

W POSZUKIWANIU UZASADNIENIA INTENSYFIKACJI RUCHYW NOGAMI W GÓRĘ PODCZAS PŁYWANIA DELFINEM

Marek Rejman¹⁾, Daria Rudnik¹⁾, Wojciech Seidel²⁾, Piotr Siermontowski³⁾

¹⁾ Zakład Pływania, Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

²⁾ Katedra Sportów Paraolimpijskich, Akademia Zdrowia i Nauk o Sporcie, Polska

³⁾ Katedra Technologii Prac Podwodnych, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia

STRESZCZENIE

Opinie naukowe na temat znaczenia ruchów napędowych nogami w górę dla wyników pływania stylem motylkowym są podzielone. Badania efektywności napędu, generowanego w podobny sposób podczas pływania z monopletwą (o większej powierzchni) wykazały, że jakość fazy ruchu w górę jest miarą efektywności pływania. W związku z tym przeanalizowano siły powstające w wyniku delfinowych ruchów nogami w górę i w dół. Zbadano także zdolność pływaków do kinestetycznej kontroli ruchów nogami w górę. W badaniach wzięło udział dziesięciu pływaków klasy międzynarodowej, specjalizujących się w pływaniu stylem motylkowym (średnia wieku 18,2±1,4 roku). Wykonali oni trzy próby na dystansie 25 metrów, z maksymalną prędkością, płynąc ze zmodyfikowaną monopletwą (usunięto płytę monopletwy a pośrodku, na wysokości palców stóp umieszczono dwa tensometry). Badani pływali losowo: 1) stylem motylkowym (BS), 2) tylko z użyciem delfinowych ruchów nogami (LK) i 3) tylko z użyciem delfinowych ruchów nogami z celową aktywacją ruchów w górę (AUK). Rejestrowano siły uginające pletwę w reakcji na opór wody w funkcji czasu. Impulsi sił uginających pletwę podczas ruchu w górę były w każdym cyklu ruchowym mniejsze niż siły rejestrowane podczas ruchu w dół. Najmniejsza różnica wystąpiła w próbie z aktywnym uderzeniem nogami w górę. Wyniki testu Wilksa, a następnie testu post hoc Duncana, dla każdej z prób wykazały (przy $p \leq 0,05$), że: impulsy uginające pletwę podczas ruchu w dół podczas LK były istotnie większe niż w próbach BS. Impulsy uginające pletwę podczas ruchu w górę nie różniły się statystycznie w porównywanych próbach. Czasy faz ruchu w dół w AUK tak, jak całkowite czasy prób, były istotnie dłuższe od czasów w próbach BS i LK. Czasy faz ruchu w górę w AUK były istotnie dłuższe od czasów w próbach BS. Wyniki wykazały, że praca ramion podczas pływania stylem motylkowym sprzyja intensyfikacji obu faz ruchów napędowych nogami. Pływacy wykazali wysoki poziom zdolności do kinestetycznej kontroli sił generowanych podczas ruchów w górę. Nie uzyskali jednakowej proporcji między efektem napędowym obu faz kopnięcia, ale wydaje się, że tak wysoki poziom umiejętności generowania napędu wykracza poza możliwości motoryczne człowieka. Możliwości świadomej kontroli efektywności ruchu w górę należy szukać w modyfikacji struktury czasowej tej fazy. Uzyskane wyniki te można wykorzystać do poprawy efektywności napędu generowanego kończynami dolnymi podczas pływania stylem motylkowym a także po starcie i nawrotach.

Słowa kluczowe: pływanie, styl motylkowy, ruchy nogami, faza ruchu w dół, kontrola kinestetyczna, dynamometria.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2023 Vol. 82 Issue 1 pp. 77 – 86

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2023-0004

Pages: 10, figures: 1, tables: 2

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

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny

Termin nadestania: 18.11.2022 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 14.12.2022 r.



