sci* 2021; 21(4):507-514, DOI 10.1080/17461391.2020.1754468
25. Rejman M, Nevill AM, Garrido ND, Rudnik D, Morais JE. Identification of key somatic features that are common and the ones that differ between swim strokes through allometric modeling. *Front Sports Act Living* 2023;5:1308033, DOI 10.3389/fspor.2023.1308033.
26. Rudnik D, Vilas-Boas JP, Rejma M. A body composition profile of high-level swimmers: the reference data. In: *Młodzi Naukowcy Nauki medyczne i nauki o zdrowiu* 2019; 104-110, e-ISBN 978-83-66139-94-7
27. Lavoie JM, Montpetit RR. Applied physiology of swimming. *Sports Med* 1986; 3(3):165-189, DOI 10.2165/00007256-198603030-00002
28. Pendergast DR, Di Prampero PE, Craig AB Jr, Wilson DR, Rennie DW. Quantitative analysis of the front crawl in men and women. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 1977; 43(3):475-49, DOI 10.1152/jappl.1977.43.3.475
29. Newton R. Strength and conditioning priorities for elite swimming athletes. In: the XIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming 28 April to 2 May 2014 Australian Institute of Sport, Canberra. 2014, ISBN 978-0-646-91869-3
30. Senefeld J, Joyner MJ, Stevens A, Hunter SK. Sex differences in elite swimming with advanced age are less than marathon running. *Scand J Med Sci Sports* 2016; 26(1):17-28, DOI 10.1111/sms.12412
31. Kibele A, Biel K, Fischer S. Optimising individual stance position in the swim start on the OSB11. In: the XIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming 28 April to 2 May 2014 Australian Institute of Sport, Canberra. 2014; 158–163, ISBN 978-0-646-91869-3
32. Harland MJ, Steele JR. Biomechanics of the sprint start. *Sports Med* 1997; 23(1):11-20, DOI 10.2165/00007256-199723010-00002
33. Takeda, T, Takagi H, Tsubakimoto S. Effect of inclination and position of new swimming starting block's back plate on track-start performance. *Sports Biomech* 2011; 11(3):370–381, DOI 10.1080/14763141.2011.637122
34. Schot PK, Knutzen KM. A biomechanical analysis of four sprint start positions. *Res Q Exerc Sport* 1992; 63(2):137-47, DOI 10.1080/02701367.1992.1060757
35. Cavedon V, Bezodis NE, Sandri M, Golia S, Zancanaro C, Milanese C. Effect of different anthropometry-driven block settings on sprint start performance. *Eur J Sport Sci* 2023; 23(7):1110-1120, DOI 10.1080/17461391.2022.2153347
36. Cavedon V, Sandri M, Pirlo M, Petrone N, Zancanaro C, Milanese C. Anthropometry-driven block setting improves starting block performance in sprinters. *PLoS One* 2019; 27;14(3):e0213979, DOI 10.1371/journal.pone.0213979
37. Borzov, V. The optimal starting position in sprinting. *Legkaya Atletika* 1978; 4(10), 173-174.
38. Čoh M, Jošt B, Škof B, Tomažin K, Dolenc A. Kinematic and kinetic parameters of the sprint start and start acceleration model of top sprinters. *Gymnica* 1998; 28, 33-42.
