

**Akademia Wychowania Fizycznego**

**im. Jerzego Kukuczki w Katowicach**

**Wydział Wychowania Fizycznego**

**Wojciech Sadowski**

**WPLYW WZMOCNIENIA PO-AKTYWACYJNEGO MIĘŚNI  
KOŃCZYN DOLNYCH I GÓRNYCH NA WYNIK SPORTOWY  
W PŁYWANIU STYLEM DOWOLNYM**

**Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej**

**OPIEKUN NAUKOWY:**

dr hab. Arkadiusz Stanula, prof. AWF

Promotor pomocniczy:

dr Jakub Karpiński

**KATOWICE 2021**

# Spis treści

<b>Wprowadzenie</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Rola rozgrzewki w optymalnym przygotowaniu sportowca do startu</b> .....	<b>9</b>
1.1. Mechanizm rozgrzewki .....	9
1.2. Rodzaje rozgrzewki i ich wykorzystanie w zależności od czasu trwania wysiłku 10	
1.3. Wzmocnienie po-aktywacyjne mięśni jako forma podniesienia efektywności	
startowej .....	12
1.4. Mechanizm wzmocnienia po-aktywacyjnego.....	13
1.5. Czynniki wpływające na wzmocnienie po-aktywacyjne .....	14
<b>2. Czynniki warunkujące skuteczność w pływaniu sportowym</b> .....	<b>19</b>
2.1. Start pływakki .....	20
2.2. Nawrót pływakki.....	22
2.3. Pływanie stylowe .....	24
2.4. Rozgrzewka pływacka.....	25
2.5. Wykorzystanie efektu PAP w pływaniu sportowym. ....	27
<b>3. Cel pracy, pytania i hipotezy badawcze</b> .....	<b>30</b>
<b>4. Materiał, metody i narzędzia badawcze</b> .....	<b>31</b>
4.1. Eksperymentalne podejście do rozwiązania problemu badawczego .....	31
4.2. Procedura PAP i eksperyment w wodzie.....	32
4.3. Metody i narzędzia pomiarowe .....	36
4.4. Narzędzia analizy statystycznej.....	40
<b>5. Wyniki</b> .....	<b>42</b>
5.1. Wyznaczenie optymalnej przerwy wypoczynkowej po pobudzeniu mięśni kończyn	
dolnych oraz kończyn górnych .....	42
5.2. Wpływ PAP kończyn dolnych i górnych na pokonanie dystansu 50 m stylem	
dowolnym oraz parametry kinematyczne techniki pływania. ....	44
5.3. Wpływ PAP kończyn dolnych i górnych na start pływakki oraz parametry	
kinematyczne skoku startowego .....	50
<b>6. Dyskusja</b> .....	<b>57</b>
<b>7. Wnioski</b> .....	<b>65</b>
<b>Piśmiennictwo</b> .....	<b>67</b>
<b>Streszczenie</b> .....	<b>84</b>
<b>Summary</b> .....	<b>86</b>

<b>Spis rycin .....</b>	<b>88</b>
<b>Spis tabel.....</b>	<b>89</b>

## WYKAZ PRZYJĘTYCH SKRÓTÓW

- PAP – ang. *post activation potentiation*, wzmocnienie po-aktywacyjne
- VO<sub>2</sub> – podstawowy pobór tlenu
- VO<sub>2 max</sub> – maksymalny pobór tlenu
- RFD – ang. *rate of force development*, tempo narastania siły
- CMJ – ang. *counter movement jump*, wyskok dosiężny
- VC – ang. *voluntary contraction*, dobrowolny skurcz mięśniowy
- MVC – ang. *maximal voluntary contraction*, maksymalny dobrowolny skurcz mięśniowy
- 1RM – ang. *repetition maximum*, jedno powtórzenie maksymalne
- PPO – ang. *peak power output*, wyjściowy pik mocy
- ATP – adenozyno-5'-trifosforan
- PVF – ang. *peak vertical force*, pik siły pionowej
- PHF – ang. *peak horizontal force*, pik siły poziomej
- FINA – Międzynarodowa Federacja Pływania Amatorskiego
- BD – ang. *body density*, gęstość ciała
- BF – ang. *body fat*, procentowa zawartość tkanki tłuszczowej
- LBM – ang. *lean body mass*, masa ciała szczupłego
- BMI – ang. *body mass index*, wskaźnik wagowo wzrostowy
- DD – ang. *dive distance*, długość skoku startowego
- FT – ang. *fight time*, czas lotu
- BT – ang. *block time*, czas odbicia z platformy startowej
- JT – ang. *jump time*, czas skoku startowego
- HV – ang. *horizontal velocity*, prędkość pozioma bioder w fazie lotu
- SR1, SR2 – ang. *stroke rate*, frekwencja kroku pływackiego na pierwszej i drugiej części dystansu
- SL1, SL2 – ang. *stroke length*, długość kroku pływackiego na pierwszej i drugiej części dystansu
- V1, V2 – ang. *velocity*, prędkość pływania stylowego na pierwszej i drugiej części dystansu
- TT – ang. *turn time*, czas przebywania zawodnika w strefie nawrotowej
- T15 – pomiar czasu na 15 m wyścigu
- T20 – pomiar czasu na 20 m wyścigu
- T35 – pomiar czasu na 35 m wyścigu
- T45 – pomiar czasu na 45 m wyścigu

T50 – pomiar czasu na 50 m wyścigu

s – sekunda

min. – minuta

m – metr

wsp. – współautorzy

## Wprowadzenie

Nieustanny wzrost poziomu wyników sportowych, jak również złożoność i trudność prowadzenia walki sportowej implikują do stawiania pytań nad hipotetycznymi „granice ludzkich możliwości”. Pewnym jest, że sport odkrywa coraz to nowe obszary psychoruchowej i funkcjonalnej doskonałości ustroju człowieka, ujawniając jednocześnie ogromne zdolności adaptacyjne w efektywnym podejmowaniu złożonych ruchowo, jak również ekstremalnie wyczerpujących energetycznie wysiłków (Sozański i wsp., 2010). Wielki w tym udział ma poszerzający się zasób wiedzy z zakresu nauk o sporcie oraz prowadzenie dużej ilości badań dotyczących wpływu wysiłku fizycznego na organizm człowieka. Sytuacja ta spowodowała niezwykle szybką ewolucję szkolenia sportowego oraz pojawienie się nowych koncepcji treningowych. Ciągła poprawa sprawności fizycznej współczesnego sportowca opiera się na badaniach dotyczących wpływu różnorodnych środków treningowych, rodzajów odnowy biologicznej, interwencji żywieniowo-suplementacyjnych oraz czynników biomechanicznych i biochemicznych na formę sportowca. Również dzięki współczesnym metodom laboratoryjnym można ocenić skuteczność każdego działania treningowego i prognozować wynik w przyszłości (Rakowski, 2010).

Wyniki zawodów pływackich wykazują stałą i znaczącą poprawę w ciągu ostatnich pięciu dekad. Przyczyn takiej poprawy jest wiele, ale częściowo wynikają one z zaawansowanych procedur treningowych, wyrafinowanych metod selekcji, doskonałej mechaniki ruchów napędowych, standaryzacji i zmian w przepisach pływackich (głębokość basenu, rodzaj stosowanych lin torowych, wysokość i kąt bloków startowych, temperatura wody), zwiększony dostęp do sportu lub nowe technologie w zakresie kostiumów pływackich używanych podczas zawodów (Arellano i wsp., 1994; Chatterje i Laudato, 1996). Przykładem mogą być masowo poprawiane rekordy świata w 2009 roku, w tzw. erze kostiumów poliuretanowych, które jak się wydawało będą nie do poprawienia. Od 2010 roku, kiedy wprowadzono przepisy dotyczące stosowania podczas zawodów tylko kostiumów tekstylnych oraz znaczących ograniczeń co do ich kroju, do roku 2020 większość najlepszych czasów w historii została poprawiona, a jeśli nie, to zawodnicy bardzo się do nich zbliżyli. Może być również tak, że zmiana przepisów będzie automatycznie wymuszała zmiany w programie treningowym w celu dostosowania możliwości zawodnika do zmieniających się warunków walki sportowej. Wprowadzenie w 2010 roku nowych bloków startowych w pływaniu, dzięki którym zawodnicy mogą lepiej wykorzystywać siłę kończyn dolnych w fazie odbicia, spowodowało większe zwrócenie uwagi, szczególnie wśród sprinterów, na trening siłowy

umożliwiający zwiększenie dynamiki i prędkości skoku startowego (Honda i wsp. 2010; Nomura i wsp., 2010).

W pływaniu istotnym elementem programów treningowych, poza specjalistycznym treningiem w wodzie, jest praca na lądzie, w szczególności trening siły. Siła mięśniowa jest jedną z kondycyjnych zdolności motorycznych człowieka i definiowana jest jako zdolność do pokonywania oporu zewnętrznego lub przeciwdziałania mu kosztem wysiłku mięśniowego (Trzaskoma i Trzaskoma, 2001). Nadal trening siłowy wzbudza kontrowersje wśród trenerów pływania i wywołuje szereg pytań dotyczących między innymi wieku, w którym bezpiecznie można zacząć trening siłowy, doboru ćwiczeń oraz ich właściwego usytuowania w makrocyklu. Biorąc pod uwagę, że pływanie odbywa się w środowisku ponad 800 razy gęstszym od powietrza, wytwarzającym podczas wykonywania ruchów napędowych duże opory, to zgodnie z definicją siły można przyjąć, że trening siłowy odbywa się od samego początku sportowej kariery. Należy pamiętać, że często lekceważona lub pomijana praca na lądzie ma za zadanie zwiększenie ogólnej sprawności aparatu ruchowego, a dzięki temu zabezpiecza zawodnika przed różnego rodzaju mechanicznymi kontuzjami. Ćwiczenia siłowe zwiększają również siłę gorsetu mięśniowego, ale również więzadeł i ścięgien, co zwiększa stabilizację stawów, a tym samym zmniejsza ryzyko odniesienia kontuzji podczas treningów w wodzie (Karpiński i Gołaś, 2018).

Podczas rywalizacji sportowej często setne części sekundy decydują o zwycięstwie lub porażce, dlatego odpowiednio przeprowadzona rozgrzewka bezpośrednio przed startem może mieć ogromny wpływ na końcowy sukces. Coraz popularniejsze wśród trenerów pływania jest stosowanie ćwiczeń siłowych podczas rozgrzewki, zarówno przed treningami jak i zawodami, szczególnie w konkurencjach sprinterskich. Koncepcją, która daje podstawy do takiego działania jest zjawisko wzmocnienia po-aktywacyjnego (PAP), czyli krótkotrwałego zwiększenia wydajności aparatu kostno-stawowo-mięśniowego po wykonaniu ćwiczeń o wysokiej intensywności (Sarramian i wsp., 2015). Powstaje coraz więcej badań dotyczących zastosowania tego zjawiska w pływaniu sportowym, w których naukowcy starają się opracować odpowiedni protokół ćwiczeń pobudzających mięśnie w celu poprawy wyników sportowych. Wykorzystanie zjawiska wzmocnienia po-aktywacyjnego w programowaniu jednostek treningowych bądź rozgrzewki przed zawodami może przyczynić się do wzrostu generowanej mocy mięśniowej.

W niniejszej pracy podjęto próbę stworzenia protokołu pobudzenia mięśni kończyn dolnych i górnych w formie ćwiczeń siłowo-szybkościowych, który można byłoby wykorzystać

bezpośrednio przed podjęciem rywalizacji w czasie zawodów oraz dokonano oceny wpływu tego protokołu na uzyskiwane wyniki w pływaniu na dystansie sprinterskim.



## 1. Rola rozgrzewki w optymalnym przygotowaniu sportowca do startu

Rozgrzewka jest powszechnie stosowaną i akceptowaną praktyką poprzedzającą prawie każdy występ sportowy. Mimo, że rozgrzewka jest uważana przez wielu trenerów i sportowców za nieodłączny element treningu lub zawodów, wykorzystywany w celu osiągnięcia optymalnej wydajności, istnieje stosunkowo niewielka liczba doniesień naukowych potwierdzających jej skuteczność (Bishop, 2003a). Najczęściej procedura rozgrzewkowa jest efektem doświadczeń sportowców i trenerów, a nie badań naukowych.