WSTĘP

W pływaniu stylem motylkowym ruchy napędowe nogami są niewątpliwie istotną wpływają na wynik uzyskany w wyścigu, szczególnie w konkurencjach sprinterskich. Prędkość uzyskiwana w wyniku ruchów delfinowych nogami po starcie jest 25-40%, a po nawrocie 14% większa, niż średnia prędkość uzyskana na dystansie [1]. Dlatego w tych elementach wyścigu pływackiego, delfinowe ruchy nogami są również stosowane w konkurencjach stylem dowolnym, klasycznym i grzbietowym. W tym świetle poszukiwania rezerw w efektywności napędu wygenerowanego delfinowymi ruchami nóg wydają się uzasadnione. Istnieją przesłanki by sądzić że, źródłem tych rezerw może być intensyfikacja ruchów napędowych w górę.

Poglądy naukowe na temat wpływu ruchu nogami w górę na wyniki uzyskiwane podczas pływania stylem motylkowym są podzielone. W badaniach ruchu wirowego wody w obu fazach ruchów nogami sugerowano [1] i uzasadniano [2], że znacznie większy napęd jest indukowany w wyniku ruchów nogami w dół, niż w górę. Z drugiej strony wykazano, że pływacy, którzy potrafili wygenerować silniejsze uderzenie nogami w górę, uzyskiwali większą prędkość pływania [5].

Analizy sił uginających powierzchnię monopłetwy w reakcji na opór wody (stanowiącej główne źródło napędu wygenerowanego w wyniku ruchów delfinowych), także wykazały ich większą wartość w fazach ruchu w dół niż podczas faz ruchu w górę [4]. Podczas ruchu w dół została również ujawniona dłuższa droga przemieszczenia stopy [5]. Niemniej jednak w tym samym badaniu stwierdzono, że aktywacja sił generowanych na powierzchni monopłetwy podczas ruchu w górę odegrała ważną rolę w uzyskaniu najwyższej prędkości pływania. W przedstawionym kontekście warto zatem sprawdzić, czy pływacy-delfiniści potrafią wykorzystać uderzenie nogami w górę do zwiększenia efektu napędowego, nie tylko podczas pływania na dystansie, ale także po starcie i nawrotach.

Kontrolowanie delfinowych ruchów nogami podczas pływania z monopłetwą jest bardzo ściśle powiązane ze zdolnością odbierania i przetwarzania bodźców kinestetycznych dostarczanych przez proprioceptory umieszczone w skórze, mięśniach i ścięgnach [5]. W związku z tym pojawia się pytanie: czy wysokiej klasy pływacy są w stanie samodzielnie kontrolować delfinowe ruchy nogami w górę, w celu progresji wyników?

Badania dotyczące wrażliwości kinestetycznych pływaków w obszarze ruchów nogami, nie były dotąd w głównym nurcie zainteresowań naukowych. Rejman i wsp. [5] wykazali, że pływacy z monopłetwą posiadają zdolność do stabilnego powtarzania sił generowanych nogami zarówno w wodzie jak i na lądzie z większą precyzją niż ich rówieśnicy nie posiadający doświadczenia w pływaniu płetwami. Również wysokiej klasy zawodnicy specjalizujący się w pływaniu stylem motylkowym, wykazali się umiejętnością kinestetycznej kontroli ruchów nogami [6]. Oznacza to, że umiejętność zwaną „czuciem wody” można trenować i rozwijać. W ten sposób, kontrolowanie efektywności ruchów nogami w górę, wydaje się być pożądane z punktu widzenia poprawy techniki pływania a w konsekwencji uzyskania lepszych wyników nie tylko w strefie startu i nawrotu, ale także w pływaniu na dystansie.