39. Mero A, Luhtanen P, Komi PV. A biomechanical study of the sprint start. *Scand J Med Sci Sports* 1983; 5(1):20-8,
40. Taladriz S, de la Fuente-Caynzos B, Arellano R. Analysis of angular momentum effect on swimming kick-start performance. *J Biomech* 2016; 14;49(9):1789-1793, DOI 10.1016/j.jbiomech.2016.04.012
41. Grimshaw P, Fowler N, Lees A, Burden A. BIOS Instant Notes in Sport and Exercise Biomechanics (1st ed.). *Routledge* 2006; 115-148 DOI 10.4324/9780203488300
42. McLean SP, Holthe MJ, Vint PF, Beckett KD, Hinrichs RN. Addition of an Approach to a Swimming Relay Start. *J Appl Biomech* 2000; 16(4):342-355, DOI 10.1123/jab.16.4.342
43. Fattahi A, Ameli M, Sadeghi H. Relationship between anthropometric parameters with vertical jump in male elite volleyball players due to game's position. *J Human Sport Exer* 2012; 7(3):714-726, DOI 10.4100/jhse.2012.73.11
44. Aouadi R, Jlid M, Khalifa R, Hermassi S, Chelly M, Van Den Tillaar R, Gabbett T. Association of anthropometric qualities with vertical jump performance in elite male volleyball players. *J Sports Med Phys Fitness* 2012; 52(1):11-7, DOI 10.4100/jhse.2012.73.11
45. Arellano R, Llana S, Tella V, Morales E, Mercade J. (2005). A comparison CMJ, simulated and swimming grab-start force recordings and their relationships with the start performance. In: Q Wang (Ed.), Proceedings of the XXIII international symposium of biomechanics in sports. Beijing: China Institute of Sport Science 2005; 923-926,
46. Roschel H, Batista M, Monteiro R, Bertuzzi RC, Barroso R, Loturco I, Ugrinowitsch C, Tricoli V, Franchini E. Association between neuromuscular tests and kumite performance on the brazilian karate national team. *J Sports Sci Med* 2009; 1;8(CSS13):20–24, PMID 24474882
47. Abidin NZ, Adam MB. Prediction of vertical jump height from anthropometric factors in male and female martial arts athletes. *Malays J Med Sci* 2013; 20(1):39-45, PMID 23785254; PMID PMC3684376
48. Pelayo P, Sidney M, Kherif T, Chollat D, Tourny C. Stroking characteristics in freestyle swimming and relationships with anthropometric characteristics. *J. Appl. Biomech* 1996; 12:197–206, DOI 10.1123/JAB.12.2.197
49. Nuzzo, James L. Narrative Review of Sex Differences in Muscle Strength, Endurance, Activation, Size, Fiber Type, and Strength Training Participation Rates, Preferences, Motivations, Injuries, and Neuromuscular Adaptations. *J Strength Cond Res* 2023; 37(2)494-536, DOI 10.1519/JSC.0000000000004329
50. West DJ, Owen NJ, Cunningham DJ, Cook CJ, Kilduff LP. Strength and power predictors of swimming starts in international sprint swimmers. *J Strength Cond Res* 2011;25(4):950-5, DOI 10.1519/JSC.0b013e3181c8656f
51. Bishop C, Cree J, Read P, Chavda S, Edwards M, Turner A. Strength and conditioning for sprint swimming. *Strength Cond J* 2013; 35(6):1-6, DOI 10.1519/SSC.0000000000000019
52. Cossor J, Slawson S, Shillabeer B, Conway P, West A. Are land tests a good predictor of swim start performance?. 29 International Conference on Biomechanics in Sports Proceedings. Portuguese J Sport Scien 2011; 11(2):183-186,
53. Ackland T, Elliott B, Bloomfield J. Applied anatomy and biomechanics in sport. Champaign, IL USA: Human Kinetics 2009, ISBN 0736063382
54. Davis DS, Briscoe DA, Markowski CT, Saville SE, Taylor CJ. Physical characteristics that predict vertical jump performance in recreational male athletes. *Phys Ther in Sport* 2003; 4(4):167-174, DOI 10.1016/S1466-853X(03)00037-3
55. Jandová, S. Jumping performance and take-off efficiency correlation with the basic anthropometric parameters in female volleyball players. *Acta Gymnica* 2021; 51(5):e2021.020, DOI 10.5507/ag.2021.020