Głównym celem rozgrzewki jest przygotowanie i przyspieszenie procesów adaptacyjnych organizmu do osiągnięcia optymalnego stanu psychomotorycznego podczas treningu lub zawodów. Chmura (2014) wyróżnia kilka punktów metodycznych jakie powinna zawierać rozgrzewka z fizjologicznego punktu widzenia:

- przestrojenie czynności fizjologicznych z poziomu spoczynkowego na wysiłkowy;
- „przetorowanie” dróg nerwowych, biorących udział w przewodzeniu impulsów nerwowych czuciowych i ruchowych związanych z przebiegiem odruchów warunkowych;
- doprowadzenie do optymalnego pobudzenia ośrodkowego układu nerwowego i osiągnięcie progu psychomotorycznego zmęczenia;
- przygotowanie całego aparatu ruchu do prawidłowego wykonania wyuczonych nawyków ruchowych;
- poprawienie koordynacji ruchowej;
- obniżenie ryzyka wystąpienia urazów i kontuzji w czasie treningu i podczas rywalizacji sportowej;
- poprawienie nastawienia psychicznego zawodnika do realizacji zadań;
- modyfikowanie i regulacja emocjonalnych stanów przedstartowych.

Z powyższego opisu wynika, że pojęcie „rozgrzewka” często utożsamiane jedynie z rozgrzewaniem mięśni nie odzwierciedla w pełni bardzo złożonych procesów zachodzących podczas jej realizacji. W rzeczywistości można ją określić jako wszechstronne przygotowanie organizmu do wysiłku treningowego lub meczowego (Chmura, 2014).

### 1.1. Mechanizm rozgrzewki

Rozgrzewka może wpływać na efektywność sportowca za pomocą różnych mechanizmów. Jak wskazuje nazwa, większość skutków rozgrzewki przypisywana jest mechanizmom związanym z temperaturą. Wzrost temperatury mięśni może wpływać na ich wydajność

poprzez zmniejszenie lepkości mięśni i stawów (Buchthal i wsp., 1944; Wright i Johns, 1961; Wright, 1973), zwiększenie uwalniania tlenu z hemoglobiny i mioglobiny (McCutcheon i wsp., 1999), przyspieszenie reakcji metabolicznych (Febbraio i wsp., 1996; Fink i wsp., 1975; Koga i wsp., 1997), zwiększoną szybkość przewodzenia nerwowego (Karvonen, 1992; Ross i Leveritt, 2001), zwiększone napięcie termoregulacyjne (Nadel, 1987).

Sugeruje się również, że zmiany fizjologiczne i zmiany wydajności po aktywnej rozgrzewce, spowodowane są resztkową kwasicyą metaboliczną (Gerbino i wsp., 1996). Rozgrzewka może skutkować podniesieniem podstawowego poboru tlenu ( $VO_2$ ), co powoduje zmniejszenie niedoboru tlenu, a tym samym zachowanie większej części zdolności beztlenowych na późniejszym etapie zadania (Andzel, 1982). Niektóre doniesienia sugerują, że w pewnych okolicznościach rozgrzewka może powodować zwiększenie aktywacji nerwowo-mięśniowej, spowodowanej wzmocnieniem po-aktywacyjnym (PAP) (Güllich i Schmidbleicher, 1996; Young i wsp., 1998). Istnieje również hipoteza, że rozgrzewka może mieć szereg skutków psychologicznych, jak np. zwiększenie gotowości do dużego lub długotrwałego wysiłku (Massey i wsp., 1961) lub rozładowanie przedstartowego napięcia psychicznego (Chmura, 2014).

## 1.2. Rodzaje rozgrzewki i ich wykorzystanie w zależności od czasu trwania wysiłku

Istnieją dwie główne kategorie wykonywania rozgrzewki: rozgrzewka pasywna lub rozgrzewka aktywna. Rozgrzewka pasywna polega na podniesieniu temperatury mięśni ( $T_m$ ) lub temperatury mięśni kompleksu lędźwiowo-miedniczno-biodrowego (mięśni głębokich – ang. „core”) ( $T_c$ ), przy użyciu zewnętrznych środków tj. sauna, gorący prysznic lub kąpiel, poduszki grzewcze, diatermia. Pozwala to na podniesienie temperatury mięśni i temperatury wewnętrznej bez zużywania substratów energetycznych. Rozgrzewka aktywna wymaga wykonywania ćwiczeń fizycznych i prawdopodobnie wywołuje większe zmiany metaboliczne i sercowo-naczyniowe niż rozgrzewka pasywna. Typowym przykładem aktywnej rozgrzewki może być bieg, ćwiczenia gimnastyczne, jazda na rowerze lub pływanie (Bishop, 2003a).

Zastosowanie rozgrzewki biernej (pasywnej) nie poprawia siły izometrycznej, ale może poprawić krótkotrwałą siłę dynamiczną, jednak poprawa efektywności dynamicznych ruchów krótkiego czasu działania (wysiłki trwające poniżej 10 s tj. skoki pionowe, sprinty kolarskie) jest mniejsza, niż w przypadku izolowanych mięśni. Badacze zauważają, że rozgrzewka bierna może poprawić również średnią wydajność (wysiłki trwające od 10 s do 5 min.), jednak może

mieć szkodliwy wpływ na wysiłki długoterminowe (trwające powyżej 5 min.), prawdopodobnie poprzez zwiększenie intensywności procesów termoregulacyjnych.

Chociaż rozgrzewka bierna nie ma praktycznego zastosowania dla większości dyscyplin sportowych, pozwala ona na testowanie hipotez związanych z przypisywaniem zmian sprawności organizmu sportowca, podczas rozgrzewki aktywnej, mechanizmom związanym z temperaturą (Bishop 2003a). Rozgrzewka bierna może być także ważna dla uzupełnienia lub utrzymania wzrostu temperatury wywołanego rozgrzewką aktywną, szczególnie jeśli występuje nieuniknione opóźnienie między rozgrzewką a startem lub/i gdy jest zimno (Bishop, 2003b).

Znacznie większe praktyczne zastosowanie ma wśród sportowców rozgrzewka aktywna, która poza podwyższeniem temperatury mięśni, ma również szereg mechanizmów fizjologicznych. Aktywna rozgrzewka powoduje nieznacznie większą poprawę wydajności krótkoterminowej ( $< 10$  s), niż w przypadku samej rozgrzewki biernej (Dolan i wsp., 1985), jednak może być osłabiona, jeśli protokół rozgrzewki jest zbyt intensywny lub nie pozwala na całkowity wypoczynek, co skutkuje zmniejszoną dostępnością wysokoenergetycznych fosforanów przed rozpoczęciem zadania (Margaria i wsp., 1971; Sargeant i Dolan, 1987). Stosowanie aktywnej rozgrzewki nie poprawia zadań krótkoterminowych, jeśli protokół rozgrzewki jest o niskiej intensywności np. w formie ćwiczeń gimnastycznych. Wydaje się, że 3-5 min. rozgrzewka aktywna o umiarkowanej intensywności znacznie poprawia wydajność krótkoterminową podczas wykonywania szeregu zadań, a poprawa ta w dużej mierze, choć nie w całości, wynika ze wzrostu  $T_m$  (Bishop, 2003b).

Rozgrzewka aktywna wydaje się poprawiać długoterminowe ( $\geq 5$  min.), jak i średnie wysiłki ( $> 10$  sek.,  $< 5$  min.), jeśli pozwala sportowcowi na rozpoczęcie kolejnego zadania w stanie względnie niezmęczonym, ale z podwyższonym poziomem  $VO_2$  (Asmussen i Bøje 1945; de Vires, 1959; Grodjinovsky i Magel 1970). Aktywna rozgrzewka poprawia wytrzymałość, jednak może mieć szkodliwy wpływ, jeśli powoduje znaczny wzrost procesów termoregulacyjnych. Środkiem ergogenicznym może być również krótkie, specyficzne dla zadania ćwiczenie. Poprzez manipulowanie intensywnością, czasem trwania oraz czasem wypoczynku, wiele różnych protokołów rozgrzewki może być w stanie wywołać podobne zmiany fizjologiczne (Bishop 2003b).

W celu poprawienia wydajności krótkoterminowej ważne jest zbudowanie takiej struktury rozgrzewki, aby miała wystarczającą intensywność i czas trwania, a także odpowiedni okres regeneracji. Pozwala to na zwiększenie  $T_m$ , jak również na resyntezę wysokoenergetycznych fosforanów bezpośrednio przed zadaniem. Optymalna rozgrzewka będzie zależeć od wielu czynników, jednak badania sugerują, że rozgrzewka wykonana w zakresie intensywności  $\sim 40$ -

60% maksymalnego zużycia tlenu ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) przez 5-10 min., a następnie 5 min. regeneracji poprawia wydajność krótkoterminową (Dawson i wsp., 1997; Dolan i Sargeant, 1984; Karlsson i wsp., 1970; Sargeant i Dolan, 1987). Konieczne są dalsze badania w celu ustalenia, czy dodanie ćwiczeń specyficznych dla zadania będzie miało dalszy efekt ergogeniczny na krótkoterminowe wyniki.

Rozgrzewka o odpowiedniej intensywności oraz czasie trwania, po którym następuje odpowiedni okres regeneracji, jest równie ważna w przypadku zadań średnich i długoterminowych. Optymalna rozgrzewka powinna podnieść  $\text{VO}_2$ , jednak nie powodować znacznego zmęczenia. Badania sugerują, że aktywna rozgrzewka przeprowadzona w zakresie intensywności  $\sim 60\text{-}70\%$   $\text{VO}_2\text{max}$  przez 5-10 min., po której następuje odpoczynek trwający  $\leq 5\text{min.}$ , poprawia średnią i długoterminową wydajność (Bishop i wsp., 2001; Özyener i wsp., 2001; Stewart i Sleivert, 1998). Dodanie do ogólnej rozgrzewki specyficznych dla zadania ćwiczeń, może zapewnić korzyści ergogeniczne, prawdopodobnie poprzez zwiększenie aktywacji nerwowo-mięśniowej.

### 1.3. Wzmocnienie po-aktywacyjne mięśni jako forma podniesienia efektywności startowej

Wielu autorów wskazuje na poprawę wyników sportowych pod wpływem dobrze przygotowanej i przeprowadzonej rozgrzewki (Balilionis i wsp., 2012; Bishop, 2003a, 2003b). Zrozumienie jak właściwości skurczu włókien mięśniowych mogą wpływać na efektywność aktywności ruchowej, może dostarczyć trenerom oraz sportowcom dodatkowych informacji podczas opracowywania programów szkoleniowych. Szczególnie interesująca jest koncepcja wzmocnienia po-aktywacyjnego (ang. *postactivation potentiation*; PAP), w przypadku której wykazano, że w określonych warunkach może mieć wpływ na wynik sportowy (Esformes i wsp., 2010; Hamada i wsp., 2000; Kilduff i wsp., 2008; Matthews i Comfort, 2008; Rixon i wsp., 2007; Stone i wsp., 2008). PAP charakteryzuje się zwiększonym tempem narastania siły (ang. *rate of force development*; RFD) (Hanson i wsp., 2007), który został zaobserwowany zarówno po dobrowolnym jak i stymulowanym elektrycznie skurczu mięśni (Jubeau i wsp., 2010). Zwiększeniu tempa narastania siły, obserwowanego podczas, gdy mięśnie są w stanie wzmocnienia, towarzyszy skrócenie czasu piku siły, który w teorii zwiększa wydajność działania określonych grup mięśniowych podczas różnego rodzaju aktywności fizycznej.