Przyjęto założenie, że wartość sił generowanych funkcji czasu (impuls) w wyniku ruchów napędowych nogami w dół i w górę może być traktowana jako ilościowa miara efektu napędowego podczas pływania za pomocą ruchów delfinowych. W tym kontekście można przepuszczać, że zwłaszcza w przypadku faz ruchów napędowych w górę, zdolność kinestetycznej kontroli wytwarzania sił napędowych, jako jakościowa miara efektu napędowego, może poprawić efektywność pływania delfinem. Dlatego poza analizą procesu generowania sił napędowych podczas standardowego pływania stylem motylkowym (BS) oraz podczas pływania delfinem tylko za pomocą nóg (LK) przeprowadzono bezpośrednią diagnozę umiejętności sterowania ruchami napędowym w górę (AUK) w kierunku ich intensyfikacji. Celem badań była analiza procesu wytwarzania sił napędowych w wyniku ruchu nogami do delfina w górę i w dół. Postawiono hipotezę, że wysokiej klasy pływacy, specjalizujący się w stylu motylkowym, potrafią kinestetycznie kontrolować ruchy nogami w górę i w ten sposób mogą nauczyć się wykorzystywać tę fazę ruchu do zwiększenia prędkości pływania.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach uczestniczyło dziesięciu mężczyzn reprezentujących międzynarodowy poziom sportowy w konkurencjach stylem motylkowym (486 ± 46 punktów rankingowych World Aquatics), w wieku od 16 do 20 lat (18.2 ± 1.2). Średnia wysokość ciała wynosiła $183.13 \text{ cm} \pm 16 \text{ cm}$ a średnia masa ciała $74.34 \text{ kg} \pm 8.6 \text{ kg}$. Można zatem założyć że, badana grupa reprezentowała wysoki poziom techniki pływania stylem motylkowym i była homogeniczna pod względem budowy ciała. Istotne, że żaden z uczestników badań nie posiadał wcześniejszych doświadczeń w obszarze celowej intensyfikacji delfinowych ruchów napędowych w fazie ruchu w górę.

Udział w badaniach był w pełni dobrowolny. Uczestnicy i ich opiekunowie prawni zostali poinformowani o celach i procedurach eksperymentu. Pisemną świadomą zgodę na udział w badaniu uzyskano od dorosłych pływaków oraz od opiekunów prawnych wszystkich niepełnoletnich sportowców. Badania zostały przeprowadzone zgodnie z postanowieniami Helsińskiej Deklaracji Praw Człowieka i zatwierdzone przez Komisję Etyczną AWF we Wrocławiu.

Badania przeprowadzono na 25-m krytej pływalni (temperatura wody 27°C , temperatura powietrza 29°C , wilgotność względna 60%). Przed rozpoczęciem eksperymentu, wszyscy uczestnicy zostali zaznajomieni z urządzeniem badawczym – prototypem monopłetwy wyposażonej w czujniki tensometryczne (Rysunek 1). Następnie, pływacy wykonywali indywidualną, standardową rozgrzewkę w wodzie. Po dziesięciominutowym odpoczynku wykonywali losowo trzy próby pływania na dystansie 25 m przy użyciu wspomnianej monopłetwy: 1) pływanie standardową techniką motylkową (dwa uderzenia nogami w cyklu) (BS), 2) pływanie wyłącznie nogami do delfina (jedno uderzenie nogami w cyklu) (LK) oraz 3) pływanie wyłącznie nogami do delfina (jedno uderzenie nogami w cyklu) z akcentem na intensyfikację (wzmocnienie) fazy ruchu w górę (AUK). Pomiedzy każdą próbą zapewniono przerwę do osiągnięcia pełnego wypoczynku (10 minut). Uczestnicy zostali poproszeni o wykonanie wszystkich prób z możliwie maksymalną prędkością.



Rys. 1 Urządzenie badawcze - Prototyp monopłetwy z płytą odciętą n linii palców i wklejonymi czujnikami tensometrycznymi.