56. Wyon M, Allen N, Angioi M, Nevill A, Twitchett E. Anthropometric factors affecting vertical jump height in ballet dancers. *J Dance Med Sci* 2006; 10(3-4), 106-110, DOI 10.1177/1089313X06010003-
57. Tor E, Pease D, Ball K. Characteristics of an elite swimming start. In: the XIIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming 28 April to 2 May 2014 Australian Institute of Sport, Canberra 2014; 1257-1263, ISBN 978-0-646-91869-3
58. Barbosa TM, Bragada JA, Reis VM, Marinho DA, Carvalho C, Silva AJ. Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *J Sci Med Sport* 2010; 13(2):262-269. DOI 10.1016/j.jsams.2009.01.003
59. Toussaint HM, de Looze M, Van Rossem B, Leijdekkers M, Dignum H. The Effect of Growth on Drag in Young Swimmers. *Int J Sport Biomech* 1990; 6(1):18-28, DOI 10.1123/ijbs.6.1.18
60. Barbosa TM, Costa MJ, Morais JE, Moreira M, Silva AJ, Marinho DA. How Informative are the Vertical Buoyancy and the Prone Gliding Tests to Assess Young Swimmers' Hydrostatic and Hydrodynamic Profiles? *J Hum Kinet* 2012; 32:21-32, DOI 10.2478/v10078-012-0020-x
61. Yanai, T. Buoyancy is the primary source of generating bodyroll in front-crawl swimming. *J Biomech* 2004; 37(5):605-612, DOI: 10.1016/j.jbiomech.2003.10.004
62. Zamparo P, Antonutto G, Capelli C, Francescato MP, Girardis M, Sangoi R, Soule RG, Pendergast DR. Effects of body size, body density, gender and growth on underwater torque. *Scand J Med Sci Sport* 1996; 6(5):273-80, DOI 10.1111/j.1600-0838.1996.tb00470.x.
63. Lyttle AD, Blanksby BA, Elliott BC, Lloyd DG. Optimal depth for streamlined gliding. *Proceedings of the VIII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, University of Jyväskylä, Finland, June 28-July 2 1998*; 165-170, ISBN 9513906078
64. Novais ML, Silva AJ, Mantha VR, Ramos RJ, Rouboa AI, Vilas-Boas JP, Luis SR, Marinho DA. The Effect of Depth on Drag During the Streamlined Glide: A Three-Dimensional CFD Analysis. *J Hum Kinet* 2012;33:55-62, DOI 10.2478/v10078-012-0044-2.
65. Li T-Z, Zhan J-M. Hydrodynamic body shape analysis and their impact on swimming performance. *Acta Bioeng Biomech* 2015; 17(4):3-11, PMID: 26898107
66. Clarys JP. Human morphology and hydrodynamics. In *Swimming III*; Terauds J, Beddingfield W (Ed); University Park Press: Baltimore, Maryland 1979; 8:3-41, ISBN0839113528
67. Demirkan E, Can S, Özkadı T, Alagöz I. Fifty-meter swimming performance in young swimmers: The effect of anthropometric and motoric values on performance. *Med Dello Sport* 2019; 72(4), DOI 10.23736/S0025-7826.18.03386-0
68. Rozi G, Thanopoulos V, Geladas N, Soultanaki E, Dopsaj M. (2018). Anthropometric characteristics and physiological responses of high level swimmers and performance in 100 m freestyle swimming. *Mov Sport Sci/Sci Mot* 2018; 101(3):3-7, DOI 10.1051/sm/2018007
69. Sammoud S, Nevill AM, Negra Y, Bouguezzi R, Chaabene H, Hachana Y. Allometric associations between body size, shape, and 100-m butterfly speed performance. *J Sports Med Phys Fitness* 2018; 58(5):630-637, DOI 10.23736/S0022-4707.17.07480-1
70. Potdevin F, Bril B, Sidney M, Pelayo P. Stroke frequency and arm coordination in front crawl swimming. *Int J Sports Med* 2006;27(3):193-198, DOI 10.1055/s-2005-837545
71. Grimston SK, Hay JG. Relationships among anthropometric and stroking characteristics of college swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 1986; 18(1):60-8, DOI 10.1249/00005768-198602000-00011

Daria Rudnik

Zakład Pływania, Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu,
Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
daria.rudnik@awf.wroc.pl