Praktyczne zastosowanie PAP widać w koncepcji wysiłku kompleksowego, którego celem jest zapewnienie krótko i długoterminowych korzyści (Docherty i Hodgson, 2007; Matthews i Comfort, 2008; Stone i wsp., 2008). Trening kompleksowy praktykowany jest w wielu

dyscyplinach sportu, a podstawą jego koncepcji jest zasada specyficzności, zakładająca że trening powinien oddziaływać na poszczególne komponenty organizmu człowieka tak, jak ma to miejsce podczas rywalizacji. Takie działanie umożliwia transfer siły mięśniowej do techniki ruchu (Trzaskoma i Trzaskoma, 2001). Obejmuje on wykonanie ćwiczeń oporowych przed biomechanicznie podobnymi eksplozywnymi ćwiczeniami w tej samej serii ćwiczeń (Comyns i wsp., 2006; Matthews i Comfort, 2008; Robbins i wsp., 2009). Mięśnie po maksymalnym lub submaksymalnym skurczu są zarówno w stanie zmęczenia jak i wzmocnienia. Stan wzmocnienia utrzymuje się przez pewien czas po ustąpieniu zmęczenia i stwarza „okno możliwości”, podczas których zawodnik może odnieść ergogeniczne korzyści (Hodgson i wsp., 2005).

Typowym przykładem filozofii treningu kompleksowego jest wykorzystanie protokołu przysiadu (ang. *squat protocol*) jako mechanizmu ładowania, przed wykonywaniem serii skoków dosiężnych (ang. *counter movement jump*; CMJ) (Hanson i wsp., 2007; Hodgson i wsp., 2005; Rixon i wsp., 2007; Witmer i wsp., 2010). Jednak badania, co do korzyści jakie można uzyskać za pomocą tego protokołu nie są jednoznaczne. Niektóre wskazują na pozytywny efekt wysiłku kompleksowego na efektywność wykonywania ćwiczeń eksplozywnych (Rixon i wsp., 2007), inne nie wykazują istotnego wzrostu siły eksplozywnej (Hanson i wsp., 2007; Robbins i Docherty, 2005), a nawet jej spadek (Witmer i wsp., 2010). Liczne rozbieżności związane są z czasem trwania przerw wypoczynkowych oraz z wielkością obciążenia, jakie ma być zastosowane dla wzrostu parametrów mocy (Docherty i Hodgson, 2007; Ebben, 2006; Farup i Sørensen, 2010; Gołaś i wsp., 2016; Hodgson i wsp., 2005).

#### 1.4. Mechanizm wzmocnienia po-aktywacyjnego

Dokładne mechanizmy fizjologiczne, które przyczyniają się do PAP są jeszcze nie do końca jasne, jakkolwiek dominująca teoria sugeruje, że w warunkach wzmocnienia następuje fosforylacja regulatorowych lekkich łańcuchów miozyny, co prowadzi do zwiększenia szybkości powstawania mostków aktynowo-miozynowych spowodowanych wzrostem wrażliwości białek kurczliwych na działanie jonów wapnia, co z kolei prowadzi do wzrostu siły skurczu i prędkości rozwijania siły (Hodgson i wsp., 2005; Rixon i wsp., 2007; Zhi i wsp., 2005). Zwiększenie aktywności neuronowej w wyniku maksymalnego lub submaksymalnego skurczu mięśni, może również przyczyniać się do zwiększenia PAP, ze względu na zwiększoną zdolność do rekrutacji i synchronizacji jednostek motorycznych podczas wykonywania kolejnej aktywności sportowej (Baker, 2001). Baker (2001) sugeruje, że oprócz wzrostu aktywacji jednostek motorycznych, dodatkową przyczyną PAP jest zmniejszone hamowanie z narządów

ścięgniastych aparatu Golgiego. Do występowania PAP przyczyniać się może również kąt orientacji włókien mięśniowych w stosunku do tkanki łącznej i kostnej, który wpływa na sposób, w jaki siła przenoszona jest z mięśni do ścięgien i kości (Tillin i Boshop, 2009). Im mniejszy kąt, tym większe wzmocnienie. Wydaje się, że połączenie czynników metabolicznych i neuronalnych przyczynia się do PAP.

### 1.5. Czynniki wpływające na wzmocnienie po-aktywacyjne

Kilka czynników może wpływać na poziom wzmocnienia po-aktywacyjnego, w tym typ ćwiczenia aktywacyjnego, rodzaj późniejszego zadania sportowego, a także indywidualne cechy organizmu (Tillin i Bishop, 2009). Badania wykazały zróżnicowane efekty PAP, ze względu na zróżnicowanie zastosowanych metod aktywacji (Hodgson i wsp., 2005). Na reakcję na PAP mogą również mieć wpływ indywidualne cechy siły mięśniowej, wśród których za najważniejsze uważa się: rodzaj i rozkład włókien mięśniowych oraz poziom wyszkolenia sportowca (Tillin i Bishop, 2009).

Na podstawie przeglądu dostępnej literatury można wyciągnąć wniosek, że poziom sportowy jest czynnikiem istotnie wpływającym na manifestację PAP. Oznacza to, że elitarni sportowcy doświadczą zapewne większej poprawy wyniku w porównaniu do osób rekreacyjnie uprawiających sport, jeśli występuje efekt PAP (Chiu, i wsp., 2003; Gourgoulis, i wsp., 2003; Young, 1993). Różnicę przypisuje się zdolności dobrze wyszkolonych sportowców do rekrutowania większej ilości jednostek motorycznych, z większą synchronizacją i przy większej szybkości skurczu, aniżeli ma to miejsce u osób z mniejszym stażem treningowym (Ratamess, 2008; Schmidbleicher i Buehrle, 1987). Dodatkowo osoby z większym doświadczeniem treningowym mogą mieć większy udział procentowy masy beztłuszczowej, który jest silnie skorelowany z budowaniem szybkości i mocy (Miller i wsp., 2002).

Pomimo dowodów na to, że dobrze wytrenowani sportowcy mają większe szanse na skorzystanie z protokołów rozgrzewki wywołujących efekt PAP, wyniki niektórych badań dają podstawy do sformułowania stwierdzenia, że osoby o zróżnicowanym poziomie sportowym wciąż mogą osiągnąć poprawę efektywności pracy mięśniowej. Doniesienia Batista i wsp. (2011), w których porównywana była moc wśród lekkoatletów, kulturystów i osób aktywnych fizycznie, nie potwierdzają różnic w odpowiedzi na zastosowane protokoły PAP (Batista i wsp., 2011). Autorzy doszli do wniosku, że indywidualny poziom wyszkolenia w treningu maksymalnej siły dynamicznej nie ma wpływu na manifestację PAP. Wskazali również, że różnice w efekcie PAP mogą być indywidualne, a nie tylko sportowe, zależne od poziomu treningowego (np. typ włókien mięśniowych). Linder i wsp. (2010) zaobserwowali znaczną

poprawę czasu biegu na 100 metrów przez rekreacyjnie uprawiające sport studentki, w wyniku rozgrzewki z PAP. Autorzy sugerują również, że nie jest konieczne, aby zawodnicy byli dobrze wyszkolonymi sportowcami, aby zwiększyć efektywność pracy mięśni.

Innym czynnikiem, który wydaje się odgrywać rolę w wielkości odpowiedzi na PAP, oprócz poziomu sportowego, jest ilość szybko kurczliwych włókien mięśniowych typu II (Xenofondos i wsp., 2010). W badaniach z udziałem ludzi i małych ssaków ujawniono, że osobniki z większym odsetkiem włókien mięśniowych typu II wykazywały większą odpowiedź na PAP (Hamada, i wsp., 2000; Hamada i wsp., 2003; Houston, i wsp., 1987; Moore i Stull, 1984; Vanderboom i Houston, 1996). Powodem tego jest zwiększona fosforylacja lekkich łańcuchów miozyny włókien typu II, w odpowiedzi na intensywną aktywność fizyczną, czyniąc połączenie aktyna-miozyna bardziej wrażliwe na jony wapnia ( $Ca^{2+}$ ) podczas kolejnych skurczów (Moore i Stull, 1984; Zhi i wsp., 2005).

W odniesieniu do indywidualnych zdolności szybkościowych, typ włókien mięśniowych odgrywa znaczącą rolę. W klasycznym badaniu Costill i wsp. (1976) wykazali, że sprinterzy mieli znacznie większą ilość włókien typu II, niż biegacze dystansowi i osoby niewytrenowane. Wyższy odsetek włókien mięśniowych typu II pozwala na wytworzenie większej siły w krótszym czasie (Cissik, 2004). W konsekwencji wyższy procent włókien szybko kurczliwych może przekładać się na większe zdolności szybkościowe i większą odpowiedź na PAP.

Wielu autorów skupiło się również na badaniu wpływu względnej intensywności rozgrzewki z wykorzystaniem protokołu PAP. Vandervoort i wsp. (1983) przeanalizowali wpływ skurczów dobrowolnych (ang. *voluntary contraction*; VC) o różnym natężeniu i różnym czasie trwania, na wzmocnienie skurczowe mięśni zginaczy podszwowych u ludzi. Autorzy doszli do wniosku, że VC poniżej 75% maksymalnego dobrowolnego skurczu (ang. *maximal voluntary contraction*; MVC) powodowało małe lub żadne wzmocnienie (Vandervoort i wsp., 1983). Do podobnych wniosków doszli Requena i wsp. (2008), którzy badali wzmocnienie skurczów mięśni prostownika kolana u ludzi, po dobrowolnych i elektrycznie indukowanych skurczach izometrycznych. Autorzy wykazali, że dobrowolny izometryczny skurcz prostownika kolana na poziomie 25% MVC nie był wystarczającym bodźcem do wywołania wzmocnienia skurczowego. Ponadto autorzy zaobserwowali, że istotny wzrost wzmocnienia skurczowego nastąpił bezpośrednio po badaniu MVC. Potwierdza to pogląd, że największe efekty PAP można osiągnąć po maksymalnym lub prawie maksymalnym skurczu. Dodatkowo badania Gołasia i wsp. (2016) przeprowadzone na grupie 31 wyczynowych sportowców z trzech dyscyplin sportu wykazały, że ćwiczenia ekscentryczne z obciążeniem

supramaksymalnym (130% 1RM) stosowane jako wzbudzenie mięśni, mogą dostarczać korzyści z PAP.

Kolejnym ważnym czynnikiem wpływającym na PAP jest wypoczynek, czyli czas regeneracji między zastosowanym protokołem rozgrzewki, a następującą po niej aktywnością fizyczną. Znalezienie optymalnej przerwy regeneracyjnej jest trudne, ponieważ zmęczenie może współlistnieć z PAP i może osłabić jego wykorzystanie (Hodgson i wsp., 2005; Weber i wsp., 2008). Jeśli zmęczenie jest zbyt duże, takie jak bezpośrednio po rozgrzewce, to PAP nie może osiągnąć optymalnych efektów (Robbins, 2005). Jeśli upłynie zbyt dużo czasu, zmęczenie zostanie zmniejszone, ale również efekt PAP. Zasadniczo należy zapewnić czas na uzupełnienie wysokoenergetycznych fosforanów, ale jeśli zostanie zapewnione zbyt dużo czasu, wzmocnienie skurczu może nie być wystarczające do uzyskania pożądanego wpływu na efektywność.

Wielu autorów badało wpływ różnych okresów wypoczynkowych na PAP. Badania te wykazały efekt PAP w zakresie od 0 do 20 min po rozgrzewce (Bevan, i wsp., 2010; Comyns, i wsp., 2006; Docherty, i wsp., 2004; Güllich i Schmidtbleicher, 1996; Kilduff i wsp., 2007). Bevan i wsp. (2010) badali efekt PAP podczas 10 m sprintu. Materiał badań stanowili zawodnicy rugby, którzy jako protokół PAP wykonywali serię trzech przysiadów z obciążeniem 91% jednego maksymalnego powtórzenia (ang. *repetition maximum*; 1RM). Uczestnicy badań wykonywali 5 sprintów 10 m (z międzyczasem na 5 m) w okresach wypoczynku 0, 4, 8, 12 i 16 min po wykonaniu rozgrzewki z PAP. Autorzy nie stwierdzili istotnego wpływu czasu przerwy wypoczynkowej na osiągnięte rezultaty podczas serii sprintów.