We wszystkich próbach wykorzystano to samo urządzenie badawcze - prototyp monopłetwy (Rysunek 1) - w której odcięto płytę i na wysokości palców stóp, w osi symetrii, przymocowano parę czujników tensometrycznych (HBM, Niemcy). Dane wyjściowe, zebrane za pomocą czujników, wyrażono jako szeregi czasowe napięcia i zdefiniowano jako zmiany sił uginających monopłetwę w reakcji na opór wody [6]. Procedury skalowania płetwy oparto na zależności pomiędzy zarejestrowanymi siłami a stopniem ugięcia płetwy [7]. Impulsy z czujników wzmacniano, przekształcano i rejestrowano w komputerze PC z częstotliwością próbkowania 50 Hz.

Z zarejestrowanych szeregów czasowych siły uginającej płetwę (w wyniku ruchów w górę i w dół) oszacowano wartości średniego impulsu sił, które poddano analizie. Identyfikacji fazy ruchu w dół i fazy ruchu w górę dokonano w oparciu o metodykę analogicznych pomiarów wykonanych podczas pływania ze standardową monopłetwą [4]. Impuls skwantyfikowano jako całość oznaczoną - równą polu powierzchni pod krzywą funkcji rejestrowanej siły ugięcia płetwy w granicach ograniczonej przedziałem czasu (częstotliwością próbkowania). Z zasady zachowania pędu wynika, że wypadkowa siła powstająca na powierzchni płetwy powoduje zmianę prędkości ciała pływaka przez cały czas jej działania. Siła ta przyłożona przez dłuższy czas powoduje większą zmianę pędu, niż ta sama siła przyłożona w niewielkim przedziale czasu. I odwrotnie, mała siła przyłożona przez długi czas powoduje taką samą zmianę pędu - ten sam impuls, co większa siła działająca krócej. W pływaniu, ze względu na dużą gęstość wody, dla osiągnięcia maksymalnej prędkości istotne jest zintensyfikowanie w czasie wytwarzania sił napędowych. W związku z tym oszacowano średni wypadkowy impuls wywołany ruchem płetwy w dół (DI) i średni wypadkowy impuls wywołany ruchem płetwy w górę (UI). Dla danej próby zmierzono także parametry czasowe procesu wytwarzania napędu - średni czas fazy ruchu w dół (DT) i średni czas fazy ruchu w górę (UT). Jako miarę efektywności pływania uwzględniono także całkowity czas próby (TTT).

Do porównania zmiennych zarejestrowanych podczas powtarzanych obserwacji trzech różnych prób zdefiniowanych na podstawie specyfikacji ruchów (BS, LK i AUK), wykorzystano analizę wariancji dla powtarzanych pomiarów (ANOVA). Dalej, w przypadkach uznanych za istotne przeprowadzono test post-hoc Duncana w celu dalszej weryfikacji istotności każdej pary prób. Dodatkowo, w celu jednoczesnej oceny wielu zmiennych zależnych, przeprowadzono testy MANOVA. Ponadto, obliczono wartości współczynnika korelacji Pearsona pomiędzy tożsamymi parametrami każdej z prób. Procedury statystyczne wykonano w programie Statistica 13.1 (StatSoft, USA), na poziomie istotności statystycznej $\alpha \leq 0,05$.

WYNIKI

Średni wypadkowy impuls wywołany ruchem płetwy w dół (DI) był znacznie wyższy niż średni wypadkowy impuls wywołany ruchem płetwy w górę (UI). Największą różnicę pomiędzy obydwoma fazami (ΔI) odnotowano w próbie pływania wyłącznie nogami do delfina (LK) ($\Delta I=70,90\%$) w porównaniu z pływaniem z akcentem na intensyfikację (wzmocnienie) fazy ruchu w górę (AUK) ($\Delta I=49,89\%$) (Pływanie pełnym stylem (BS) - $\Delta I=44,38\%$). Średni czas ruchu w dół (DT) był dłuższy niż średni czas ruchu w górę (UT). W przypadku LK różnica ta była zdecydowanie największa ($\Delta T=41,45\%$). W BS różnica ta wynosiła ($\Delta T=4,20\%$) podobnie jak w próbie AUK $\Delta T=8,80\%$. Test Wilksa dla wszystkich zarejestrowanych parametrów w każdej próbie wykazał istotne różnice między nimi (Wartość=0,165424; $F=5,3485$, $p<0,001$; Efekt $df=12$; Błąd $df=44$).

Tab. 1

Wyniki analizy ANOVA dla rozpatrywanych parametrów.

	F	p	η^2	($\alpha=0,05$)
Impuls w górę	0,701	0,505	0,049	0,1557
Impuls w dół	4,119	0,028*	0,234	0,6789
Czas w górę	3,892	0,033*	0,224	0,6526
Czas w dół	5,709	0,009**	0,297	0,8232
Całkowity czas próby	6,508	0,005**	0,325	0,8722

* $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,009$

Komentarze do tabeli 2: DI był najwyższy w LK ($29,27 \pm 7,39$ N·s) i podobny do AUK ($26,05 \pm 10,62$ N·s). Najniższą wartość DI odnotowano dla BS ($18,82 \pm 6,41$ N·s). DI dla BS i LK był istotnie różny. UI był najwyższy w AUK ($10,52 \pm 7,73$ N·s), najniższy w LK ($7,29 \pm 5,88$ N·s) i BS ($8,37 \pm 4,67$ N·s). UI nie różnił się pomiędzy próbami. DT był najkrótszy dla BS ($0,66 \pm 0,21$ s), a najdłuższy dla AUK (DT= $1,00 \pm 0,31$ s). Dla LK, DT= $0,73 \pm 0,17$ s. DT dla AUK był istotnie dłuższy niż dla BS i dla LK. UT był najkrótszy dla LK ($0,38 \pm 0,20$ s), dłuższy dla BS ($0,51 \pm 0,19$ s), a najdłuższy dla AUK ($0,75 \pm 0,43$ s). W UT

różnica pomiędzy BS i AUK była statystycznie istotna. TTT był najkrótszy dla BS ($17,31 \pm 2,05$ s), podobny dla LK ($16,99 \pm 4,25$ s), a najdłuższy dla AUK (TTT= $22,20 \pm 4,13$ s). TTT dla AUK był znacznie dłuższy niż dla BS i LK.

Tab. 2

Test post hoc Duncana dla parametrów, które wykazały istotne statystycznie różnice w testach analizy jednoczynnikowej.

	Nogi do delfina (LK)	Intensyfikacja ruchu w górę (AUK)
Impuls w dół (DI)		
Standardowa technika motylkowa	0,012*	0,063
Nogi do delfina	-	0,396
Intensyfikacja ruchu w górę		-
Impuls w górę (UT)		
Standardowa technika motylkowa	0,3544	0,083
Nogi do delfina	-	0,014*
Intensyfikacja ruchu w górę		-
Czas w dół (DT)		
Standardowa technika motylkowa	0,546	0,005**
Nogi do delfina	-	0,016*
Intensyfikacja ruchu w górę		-
Total Trial Time (TTT)		
Standardowa technika motylkowa	0,847	0,005**
Nogi do delfina	-	0,005**
Intensyfikacja fazy ruchu w górę		-

* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,005$.

Tab. 3

Wartości współczynników korelacji Pearsona wyliczone pomiędzy rozpatrywanymi parametrami.

	BS/UI	BS/DT	BS/UT	LK/UI	LK/DT	LK/UT	AUK/UI	AUK/DT	AUK/UT		
BS/DI	-0,57	-0,81*	-0,32	LK/DI	-0,55	-0,78*	-0,58	AUK/DI	-0,38	-0,93*	-0,36
BS/UI	-	-0,60	0,68*	LK/UI	-	-0,68	-0,36	AUK/UI	-	-0,48	-0,84*
BS/DT		-	-0,16	LK/DT		-	-0,35	AUK/DT		-	-0,40

Notes: BS - standardowa technika pływania delfinem; LK- pływanie wyłącznie nogami do delfina; AUK - pływanie wyłącznie nogami do delfina z akcentem na intensyfikację fazy ruchu w górę; DI - średni wypadkowy impuls wywołany ruchem płetwy w dół; UI - średni wypadkowy impuls wywołany ruchem płetwy w dół; DT - średni czas fazy ruchu w dół.