Do nieco innych wniosków doszli Kilduff i wsp. (2007), którzy badali wpływ czasu wypoczynku po ćwiczeniu aktywacyjnym na efektywność PAP, u zawodników rugby. Autorzy badali wielkość piku mocy (ang. *peak power output*; PPO) podczas wyciskania dynamicznego na maszynie Smitha (górną część ciała) oraz skoku dosiężnego (CMJ) (dolną część ciała). Ćwiczeniami stymulującymi mięśnie było wykonanie serii trzech powtórzeń maksymalnych (3RM) podczas wyciskania na ławce płaskiej (górną część ciała) oraz przysiadu ze sztangą na barkach za głową (dolną część ciała). Pomiar PPO następował bezpośrednio po wykonaniu rozgrzewki z PAP (ok. 15 s), a następnie w odstępach od 4 do 20 min (4, 8, 12, 16, 20 min). Pomiędzy 8 a 12 min po wykonaniu ćwiczenia aktywacyjnego dolnej części ciała wystąpił największy wzrost PPO w stosunku do powtórzenia bazowego (bez wzbudzenia mięśniowego) (~7-8%), natomiast po 12 min zaobserwowano największy wzrost PPO podczas ćwiczenia na górną część ciała (~5%). Na podstawie uzyskanych wyników autorzy doszli do wniosków, że



8-12 min jest odpowiednim czasem przerwy wypoczynkowej po rozgrzewce z PAP do uzyskania poprawy sprawności mięśni.

W późniejszym czasie Kilduff i wsp. (2011) przeprowadzili badania na grupie międzynarodowej klasy pływaków (sprinterów), u których sprawdzano wpływ PAP na efektywność skoku startowego. W celu wyznaczenia optymalnej, indywidualnej przerwy wypoczynkowej wymaganej do zaobserwowania zwiększonej sprawności mięśni, zawodnicy wykonywali protokół aktywacyjny (seria 3 przysiadów z obciążeniem 87% 1RM), a następnie w czasie 15 s, 4, 8, 12 i 16 min po zastosowaniu pobudzenia wykonywali wyskok dosiężny. Autorzy doszli do wniosków, że największą moc wyjściową oraz wysokość skoku uzyskano po upływie 8 min od pobudzenia mięśni.

Podobny czas odpoczynku zastosowali w swoim doniesieniu Linder i wsp. (2010), którzy badali wpływ rozgrzewki PAP na wykonanie sprintu na dystansie 100 m u lekkoatletek. Zawodniczki uczestniczyły w dwóch sesjach testowych. Podczas pierwszej sesji zawodniczki wykonywały 4 min standaryzowaną rozgrzewkę na rowerze stacjonarnym, po której następował 4 min aktywny wypoczynek i wykonanie pierwszego 100 m sprintu, następnie kolejne 4 min wypoczynku i kończyły drugim sprintem na 100 m. Druga sesja była taka sama, z tym, że po pierwszym sprincie i odpoczynku 4 min zawodniczki wykonywały ćwiczenie aktywacyjne, którym było wykonanie 1 serii 4 półprzysiadów z maksymalnym obciążeniem (4RM). Po wykonaniu rozgrzewki PAP następował 9 min odpoczynek, po którym wykonywany był ostatni sprint 100 m. Czasy pokonania odcinka 100 m po wykonaniu rozgrzewki zawierającej elementy PAP (4RM półprzysiad) był istotnie krótszy, niż podczas sesji bez ćwiczeń aktywacyjnych. Autorzy sugerują również, że trenerzy powinni zwrócić uwagę na dodatkowe „dogrzanie” zawodników podczas zawodów wykonując ćwiczenia stymulujące mięśnie (Linder i wsp. 2010).

W wielu doniesieniach naukowych wykorzystywano czas od 2 do 5 min jako przerwę wypoczynkową między ćwiczeniami aktywującymi, a następującą po nich aktywnością fizyczną, zgodnie z zaleceniami Güllicha i Schmidtleichera (1996). McBride i wsp. (2005) stwierdzili istotną poprawę efektywności sprintu na 40 m, 4 min po tym jak uczestnicy badań wykonywali przysiady z dużym obciążeniem jako ćwiczenia aktywacyjne. Chatzopoulos i wsp. (2007) stwierdzili wzrost prędkości biegu na 30 m, 5 min po tym jak sportowcy amatorzy wykonywali przysiady z dużym obciążeniem. Autorzy analizowali również wpływ 3 min przerwy wypoczynkowej, ale nie stwierdzili istotnej poprawy wyników.

Smith i wsp. (2001) mierzyli efekt PAP w 10 s teście sprinterskim na rowerze stacjonarnym, na grupie 9 aktywnych fizycznie mężczyzn. Autorzy wykorzystali czas 5 i 20

min jako wypoczynek po rozgrzewce PAP, którą było 10 serii po 1 przysiadzie z obciążeniem 90% 1RM. Istotne różnice w poziomie mocy wykazano podczas wykonywania protokołu z przerwą wypoczynkową trwającą 5 min, po wykonaniu protokołu aktywacyjnego.

Weber i wsp. (2008) wykazali istotny wzrost wysokości skoku pionowego (ang. *squat jump*; SJ) po 3 min od wykonania serii 5 przysiadów ze sztangą z tyłu na barkach (ang. *back squat*; BS) z obciążeniem 85% 1RM. Podobne obserwacje poczynili Mitchell i Sale (2011), którzy zauważyli poprawę wysokości skoku dosiężnego (CMJ), po wykonaniu 1 serii przysiadów z obciążeniem 5RM oraz 4 min przerwie wypoczynkowej po ćwiczeniu aktywacyjnym.

McCann i Flanagan (2010) badali wpływ rozgrzewki z PAP na efektywność skoku pionowego u siatkarzy. Autorzy porównywali skutki 4 i 5 min przerwy wypoczynkowej po wykonaniu protokołu aktywacyjnego (1 seria z obciążeniem 5RM w przysiadzie ze sztangą z tyłu na barkach lub zarzut ze zwisu). Wyniki badań nie wykazały istotnych różnic między tymi dwoma czasami, dodatkowo autorzy zwracają uwagę trenerom na indywidualny dobór przerw wypoczynkowych, w celu osiągnięcia największych efektów PAP.

Innym ważnym aspektem rozgrzewki PAP jest rodzaj ćwiczenia o wysokiej intensywności stosowanego do wzbudzenia mięśni. Wcześniejsze doniesienia wykazały, że wydajność podczas aktywności fizycznej może być zwiększona, jeśli zadania ruchowe podczas stymulacji mięśni są biomechanicznie podobne do późniejszej aktywności (Chatzopoulos i wsp., 2007; Linder i wsp. 2010; Matthews i wsp., 2010; Robbins, 2005).

Większość badań prowadzonych nad rozgrzewką PAP, w celu odniesienia krótkoterminowych korzyści w budowaniu mocy kończyn dolnych, wykorzystywała przysiad jako ćwiczenie wzbudzające mięśnie (Dochetry i wsp., 2004; Gourgoulis i wsp., 2003; Linder i wsp., 2010; McBride i wsp., 2005; Radcliffe i Osternig, 1995; Radcliffe i Radcliffe, 1996; Weber i wsp., 2008). W innych doniesieniach wykorzystywano ćwiczenia plajometryczne jako rozgrzewkę PAP. Hilfiker i wsp. (2007) wykazali istotny wzrost wysokości wyskoku oraz mocy maksymalnej, po zastosowaniu zeskoków w głąb, jako rozgrzewki z elementami PAP, u elitarnych sportowców. Poza przysiadami i plajometrią, w kilku publikacjach wykorzystywano boje olimpijskiego podnoszenia ciężarów, podczas tworzenia protokołu aktywacyjnego (Andrews i wsp., 2011; McCann i Flannagan, 2010; Radcliffe i Radcliffe, 1996). Autorzy ci wykazali istotny wpływ zastosowania zarzutu ze zwisu (ang. *hang clean*) oraz rwania (ang. *snatch*), jako rozgrzewki PAP.

## 2. Czynniki warunkujące skuteczność w pływaniu sportowym

Pływanie jest drugą dyscypliną sportu, pod względem liczby konkurencji rozgrywanych podczas igrzysk olimpijskich, w której zawodnicy rywalizują w 37 konkurencjach na dystansach od 50 do 10000 m. W zawodach międzynarodowych wyścigi pływackie odbywają się każdym z czterech stylów: dowolnym (kraul na piersiach), grzbietowym (kraul na grzbiecie), klasycznym (żabka na piersiach) oraz motylkowym (delfin). Ponadto rozgrywane są konkurencje w stylu zmiennym, w którym zawodnicy stosują wszystkie cztery techniki, każdą pokonując jedną czwartą dystansu, w określonej kolejności, a także sztafety w stylu dowolnym i zmiennym (Pyne i Sharp, 2014). Fizjologiczne wymagania wszystkich konkurencji pływackich obejmują system energetyczny: beztlenowy niekwasomlekowy, beztlenowy kwasomlekowy oraz tlenowy (Nugent i wsp., 2019). Procentowy udział danego systemu w tworzeniu energii zależy od dystansu, a co za tym idzie czasu trwania konkurencji. Konkurencje sprinterskie w pływaniu odbywają się na dystansach 50 m oraz 100 m. Najkrótszą konkurencją olimpijską jest 50 m stylem dowolnym, jednak na pozostałych zawodach rangi międzynarodowej zawodnicy mają możliwość rywalizacji na tym dystansie również w pozostałych stylach. Dominującymi systemami energetycznymi wykorzystywanymi podczas tych wyścigów są system beztlenowy fosfagenowy oraz system glikolityczny beztlenowy, ponieważ czas trwania tych wyścigów jest krótszy niż 75 s (Gastin, 2001; Pyne i Sharp, 2014). Pływacy specjalizujący się na krótkich dystansach dużą część treningu poświęcają na budowanie siły oraz mocy, zarówno podczas jednostek wykonywanych w wodzie, jak również na lądzie (Bishop i wsp., 2013). Z uwagi na specyfikę konkurencji sprinterskich wydaje się, że trening kompleksowy może przynieść największe korzyści w podniesieniu efektywności wykonywanych elementów technicznych (startów i nawrotów), jak również samego pływania, co będzie skutkowało skróceniem czasu ich wykonania.

Podczas analizy wyścigu pływackiego wyróżnić można skok startowy, nawroty oraz pływanie stylowe. Dystans pokonywany podczas startu i nawrotów jest krótszy niż czas pływania, szczególnie na pływalni 50-cio metrowej, jednak to sposób wykonania elementów technicznych często decyduje o końcowym rezultacie, ponieważ w tych sekcjach pływak osiąga najwyższą prędkość (Tourny-Chollet i wsp., 2002; Welcher i wsp., 2008). Starty i nawroty poddawane są często wnikliwej analizie, szczególnie w fazach odbicia (Araujo i wsp., 2010; Balilionis i wsp. 2012) oraz poślizgu (Burkett i wsp., 2010), podczas którego analizowana jest liczba i częstotliwość kopnięć (Vantorre i wsp., 2010). Analizy wykazały, że faza podwodna (poślizg) ma największy wpływ na efektywność skoku startowego (Cossor i Mason 2001; Pereira i wsp., 2006), podczas którego pływacy powinni maksymalizować prędkość w

momencie odbicia oraz minimalizować spadki prędkości wykonując delfinową pracę nóg oraz utrzymując opływowe ułożenie ciała (Blanksby i wsp., 2004; Hubert i wsp., 2006; Lyttle i wsp., 2000). Techniczne modyfikacje tych umiejętności mogą przyczyniać się do skrócenia czasu startu o 0,1 s (Blanksby i wsp., 2002), a także są powtarzane podczas wykonywania każdego nawrotu (Burkett i wsp., 2010). Trenerzy powinni pamiętać, że każda poprawa w sekcjach startu i nawrotów ma istotny wpływ na końcowy rezultat wyścigu (Bishop i wsp., 2009).

## 2.1. Start pływacki

Start pływacki jest zwykle definiowany jako czas od sygnału startera do przekroczenia głowy pływaka 15 m. Podczas analizy startu pływackiego wydziela się trzy fazy: odbicia, lotu oraz fazę podwodną (poślizg) (Cossor i Mason, 2001; Maglischo, 2003), których procentowy udział wynosi odpowiednio 11, 5 i 84% (Slawson i wsp., 2013). Faza odbicia opisywana jest jako czas od sygnału startera do utraty kontaktu stóp z platformą startową. W momencie, kiedy palce stóp pływaka tracą kontakt z platformą startową rozpoczyna się faza lotu, która trwa do momentu dotknięcia palcami dłoni lustra wody. Ostatnią, najdłuższą trającą fazą jest poślizg, który trwa od zakończenia poprzedniej fazy do momentu wynurzenia głowy i rozpoczęcia pływania stylowego (Tor i wsp., 2014b).

Start pływacki jest powiązany z ogólnym czasem trwania wyścigu, szczególnie na krótszych dystansach. W zależności od dystansu zajmuje on od 0,8 do 26,1% całkowitego czasu trwania wyścigu (Cossor i Mason, 2001; Tor i wsp., 2014a). Jest on również bardzo ważny, ponieważ w momencie utraty kontaktu stóp ze słupkiem startowym prędkość pozioma pływaka wynosi ok. 4,5 m/s, czyli jest ponad 2 razy większa niż podczas pływania stylowego (Honda i wsp., 2012; Slawson i wsp., 2013). Wzrost prędkości horyzontalnej w fazie lotu przyczynia się do skrócenia czasu osiągnięcia 7,5 m, dlatego w celu osiągnięcia lepszych rezultatów podczas wykonywania startu pływacy powinni maksymalizować prędkość horyzontalną generowaną w momencie opuszczania bloku startowego oraz minimalizować opory w czasie wejścia do wody oraz fazy poślizgu (Naemi i Sanders, 2008; Vantorre i wsp., 2010).

Naukowcy i trenerzy testują wiele różnych rodzajów startu, które mają zoptymalizować tę fazę wyścigu (Blanksby i wsp., 2002). Pływacy wykorzystują podczas skoku jedną z dwóch podstawowych technik: *grab* lub *track*. W technice *grab* pływak ustawia obie stopy równolegle z przodu słupka, a dłonie chwytają za jego przednią krawędź, na zewnątrz lub wewnątrz stóp. Technika *track* polega na ustawieniu jednej stopy na przedniej krawędzi słupka, a drugiej w tylnej jego części, z rękami ułożonymi podobnie jak w technice *grab* (Nosiadek i Nosiadek, 2016). W 2010 roku na wszystkich zawodach międzynarodowych wprowadzono nowy blok

startowy (OMEGA OSB11), który posiada tylną podstawkę ustawioną pod kątem 30° do powierzchni platformy startowej, z możliwością regulacji wzdłużnej w pięciu ustawieniach. Platforma startowa jest również nachylona do poziomu lustra wody pod kątem 9°. Rezultatem tej zmiany było zmodyfikowanie techniki skoku startowego, obecnie nazywanej *kick start*, którą to zaczęła stosować większość zawodników na całym świecie. Wiele badań wykazało, że podczas wykonywania skoku startowego przy użyciu nowej platformy można osiągnąć przewagę czasową w stosunku do tradycyjnego startu (Biel i wsp., 2010; Honda i wsp. 2010; Nomura i wsp., 2010; Takeda i wsp., 2012; Talardiz i wsp., 2016). Wynika to głównie z możliwości wytworzenia większej siły przez tylną nogę, a w konsekwencji wzrostu prędkości poziomej w fazie lotu. Badania Honda i wsp. (2010) wykazały, że do 7,5 m przewaga ta wynosi 0,04 s, przy wzroście prędkości poziomej rzędu 0,07 m/s. Analizy czasu odbicia (BT) przeprowadzone na podstawie wyników 26 najważniejszych imprez międzynarodowych w latach 2000-2012, w konkurencjach 50 i 100 m stylem dowolnym wykazały, że czas odbicia z nowej platformy startowej jest średnio o 0,06 sek. krótszy niż z platformy starszego typu (Garcia-Hermoso i wsp., 2013).

Jak już wyżej wspomniano, podczas wykonywania startu pływackiego wszystkie trzy fazy odgrywają ważną rolę, jednak jako najważniejsza wskazywana jest faza podwodna, czyli poślizg (Elipot i wsp., 2009; Naemi i wsp., 2010; Thow i wsp., 2012; Tor i wsp., 2014b). Faza ta jest najdłuższa i w zależności od miejsca wynurzenia głowy może wynosić nawet 84% całkowitego czasu trwania startu (Slawson i wsp., 2013). Pływak podczas poślizgu jest również najszybszy w wodzie (Elipot i wsp., 2009). Średnia prędkość w fazie poślizgu zależy głównie od prędkości podczas wejścia do wody, oporów w pozycji opływowej oraz napędowej pracy nóg. Kąt wejścia do wody powinien wynosić od 30° do 40° w stosunku do powierzchni wody, co pozwala na zmniejszenie oporów wody w tej fazie, jednak może powodować zbyt głębokie zanurzenie, chyba że pływak zmieni kierunek z „w dół i do przodu” na „do przodu i w górę” (Maglischo, 2003). Badania Tor i wsp. (2014b), w których analizowano trzy różne trajektorie podczas poślizgu, wykazały, że maksymalna głębokość  $-0.92 \pm 0,16$  m jest odpowiednia dla uzyskania korzyści podczas wykonywania skoku startowego. Autorzy wskazują również, iż czasy do 15 m były istotnie dłuższe podczas skoku płytkiego, w porównaniu ze średnim i z głębokim. Zarówno zbyt głęboki jak i za płytki skok powodują wydłużenie czasu wykonania startu, jednak ten drugi obniża jego efektywność najbardziej (Tor i wsp., 2014b).

Elementem wpływającym na prędkość pływaka w fazie podwodnej jest również delfinowa praca nóg (Maglischo, 2003). Moment rozpoczęcia napędowej pracy nóg jest bardzo ważny. Zbyt wczesna praca nóg spowoduje duże wytracenie prędkości, poprzez zwiększenie oporów

hydrodynamicznych, natomiast dłuższe utrzymanie poślizgu również spowoduje spadek prędkości poniżej optymalnej. Badania oporów hydrodynamicznych wskazują, że odpowiednią prędkością, przy której pływak powinien rozpocząć pracę napędową nóg wynosi 2,2–1,9 m/s (Lyttle i wsp., 2000). Badania Elipot i wsp. (2009) wskazują, że po wykonaniu startu ciało pływaka osiąga tę prędkość pomiędzy 6,02 a 6,51 m wyścigu.

W końcowym etapie fazy podwodnej pływak musi przejść do pływania stylowego. W przypadku konkurencji stylu dowolnego, Maglischo (2003) sugeruje rozpoczęcie kraulowej pracy nóg tuż przed wykonaniem pierwszego cyklu pracy ramion, gdy ciało znajduje się tuż pod powierzchnią wody. Badania Tor i wsp. (2015), w których analizowano wielkość oporów wody podczas holowania pływaków na trzech różnych głębokościach (po powierzchni, –0,5 m i –1,0 m), przy czterech różnych prędkościach (1,6, 1,9, 2,0, 2,5 m/s) wykazały, że największe opory występują na powierzchni wody oraz tuż pod nią (do 0,5 m). Autorzy sugerują, aby w celu wykonania efektywnego wypłynięcia, zmniejszać czas spędzony tuż pod powierzchnią wody, gdzie opory są największe (Tor i wsp., 2015).

## 2.2. Nawrót pływacki

Kolejnym elementem technicznym wpływającym na wynik końcowy w wyścigu pływackim jest nawrót, którego głównym celem jest zmiana kierunku pływania o 180°. Efektywność wykonania nawrotu polega na zwiększeniu prędkości pływania podczas zmiany kierunku, w porównaniu do prędkości pokonania takiego samego odcinka pływania stylowego (Tourny-Chollet i wsp., 2002). Nawrót został zidentyfikowany jako kluczowy czynnik efektywności pływania we wszystkich konkurencjach dłuższych niż jedna długość pływalni, a czas nawrotu jest dodatnio skorelowany z wynikiem końcowym (Chow i wsp., 1984). Dla wszystkich czterech technik pływania oraz dla stylu zmiennego istnieją specyficzne techniki wykonania nawrotów, które mieszczą się w zasadach określonych przez Międzynarodową Federację Pływania (Federation Internationale de Natation Amateur – FINA) i są uważane za najbardziej efektywne.

W pływaniu sportowym, preferowanym sposobem wykonywania nawrotu w stylu dowolnym jest nawrót koziółkowy (nawrót kryty). Jest on opisywany jako ruch ciała wokół prawie poziomej osi poprzecznej, po której następuje ruch obrotowy wokół osi wzdłużnej, gdy pływak odbija się od ściany (Nicol i Kruger, 1979). W literaturze opisywane są następujące fazy wykonania nawrotu: dopłynięcie do ściany, obrót, odbicie, poślizg i przejście do pływania stylowego (wyjście z wody) (Bartkowiak, 1995; Costil i wsp., 1992; Czabański i wsp., 2003; Karpiański, 2016; Maglischo, 2003).

Pierwszą fazą nawrotu jest dopłynięcie do ściany, które odnosi się do ostatniego cyklu ruchu ramion przed zmianą kierunku pływania. Celem tej fazy jest utrzymanie, a nawet zwiększenie prędkości pływania podczas ustawienia ciała w prawidłowej pozycji do wykonania obrotu. Podczas ostatniego ruchu napędowego ramienia przed ścianą ramię nie pracujące jest trzymane w wodzie obok biodra. Po jego zakończeniu pływak przechodzi do fazy obrotu, która rozpoczyna się od pochylenia głowy w przód oraz małego kopnięcia delfinowego, w celu uniesienia bioder i zainicjowania obrotu w przód. Gdy pływak zaczyna się obracać, ugina nogi w stawach kolanowych i biodrowych, aby umożliwić przyciągnięcie kolan do klatki piersiowej, zmniejszając moment bezwładności wokół osi obrotu (osi poprzecznej), co ułatwia tą fazę. W końcowej części obrotu pływak powinien wykonać delikatny skręt w osi długiej, poprzez obrócenie głowy w bok, umożliwiając ustawienie stóp na ścianie z palcami skierowanymi do góry i w bok. Po zakończeniu fazy obrotu ramiona muszą być wysunięte nad głowę, w celu jak najszybszego ustawienia ich w pozycji opływowej w fazie odbicia oraz poślizgu.

Gdy stopy uzyskują kontakt ze ścianą nawrotową rozpoczyna się faza odepchnięcia, która trwa do momentu utraty ich kontaktu ze ścianą. Odepchnięcie polega na maksymalnym wyproście w stawach kolanowych, biodrowych oraz skokowo-goleniowych. Stopy na początku tej fazy powinny być ustawione na głębokości ok. 0,3–0,4 m, a kąt zgięcia, zarówno w stawach kolanowych jak i biodrowych powinien wynosić ok.  $90^\circ$  (Maglischo, 2003). Pływak powinien rozpocząć prostowanie nóg natychmiast po uzyskaniu kontaktu stóp ze ścianą. Odepchnięcie od ściany powinno być mocne, ale siła powinna narastać stopniowo. Szybkość wyprostu powinna być jak największa chwilę przed utratą kontaktu stóp ze ścianą. Badania Blanksby i wsp. (1996) pokazują, że przy stopniowym zwiększaniu szybkości prostowania nóg prędkość była o 0,57 m/s wyższa, niż w przypadku bardzo mocnego prostowania już w początkowej fazie odepchnięcia, odpowiednio 3,03 i 2,46 m/s, nawet przy prawie o 300 N mniejszej sile (Blanksby i wsp, 1996).

Kiedy pływak opuści ścianę i rozpoczyna fazę poślizgu wykonuje obrót ciała w osi podłużnej, w celu ustawienia ciała w odpowiedniej pozycji do wypłynięcia z wody i przejścia do pływania stylowego. Zgodnie z badaniami Lyttle (1998) faza poślizgu powinna być przeprowadzona na głębokości 0,4–0,5 m, aby zminimalizować efekt oporu, co jest bezpośrednio powiązane ze skróceniem czasu akcji nawrotowej. Podczas fazy poślizgu pływak powinien również utrzymać opływową pozycję ciała, aby zminimalizować szkodliwy wpływ oporu na jego efektywność. Doniesienia Masona i Cossor (2001), w których badano nawroty podczas Igrzysk Olimpijskich w Sydney w 2000 roku, wskazują na to, że odległość oraz czas spędzony pod wodą w fazie poślizgu jest silnie powiązany z całkowitym czasem wykonania

nawrotu. Im dłuższa odległość i czas spędzony pod wodą, tym krótszy czas przebywania pływaka w strefie nawrotowej.