DYSKUSJA

Nie było zaskoczeniem, że we wszystkich próbach siły napędowe powstawały głównie w wyniku wyprostowania nóg w stawach kolanowych w fazie ruchu w dół [6]. W próbach AUK rozkład procentowy impulsów generowanych w górę i w dół był podobny ($\Delta I=49,89\%$). Wydaje się zatem, że możliwa jest kontrola sił generowanych za pomocą nóg podczas ruchów w górę. Co ciekawe, w próbach BS odsetek impulsu w górę był również wysoki ($\Delta I=44,38\%$). Prawdopodobnie więc, w próbach BS ograniczony czas wykonania dwóch ruchów nogami w cyklu, w połączeniu z koniecznością ich koordynacji z ruchem ramion [8], nie sprzyja kontrolowaniu kopnięć w takim stopniu, jak w pływaniu wyłącznie nogami. Natomiast to ograniczenie czasu cyklu prawdopodobnie skutkuje stosunkowo większym impulsem w fazie ruchu w górę. W próbach LK napęd był generalnie wytwarzany przy kopnięciu w dół ($\Delta I=70,90\%$). Można to rozumieć w ten sposób, że w tej próbie pływacy nie kontrolowali ruchu nóg w górę. TTT dla AUK był istotnie dłuższy niż dla LK (Tabela 2). Można to jednak wiązać z brakiem w badanej grupie, wcześniejszych doświadczeń z celową intensyfikacją ruchów w górę.

Wyniki (Tabela 3) wykazały, że we wszystkich próbach wyższy DI szedł w parze z krótszym DT, przy czym jedynie w badaniach BS i AUK odnotowano ujemną korelację pomiędzy UI i UT. Oznacza to, że potencjalne zwiększenie impulsu i skrócenie czasu jego wytwarzania mogłoby być sposobem na zwiększenie napędu wytworzonego w wyniku ruchów w górę. Wymienione próby różniły się od siebie jedynie pod względem DT – istotnie dłuższego dla AUK niż dla BS ($pDT=0,005$) (Tabela 2). Gdy wartości impulsów wygenerowanych w wyniku ruchów w górę i w dół były prawie równe, w próbach BS pływacy pływali znacznie szybciej niż w próbach AUK ($pTTT=0,005$) (Tabela 2). Prawdopodobnie więc, wydłużenie struktury czasowej DT zdecydowało o niższym efekcie napędowym w AUK. Wyniki te potwierdzają się przy porównaniu z wynikami uzyskanymi dla prób LK i AUK. Próby LK były istotnie szybsze niż próby AUK ($pTTT=0,005$) ze względu na najwyższy DI, istotnie wyższy niż w AUK ($pTTT=0,012$) i znacząco krótszy niż w DT ($pDT=0,016$), przy tym samym zakresie UI i znacząco krótszym UT ($pUT=0,016$) (Tabela 2). Wydaje się zatem, że w tym analizowanym zestawie prób, o niższym efekcie napędowym w AUK decydowało wydłużenie UT. W tym świetle można zasugerować, że w próbach AUK (charakteryzujących się równymi uderzeniami w górę i w dół) efekt napędowy wspomaga potencjalnie najwyższy impuls wraz ze skróceniem czasu wytwarzania sił.

Podczas pływania stylem motylkowym, prędkość wewnątrzcyklowa maleje podczas przenoszenia rąk nad wodą i wkładania ich do wody. Pływanie delfinem pod wodą, w pozycji opływowej i z wykorzystaniem tylko nóg jest bardziej efektywne [8]. Dlatego tą technikę stosuje się po starcie i po wykonaniu nawrotów. W tym przypadku nie ma wątpliwości co do konieczności badania rezerw w efektywności wykonywania ruchów nogami.