Ostatnia faza – wyjście z wody i przejście do pływania stylowego – inicjowana jest przez podwodne ruchy napędowe nóg, prowadzące do pierwszego cyklu pracy ramion. Pływak może wykonywać delfinowe lub kraulowe ruchy nóg. Badania Clothier i wsp. (2000) dowiodły, że delfinowa praca nóg minimalizuje spadki prędkości w fazie wypłynięcia. Pływak powinien wznowić cykl pracy ramion zanim prędkość podwodna spadnie poniżej prędkości pływania stylowego, gdyż zwiększa to wydatek energetyczny i ma negatywny wpływ na efektywność pływania (Lyttle i wsp., 2000).

### 2.3. Pływanie stylowe

Wynik w pływaniu sportowym jest ściśle związany z właściwościami antropometrycznymi, siłami napędowymi, pasywnym i aktywnym oporem oraz wskaźnikami długości kroku (SL) i częstotliwości kroku (SR) pływackiego (Seifert i wsp., 2004). Część badań wskazuje, że koordynacja pracy ramion również wpływa na efektywność pływania kraulem na piersiach (Chollet i wsp., 2000; Lerda i wsp., 2001; Millet i wsp., 2002).

Najwyższą prędkość poruszania się w wodzie, człowiek osiąga pływając kraulem na piersiach na krótkim dystansie. Duża prędkość zależy od zdolności generowania największej siły napędowej, w celu pokonania oporu wody (Deschodt i wsp., 1999). Niektórzy autorzy prac poświęconych biomechanicznemu aspektom pływania sugerują, że opór może zostać zmniejszony poprzez poprawę techniki pływania (Chatard i wsp., 1990; Maglischo i wsp., 1988; Schleihaufer i wsp., 1986; Toussaint i wsp., 1988), głównie poprzez poprawę pozycji podczas poślizgu oraz ruchów napędowych ramion i nóg.

Efektywność napędu pływaka od dziesięcioleci była przedmiotem znacznego zainteresowania badaczy (Brown i Counsilman, 1971; Maglischo i wsp., 1988; Schleihaufer i wsp., 1983). Miyashita (1975) zasugerował, że siła napędowa, która napędza ciało pływaka do przodu, jest tworzona przez ramiona, gdy odpychają wodę w tył. Inne badania wykazały, że siła napędowa równoważąca przeciwnie skierowaną siłę oporu, przy maksymalnej prędkości zależy od siły nośnej generowanej przez dłoń, przedramię i ramię (Schleihaufer, 1979; Schleihaufer i wsp., 1983, Schleihaufer i wsp., 1988). Miyashita i Kanehisa (1979) odnotowali istotną korelację ( $r = 0,71$ ) między indywidualnym szczytowym momentem siły izokinetycznej ramion, a wynikiem w pływaniu na 100 m stylem dowolnym. Sharp i wsp. (1982) również znaleźli liniową zależność ( $r = 0,90$ ) między mocą ramion, mierzoną przy pomocy trenera



imitującego ruchy pływackie (*Biokinetic Swim Bench*), a czasem pokonania 25 yd (22,9 m) stylem dowolnym.

Wyczynowi pływacy efektywnie wykorzystują zależny od położenia układ sił hydrodynamicznych, aby zmaksymalizować dystans pokonywany podczas wykonania jednego cyklu ruchowego ramion (SL) oraz szybkość, z jaką powtarzany jest cykl ruchowy (SR) (Yanai, 2003). Wyniki badań wielu autorów prowadzonych nad SL i SR wskazują, że krótkoterminowa poprawa prędkości pływania wynika ze zwiększenia SR, natomiast poprawa wydajności ruchów (długoterminowe zwiększenie prędkości pływania) odbywa się poprzez wydłużenie SL (Arellano i wsp., 1994; Costill i wsp., 1991; Craig i Pendergast, 1979; Craig i wsp., 1985; East, 1970; Hay i wsp., 1983; Kennedy i wsp., 1990; Pai i wsp., 1984; Wakayoshi i wsp., 1993). Wynika z tego, że pływacy uczą się utrzymywania wysokich prędkości przy zmniejszaniu częstotliwości ruchów.

Intuicyjnie SR wydaje się być określona przez wewnętrzną siłę pływka, polegającą na ruchu ramion z określoną częstotliwością. Hay i wsp. (1993) wymienili trzy czynniki, jako główne determinanty częstotliwości kroku: moment bezwładności ramienia wokół barku, zakres ruchu, w którym porusza się ramię oraz moment obrotowy przyłożony do ramienia przez bark. W przypadku kraula na piersiach modyfikacje tych trzech czynników mogą nie gwarantować zwiększenia częstotliwości kroku, ponieważ ruchy ramion są ściśle powiązane z rotacją tułowia wokół osi podłużnej ciała. Zwiększeniu częstotliwości kroku musi zatem towarzyszyć zwiększenie częstotliwości cyklu rotacji ciała (Yanai, 2001).

#### 2.4. Rozgrzewka pływacka

Fizjologiczne korzyści związane z rozgrzewką przed zawodami są dobrze znane (Chmura, 2014; Fradkin i wsp., 2010). Podstawowe strategie rozgrzewki obejmują aktywne lub pasywne techniki mające na celu podniesienie temperatury mięśni lub temperatury wewnętrznej, wywołanie zmian metabolicznych, sercowo-naczyniowych lub nerwowych (Bishop, 2003b). W pływaniu, rozgrzewka przedstartowa jest zwykle kombinacją rozgrzewki wykonywanej w wodzie i na lądzie. Najpopularniejszą formą rozgrzewki na lądzie, akceptowaną i doradzaną przez trenerów na poziomie międzynarodowym, są wymachy kończyn górnych i dolnych (McGowan i wsp., 2016). Podstawowym elementem rozgrzewki przedstartowej jest jednak rozgrzewka w wodzie, ponieważ uważa się, że zwiększa gotowość pływaków do wyścigu, jak również stwarza możliwość zapoznania się z blokami startowymi i ścianami nawrotowymi.

Efekt rozgrzewki w wodzie może być zależny od kilku czynników: objętości, intensywności, czasu fazy przejściowej oraz rodzaju konkurencji w jakiej startuje pływak (Neiva i wsp., 2014).

Badania Houmard i wsp. (1991) oraz Balilionis i wsp. (2012) wykazały pozytywny efekt rozgrzewki w wodzie o objętości od ok. 1000 m do ok. 1500 m, w porównaniu z mniejszą objętością (poniżej 200 m). Większa objętość pozwala pływakom na utrzymanie dłuższego kroku pływackiego podczas finiszowych metrów wyścigu na 400 yd (365,8 m), przy podobnych wartościach mleczanu we krwi oraz tętna (Houmard i wsp., 1991). Wyższa efektywność została również potwierdzona w konkurencji sprinterskiej na 50 yd (45,7 m), po wykonaniu rozgrzewki ok. 1300 m w porównaniu z ok. 100 m (Balilionis i wsp., 2012). Możliwe, że mniejsza objętość nie była wystarczająca do spowodowania zmian metabolicznych podczas próby wysiłkowej. Doniesienia Arnett (2002) nie wykazały istotnych różnic w czasie pokonania 100 yd (91,4 m) stylem dowolnym, po wykonaniu rozgrzewki o objętości ok. 2000 m oraz ok. 4000 m, z podobną intensywnością. Pływacy mogą zużywać zbyt dużo energii podczas rozgrzewki o dużej objętości lub mogą nie mieć wystarczająco dużo czasu po rozgrzewce, aby uzupełnić zapasy fosfokreatyny i ATP, zmniejszając podaż energii i negatywnie wpływając na ich wydajność. Zawodnicy często wykonują dłuższe rozgrzewki, nawet przed krótkimi konkurencjami, aby uzyskać lepsze czucie wody i lepiej przygotować się do konkurencji, jednak może się to przyczynić do wcześniejszego zmęczenia mięśni, szczególnie w przypadku konkurencji o dużej intensywności (Hawley i wsp., 1989).

Rozgrzewka w wodzie powinna trwać 15–25 minut, podczas której mogą być wykonywane krótkie, intensywne i specyficzne zadania. Zaobserwowano pozytywne efekty po przepłynięciu krótkich odcinków progresywnych, do prędkości startowej (Bishop, 2003a; Bishop 2003b). Należy jednak zachować ostrożność, ponieważ pływanie podczas rozgrzewki z dużą intensywnością może być przeceniane i może nie być istotne dla optymalizacji efektywności pracy. Niektóre badania przedstawiają standardowe rozgrzewki wyłącznie z ćwiczeniami kończyn dolnych lub kończyn górnych, dzięki którym można uzyskać lepszą aktywację każdej części ciała. Wyścig pływacki odbywa się przy zaangażowaniu aparatu ruchowego całego ciała, dlatego taka rozgrzewka może nie być najlepszym sposobem na zwiększenie gotowości pływaka. Stosowanie podczas rozgrzewki ćwiczeń technicznych może zwiększyć efektywność pływania na pierwszych metrach wyścigu, ze względu na zwiększenie długości kroku pływackiego (Neiva i wsp., 2014).

Wpływ rozgrzewki na późniejszą efektywność pływania jest również zależny od fazy przejściowej, czyli czasu wypoczynku między rozgrzewką a wyścigiem. Doniesienia, badające

istnienie „optymalnego okna”, które umożliwia zwiększenie wydajności, wykazały, że czasy fazy przejściowej 10 i 20 min powodują szybsze czasy pływania, niż okres 45 min, dla wyścigu na 200 m (West i wsp., 2013; Zochowski i wsp., 2007). Czas 10 min, między rozgrzewką a startem, jest praktycznie niemożliwy do osiągnięcia podczas prawdziwych zawodów. Zawodnik po wykonaniu rozgrzewki w wodzie musi się wysuszyć, przebrać w kostium startowy oraz dres, a także stawić się odpowiednio wcześniej w pomieszczeniu zbiórki przedstartowej (ang. *call room*). Mogą również wystąpić sytuacje niezależne od zawodnika tj. opóźnienie w harmonogramie zawodów, awaria sprzętu itp., które mogą dodatkowo wydłużyć czas oczekiwania na start (Zochowski i wsp., 2007).

Korzystny wpływ rozgrzewki w wodzie najprawdopodobniej będzie krótkotrwały (Rushall, 2014), dlatego podczas fazy przejściowej trenerzy zalecają wykonanie dodatkowego programu ćwiczeń na lądzie. Najczęściej procedura ta obejmuje ćwiczenia rozciągające, które można łatwo wykonać w fazie przejściowej, jednak coraz częściej za istotne podczas konkurencji sprinterskich są ćwiczenia siłowe lub siłowo-szybkościowe, mogące wywołać zjawisko wzmocnienia po-aktywacyjnego, czyli krótkotrwałego zwiększenia wydajności aparatu kostno-stawowo-mięśniowego po wykonaniu ćwiczeń o wysokiej intensywności (Sarramian i wsp., 2015).

## 2.5. Wykorzystanie efektu PAP w pływaniu sportowym.

Wzmocnienie po-aktywacyjne jest zazwyczaj związane z wysiłkami beztlenowymi, podczas których wyzwalana jest maksymalna moc (np. skoki, rzuty, sprinty). W pływaniu sportowym, a szczególnie w tych konkurencjach, które charakteryzują się krótkim czasem trwania (dystanse 50 m i 100 m), kluczowymi elementami wyścigu są skok startowy oraz efektywna praca kończyn górnych i dolnych. Moc generowana podczas fazy pociągnięcia w kraulu na piersiach jest ważnym czynnikiem wpływającym na prędkość pływania u zawodników wysokiej klasy (Sharp i wsp., 1982), co sprawia, że podczas dystansów sprinterskich tą techniką możliwe jest odniesienie korzyści z PAP. Większość badań odnoszących się do pływania, PAP, a także treningu oporowego sprowadza się do badań nad korzyściami płynącymi z dłuższego treningu (Jensen, 1963; Pichon i wsp., 1995; Sharp i wsp., 1982; Tanaka i wsp., 1993; Thompson i Stull, 1959), ale niewiele badań poświęconych jest PAP, w celu odniesienia natychmiastowych korzyści.

Kilduff i wsp. (2011) wykorzystali protokół przysiadu, aby zaobserwować efekt PAP na wykonanie startu u pływaków specjalizujących się w sprincie. W badaniu uczestniczyło dziewięcioro pływaków-sprinterów (7 mężczyzn, 2 kobiety) na poziomie międzynarodowym.

W celu określenia optymalnego czasu wypoczynku przeprowadzono ocenę skoku pionowego z wymachem ramion (CMJ), który został wykonany po serii trzech przysiadów z obciążeniem stanowiącym 87% jednego maksymalnego powtórzenia (1RM). Wszyscy badani zawodnicy wykazywali największy poziom pobudzenia, mierzony wysokością CMJ po 8 minutach, co autorzy badań w dalszej kolejności wykorzystali podczas wykonywania prób pływackich.

Pływacy wykonywali dwie próby startu, a przy użyciu sprzętu wideo dokonano pomiaru pierwszych 15 m wyścigu. Podczas badania eksperymentalnego pływacy wykonywali serię tych samych 3 przysiadów na poziomie 87% RM, zadaniem których było wywołanie efektu PAP. Dodatkowo dokonano pomiarów piku siły pionowej (ang. *peak vertical force*; PVF) oraz piku siły poziomej (ang. *peak horizontal force*; PHF), stosując analizę wideo. Wyniki nie wykazały istotnej różnicy w czasie startu (15 m) między dwiema próbami, jednak nastąpił znaczny wzrost PVF i PHF podczas próby po PAP w porównaniu do zwykłej rozgrzewki. Autorzy podkreślają potrzebę określenia indywidualnego optymalnego czasu wypoczynku, wymaganego do osiągnięcia maksymalnego wzmocnienia po ćwiczeniach stymulujących. Kilduff i wsp. (2011) sugerują, że włączenie PAP do rozgrzewki może prowadzić do poprawienia czasu pierwszych 15 metrów wyścigu oraz może być przydatnym narzędziem szkoleniowym, podczas opracowywania zadań treningowych mających na celu poprawienie czasu pokonania początkowych metrów dystansu pływackiego.

Do podobnych wniosków doszli w swoich badaniach Sarramian i wsp. (2015), którzy sprawdzali jak różne rodzaje rozgrzewki wpływają na czas pokonania odcinka 50 m stylem dowolnym. Autorzy porównywali cztery rodzaje rozgrzewek: tradycyjną rozgrzewkę pływacką (RSWU), protokół PAP dla górnej części ciała (UBPAP), protokół PAP dla dolnej części ciała (LBPAP) oraz łączony protokół aktywujący mięśnie górnej i dolnej części tułowia (CPAP). W badaniu wzięło udział 18 pływaków (10 mężczyzn, 8 kobiet) i obejmowało 7 oddzielnych sesji testowych. Sesja pierwsza obejmowała wyznaczenie obciążenia maksymalnego podczas trzech podciągnięć na drążku (3RM PU). W sesji drugiej zawodnicy wykonywali test rzutu piłką lekarską w 4, 8, 12 min po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego UBAP (1 x 3RM PU), w celu wyznaczenia optymalnej przerwy wypoczynkowej dla wzmocnienia mięśni górnej części ciała. Sesja trzecia obejmowała test skoku dosiężnego, który wykonywany był w 4, 8 i 12 min po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego LBPAP (1 x 5 naskoków na skrzynię z obciążeniem 10% masy ciała). Podczas kolejnych sesji (4–7) wykonywano pomiary czasu pływania 50 m stylem dowolnym, poprzedzone odpowiednim protokołem aktywacyjnym oraz odpowiadających im przerw wypoczynkowych. Autorzy wykazali istotne różnice w czasie pokonania dystansu 50 m stylem dowolnym, jedynie w grupie mężczyzn. Zawodnicy pływali

istotnie szybciej podczas tradycyjnej rozgrzewki (RSWU), niż po wykonaniu protokołu UB PAP. Podobnie, istotnie krótsze czasy zawodnicy osiągnęli po aktywacji CPAP, niż po UB PAP. Sarramian i wsp. (2015) sugerują, że zindywidualizowana rozgrzewka wykorzystująca PAP może być cennym narzędziem przyczyniającym się do zwiększenia efektywności w konkurencjach sprinterskich, szczególnie u mężczyzn, jednakże podciągnięcia na drążku mogą nie być odpowiednim bodźcem dla uzyskania efektu PAP.

Juarez Santos-Garcia i wsp. (2013) badali wpływ dwóch ćwiczeń oporowych na pokonanie dystansu 25 m stylem dowolnym. Pierwszym było pływanie z oporem na dystansie 12 m, przy zastosowaniu urządzenia Power Rack z obciążeniem rzędu 30% obciążenia maksymalnego. Drugim było symulowanie ruchów podwodnych ramion na gumach oporowych przez 10 s. Po każdej stymulacji przerwa wypoczynkowa wynosiła 30 s, a następnie zawodnicy wykonywali test na dystansie 25 m kraulem na piersiach. Badanie było wykonywane 4 razy z przerwą wypoczynkową wynoszącą 2 min. Badanie wykazało, że zastosowane ćwiczenia oporowe pełniące rolę aktywujących aparat mięśniowy nie miały istotnego wpływu na czas pokonania odcinka 25 m. Brak w literaturze naukowej jednoznacznych wyników badań na temat efektu wzmocnienia po-aktywacyjnego, zwłaszcza w zakresie treningu pływackiego, świadczy o potrzebie ich kontynuowania.

Dotychczas zostało przeprowadzonych kilka badań oceniających wpływ zastosowania różnego typu rozgrzewki na efektywność skoku startowego w pływaniu. W badaniach tych rozgrzewka nie zawierała elementów specyficznej aktywacji kończyn dolnych czy też górnych badanych zawodników (Balilionis i wsp., 2012; Breed i Young, 2003; Kilduff i wsp., 2011). Według aktualnej wiedzy, można znaleźć tylko jedno opracowanie, w którym autorzy podjęli próbę pobudzenia kończyn dolnych w asymetrycznym ich ustawieniu, zgodnie z pozycją, jaką przyjmują zawodnicy podczas wykonywania startu z bloku startowego OSB11 (Cuenca-Fernandez i wsp., 2015a). Dlatego też zachodzi pilna potrzeba identyfikacji wpływu ćwiczeń na asymetrycznie ustawione kończyny dolne, jak i pobudzenia kończyn górnych poprzez ćwiczenia zgodne ze strukturą ruchu pociągnięcia w pracy ramion kraulisty, które mogą okazać się znacznie silniejszymi bodźcami, a zarazem bardziej specyficznymi.

### 3. Cel pracy, pytania i hipotezy badawcze

Celem pracy jest ocena wpływu wzmocnienia po-aktywacyjnego mięśni kończyn górnych i dolnych na efektywność wykonania skoku startowego oraz zmienność kinematycznych parametrów techniki pływania wśród zawodników wysokiej klasy.

Osiągnięcie celu pracy związane jest ze sformułowaniem, a w dalszej kolejności poszukiwaniem odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

- 1) Jak wzmocnienie po-aktywacyjne mięśni kończyn górnych i dolnych wpływa na efektywność skoku startowego?
- 2) Jak wzmocnienie po-aktywacyjne mięśni kończyn górnych i dolnych wpływa na wynik sportowy w pływaniu na dystansie 50 m stylem dowolnym?
- 3) Czy i w jakim zakresie wzmocnienie po-aktywacyjne mięśni kończyn górnych i dolnych wpływa na kinematyczne parametry techniki pływania kraulem na piersiach?

Sformułowano także następujące hipotezy badawcze:

- 1) Efekt uzyskany w wyniku po-aktywacyjnego wzmocnienia mięśni zależy jest od specyficznej stymulacji mięśnia lub grupy mięśniowej odpowiedzialnej za wykonanie danego aktu ruchowego.
- 2) W wyniku po-aktywacyjnego wzmocnienia mięśni kończyn górnych i dolnych, możliwe jest krótkoterminowe zwiększenie prędkości pływania stylem dowolnym.
- 3) Wzmocnienie po-aktywacyjne mięśni kończyn górnych i dolnych istotnie wpływa na zwiększenie częstotliwości ruchów napędowych podczas pływania kraulem na piersiach.

#### 4. Materiał, metody i narzędzia badawcze

W badaniach uczestniczyło 16 pływaków (mężczyzn) sekcji sportowej AZS AWF Katowice, dla których obliczone wartości średnie ( $\pm$  odchylenie standardowe) wieku wynoszą  $20,2 \pm 1,3$  lat, masy ciała  $83,6 \pm 9,2$  kg, wysokości ciała  $185,8 \pm 6,9$  cm oraz zawartości tkanki tłuszczowej  $8,5 \pm 2,8\%$  (Tabela 1). Każdy z pływaków legitymował się co najmniej II klasą sportową (klasyfikacja wg punktacji FINA = 732 pkt.).

Tabela 1. Charakterystyka badanej grupy pływaków (n = 16)

Zmienne	m $\pm$ s	min-max	As	Ku
Wiek (lata)	20,2 $\pm$ 1,3	19,0-23,0	0,70	-0,35
Masa ciała (kg)	83,6 $\pm$ 9,2	68,5-98,0	0,13	-0,99
Wys. Ciała (cm)	185,8 $\pm$ 6,9	177,2-199,6	0,78	-0,40
BF (%)	8,5 $\pm$ 2,8	4,5-13,8	0,58	-0,60
LBM	76,9 $\pm$ 8,2	63,5-90,6	0,20	-1,12

Wszyscy badani zostali poinformowani o celu i przebiegu badań. Uczestników eksperymentu poinformowano również o możliwości rezygnacji z udziału w badaniach bez podania przyczyn. Wszyscy uczestnicy wyrazili pisemną zgodę na udział w badaniach. Na przeprowadzenie badań Uczelniana Komisja Bioetyczna przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach w dniu 19 kwietnia 2018 roku wyraziła zgodę potwierdzoną Uchwałą Nr 8/2018

##### 4.1. Eksperymentalne podejście do rozwiązania problemu badawczego

W związku z interwencyjnym charakterem badań zostały przeprowadzone trzy niezależne eksperymenty. Każdorazowo stosując zasadę randomizacji, pływacy dzieleni byli na dwie grupy: eksperymentalną i kontrolną. Zawodnicy z grupy eksperymentalnej, oprócz standardowej rozgrzewki na lądzie i w wodzie, wykonywali także ćwiczenia ruchowe mające na celu aktywację wybranych grup mięśniowych, uwzględniając: 1) kończyny górne, 2) kończyny dolne, 3) zarówno kończyny górne jak i dolne. W celu wyeliminowania efektu dnia

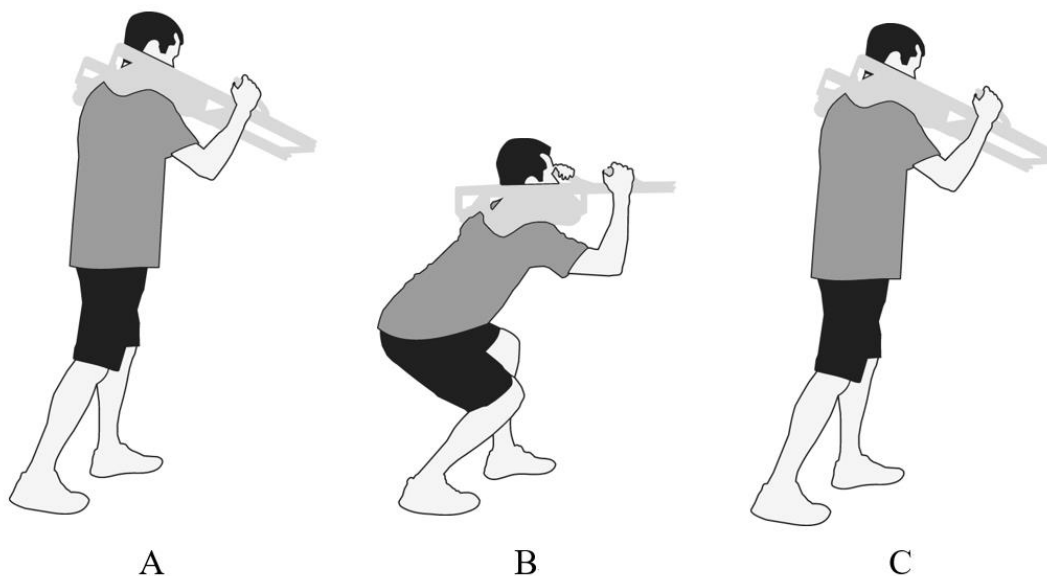
(ang. *circadian variation*) (Atkinson i Reilly 1996) oraz efektu uczenia się (ang. *ordering effect*) zastosowano technikę podziału krzyżowego. Dla każdego z eksperymentów, w ciągu jednego dnia i w odstępie jednej godziny, przeprowadzono dwie identyczne serie pomiarowe, podczas których zawodnicy z grupy eksperymentalnej w pierwszej serii, w drugiej stanowili grupę kontrolną. Analogicznie, zawodnicy z grupy kontrolnej w pierwszej serii, w drugiej stanowili grupę eksperymentalną. Czas pomiędzy seriami badawczymi zawodnicy wykorzystywali na bierny odpoczynek, w trakcie którego niedozwolone było spożywanie jakichkolwiek pokarmów i odżywek, z wyjątkiem wody pitnej.