We wcześniejszych badaniach pływacy wysokiej klasy także byli w stanie kinestetycznie kontrolować ruchy nogami w dół i w górę, mimo że nie uzyskali równej proporcji pomiędzy efektem napędowym obu faz kopnięcia [6]. Można więc założyć, że pływacy, angażując doznania kinestetyczne, są w stanie kontrolować siłę generowaną w wyniku ruchów w górę, a interwencja trenera może prowadzić do zmian w technice, które będą skutkowały poprawą wyników.

Poszukując sposobów na poprawę efektu napędowego wywołanego, ruchami nogami w górę, należy zauważyć, że asymetria ruchomości stawów kolanowych i skokowych ogranicza wytwarzanie sił napędowych w tej fazie [9]. Zatem struktura ruchu stopy, ruchomość w stawach skokowych oraz kolanowych determinują efektywne wykonanie „kopnięcia: w górę” [9]. Jeśli stopy poruszają się w górę zgięte grzbietowo, woda przepływa wokół nich (monopłetwy) nie wytwarzając oporu będącego źródłem napędu [4]. Zbyt duże zgięcie w stawach kolanowych jest nieuzasadnione, ponieważ przemieszczenie łydki w kierunku pływania powoduje niekorzystny opór hamujący [4]. Dodatkowo nadmierne zgięcie kolana i zgięcie grzbietowe stopy utrudni przemieszczanie się wirów „napędowych” w stronę dystalnych segmentów (stóp pływaka) łańcucha biokinematycznego generującego napęd. Jeżeli wir spływa w dół i nie jest uwalniany przez stopy (monopłetwę) do tyłu, przeciwnie do kierunku pływania [4] lub wir jest zniszczony ruchem podudzia to siła napędowa nie wzrośnie [10]. Zatem w przypadku ruchów nogami do delfina utrzymanie maksymalnego zgięcia podeszwowego stóp wraz z ograniczeniem zgięcia nóg w stawach kolanowych staje się kluczowym elementem kontroli efektywności ruchu stopami w górę.

Ważne jest również, aby zwiększanie efektu napędowego wynikającego z ruchu nogami w górę (pobudzenie i wzmocnienie impulsu wraz ze skróceniem czasu jego wytwarzania) było kontrolowane, tak aby utrzymać stały rytm ruchów w górę i w dół. Ma to kluczowe znaczenie dla prędkości pływania stylem motylkowym [1] i pływania z monopłetwą [4]. W przypadku ruchów po starcie i nawrotach, sprzyja temu zanurzenie pływaków, eliminujące ograniczenia w amplitudzie ruchów, które wynikają z wynurzenia stóp nad wodę [9].

Analogie pomiędzy ruchami delfinowymi wykonywanymi bez płetw i w płetwach (monopłetwie) są dość wyraźne, jednak mogą budzić pewne wątpliwości w kontekście ograniczeń w interpretacji wyników niniejszych badań. Niech uzasadnieniem stosowanych porównań będzie fakt, że to głównie stopy odpowiadają za wytwarzanie sił napędowych, a pozostałe części kończyny nie biorą bezpośredniego udziału w tym procesie [9]. Wcześniej wskazano także liczne eksperymenty badające strukturę dynamiczną napędu generowanego nogami do delfina, ale źródła naukowe, w których siły napędowe mierzono bezpośrednio na „powierzchniach napędowych”, są dostępne tylko w przypadku pływania z monopłetwą. Jako kolejne ograniczenie można potraktować fakt, że analizy ruchów napędowych przeprowadzono tylko w aspekcie traktowania ich jako źródła napędu – sił reakcji mierzonych między stopami. Wiedza na temat skutków tego procesu (tj. częstotliwości ruchów, długości kroku pływackiego czy innych wskaźników kinematycznych) powinna być uzupełniona w kolejnych badaniach, przeprowadzonych z udziałem większej grupy badawczej. Niech analogiczny przykład z kolarstwa wyczynowego, kiedy jedna noga naciska na mechanizm korbowy (pedał), a druga go ciągnie w celu zwiększenia efektywności napędu, uwidoczni przesłanie niniejszych badań.

Istnieją przesłanki by sądzić, że do kontrolowania ruchów napędowych nogami w górę podczas pływania delfinem, konieczne jest świadome działanie pływaka. Można to traktować jako cel interwencji trenera, ku doskonaleniu techniki ruchów napędowych nogami po starcie i po nawrotach. Można zaproponować następujące kierunki zmian w treningu technicznym służących zwiększeniu efektu napędowego „kopnięcia” w górę: aktywacja (zwiększenie) generowanego impulsu

wraz ze skróceniem czasu jego wytwarzania oraz utrzymanie maksymalnego zgięcia podszwowego stóp wraz z ograniczeniem zgięcia nóg w stawach kolanowych. W przypadku pływania pełnym stylem motylkowym, kontrola ruchów napędowych nogami jest silnie zakłócona, ale ograniczenie czasu ruchu w górę skutkuje większą wartością impulsu napędowego w tej fazie.

BIBLIOGRAFIA

1. Maglischo, E. W. (2003). *Swimming Fastest*. Human-Kinetics, Champaign.
2. Arellano R., Pardillo S., & Gavilan A. (2002). Underwater undulatory swimming: kinematic characteristics, vortex generation and application during the start, turn and swimming strokes, [in:] K.E. Gianikellis (Ed.), *Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports*, University of Extremadura.
3. Atkison, R.R., Dickey, J.P., Dragunas, A., & Nolte, V.W. (2014). Importance of sagittal kick symmetry for underwater dolphin kick performance. *Human movement science*, 33, 298-311.
4. Rejman, M., & Ochmann, B. (2009). Modeling of monofin swimming technique: optimization of feet displacement and fin strain. *Journal of applied biomechanics*, 25(4), 340-50.
5. Rejman, M., Klarowicz, A., & Zatoń, K. (2012). An evaluation of kinesthetic differentiation ability in monofin swimmers. *Human Movement*, 13(1), 8-15.
6. Von Loebbecke, A., Mittal, R., Mark, R., & Hahn, J. (2009). A computational method for analysis of underwater dolphin kick hydrodynamics in human swimming. *Sports Biomechanics*, 8(1), 60-77.
7. Rejman, M., Colman, V., & Persyn, U. (2003) The method of assessment the kinematics and dynamics of single fin movements. *The Human Movements* 2(8), 54-60.
8. Barbosa, T. M., Santos Silva, J. V., Sousa, F., & Vilas-Boas, J. P. (2002). Measurement of butterfly average resultant impulse per phase. Paper presented at the 20 International Symposium on Biomechanics in Sports, Cáceres.
9. Willems, T. M., Cornelis, J., De Deurwaerder, L., Roelandt, F., & De Mits, S. (2014). The effect of ankle muscle strength and flexibility on dolphin kick performance in competitive swimmers. *Human Movement Science*, 36, 167-176.
10. Pacholak, S., Hochstein, S., Rudert A., & Brücker C. (2014) Unsteady flow phenomena in human undulatory swimming: a numerical approach, *Sports Biomechanics*, 13(2), 176-194.
11. Andersen, J. T., & Sanders, R. H. (2018) A systematic review of propulsion from the flutter kick – What can we learn from the dolphin kick?, *Journal of Sports Sciences*, 36(18), 2068-2075.

dr hab. Marek Rejman, prof AWF

Zakład Pływania, Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu
Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu. Ignacego Jana Paderewskiego 35
51-612 Wrocław
Tel: +48 71 347 3440, Fax: +48 71 347 3450
e-mail: marek.rejman@awf.wroc.pl