W celu określenia rzetelności pomiaru dla testowanej zmiennej niezależnej (wynik w pływaniu kraulem na piersiach na dystansie 50 m), na tydzień przed rozpoczęciem eksperymentu przeprowadzono dwa wyścigi pływackie w odstępie 60 minut w warunkach, jakie obowiązywały podczas badań. Obliczony współczynnik korelacji wewnątrzklasowej potwierdził rzetelność pomiaru na poziomie  $ICC = 0,963$ .

#### 4.2. Procedura PAP i eksperyment w wodzie

Przed przystąpieniem do eksperymentu, każdy z badanych odbył czterotygodniowy trening siłowy z ciężarami wolnymi (hantle, sztangi) oraz na trenażerach do ćwiczeń siłowych z oporem hydraulicznym firmy Keiser (Keiser Corporation, Fresno, CA, USA). Następnie, podczas dwóch sesji badawczych, odbywających się w odstępie 48 godzin, w Laboratorium Siły i Mocy Mięśniowej AWF Katowice określono 1 maksymalne obciążenie (ang. *one repetition maximum*) (1RM) dla protokołu PAP na kończyny dolne oraz na kończyny górne, stosując się do zasad opracowanych przez National Strength and Conditioning Association (Harman, 2008). Dla określenia 1RM na kończyny dolne wykorzystano trenażer Keiser Squat, na którym każdy z badanych wykonywał przysiad z nogami ustawionymi w wykroku (Rycina 1). Ustawienie stóp podczas próby było indywidualne dla każdego z badanych zawodników i odzwierciedlało ustawienie stóp na platformie startowej. Ramiona trenażera były każdorazowo regulowane do wysokości, w której badani w pozycji przysiadu (pozycja B) osiągnęli kąt zgięcia w stawie kolanowym nogi zakroczonej wynoszący  $90^\circ$ . Kąt między udem a podudziem mierzony był przy użyciu goniometru.





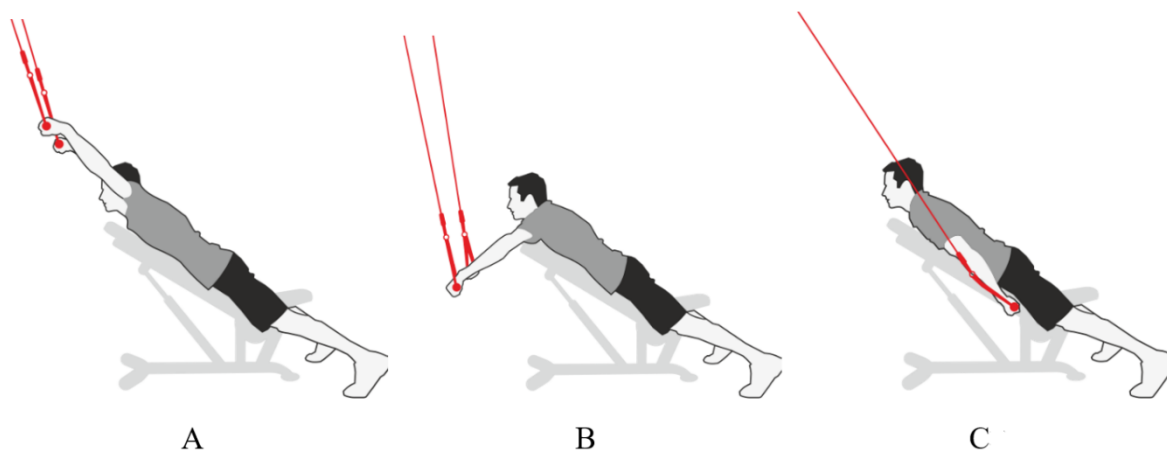
Rycina 1. Przysiad z użyciem trenażera Keiser Squat (Keiser Corporation, Fresno, CA, USA).

(A) pozycja początkowa; (B) pozycja przysiadu z nogami ustawionymi w wykroku; (C) powrót do pozycji początkowej

Z kolei dla określenia 1RM dla kończyn górnych wykorzystano trenażer Keiser Functional Trainer, na którym badani przyciągali linki wyciągu w leżeniu przodem na ławeczce, której oparcie ustawione było pod kątem  $45^{\circ}$  do podłoża (Rycina 2). Oba trenażery zapewniały wykonanie ćwiczeń wraz z jednoczesną rejestracją wartości mocy wyrażonej w watach (W). Protokół określenia 1 RM zakładał wykonanie indywidualnej rozgrzewki, po której badani realizowali serię powtórzeń z indywidualnie dobranym obciążeniem, tak aby ich liczba obejmowała zakres od 3 do 8 powtórzeń maksymalnych. Następnie wyliczono wielkość 1RM na podstawie wzoru:

$$1RM = W \times (1 + 0,033 \times \text{liczba wykonanych powtórzeń}),$$

gdzie W – obciążenie podczas wykonywania próby.

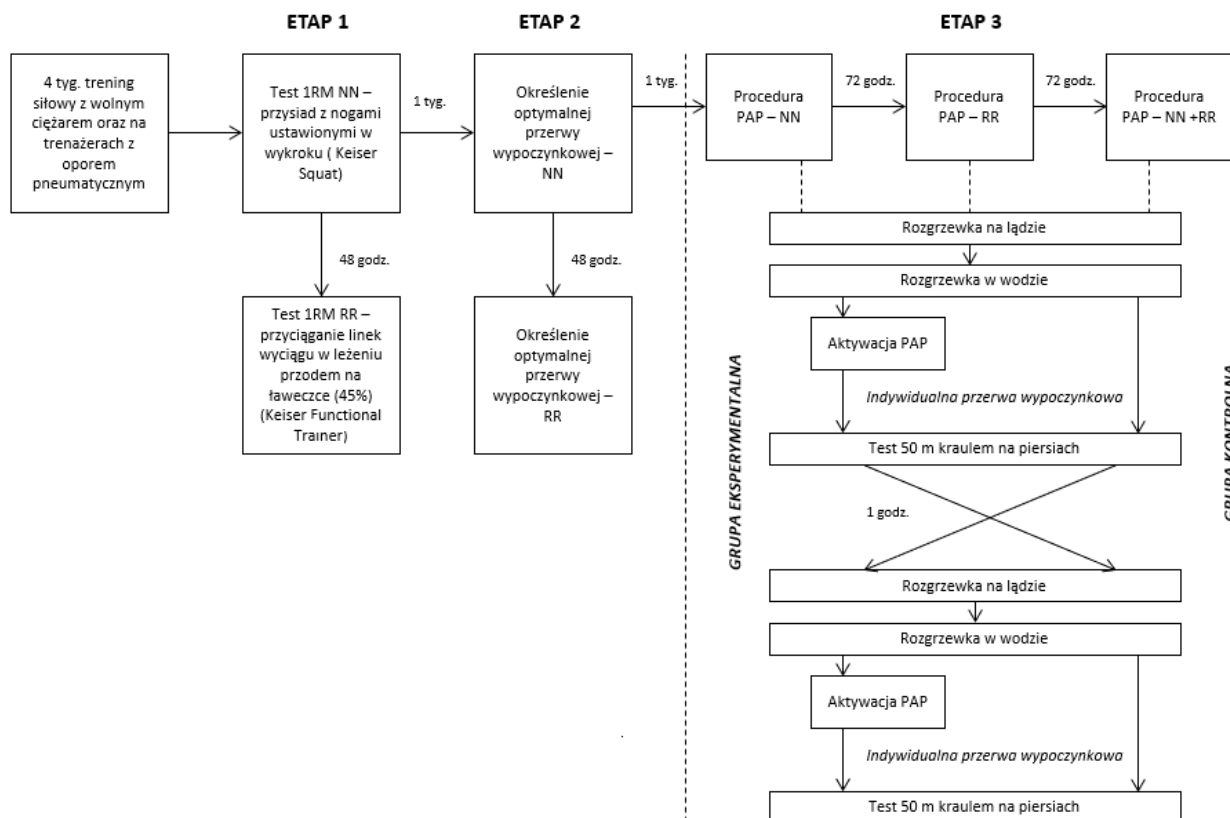


Rycina 2. Przyciąganie linek wyciągu w leżeniu przodem na ławce skośnej z wykorzystaniem trenera Keiser Functional Trainer (Keiser Corporation, Fresno, CA, USA).

(A) Pozycja początkowa; (B) Pozycja pociągnięcia; (C) pozycja końcowa.

Siedem dni później, podczas dwóch sesji badawczych, odbywających się w odstępie 48 godzin odbyło się określenie optymalnej przerwy regeneracyjnej (ang. *optimal recovery time*), po której wyzwalana była maksymalna moc. W tym celu badani wykonywali w odstępach jednoczynowych 3 serie składające się z 6 powtórzeń z obciążeniem stanowiącym 70% 1RM (dla kończyn dolnych był to przysiad na trenerze Keiser Squat, dla kończyn górnych było to przyciąganie linek wyciągu na trenerze Keiser Functional Trainer. Następnie, w 2, 4, 6, 8, 10 i 12 minucie od zakończenia ostatniego powtórzenia w trzeciej serii, badani wykonywali 1 powtórzenie (70% 1RM), tak szybko jak to możliwe z zachowaniem prawidłowej techniki ruchu. Czas, w którym zarejestrowano najwyższą moc stanowił optymalną przerwę regeneracyjną.

Kolejnym etapem badań (sesje badawcze 5-7 odbywające się w odstępie 72 godzin) było określenie wpływu aplikowanego obciążenia kończyn dolnych i górnych z wykorzystaniem optymalnej przerwy regeneracyjnej na czas pokonania dystansu 50 m kraulem na piersiach oraz parametrów kinematycznych techniki pływania i skoku startowego. Badania realizowane były w Laboratorium Siły i Mocy Mięśniowej AWF Katowice oraz na 25 metrowej pływalni krytej AWF Katowice. Szczegółowy schemat blokowy badań został przedstawiony na rycinie 3.



Rycina 3. Schemat blokowy eksperymentu PAP

Zgodnie z założeniami planu eksperymentalnego wszyscy uczestnicy badań wykonywali standardową rozgrzewkę na lądzie oraz w wodzie. Po rozgrzewce osoby z grupy eksperymentalnej udawały się do laboratorium siły i mocy, gdzie stymulowani byli ustalonym w poprzednich sesjach badawczych obciążeniem na odpowiednim trenażerze. Po wykonaniu ćwiczeń stymulujących prowadzący badania uruchamiał stoper, odmierzający czas dla ustalonej wcześniej optymalnej przerwy regeneracyjnej, z którym badany udawał się na pływalnię. Dokładnie po upływie czasu optymalnej przerwy regeneracyjnej badany wykonywał start ze słupka startowego i pokonywał dystans 50 m kraulem na piersiach.

Badani z grupy kontrolnej wykonywali start ze słupka startowego dokładnie w 8 minucie od zakończenia rozgrzewki w wodzie. Po godzinnej przerwie wypoczynkowej, badani ponownie rozpoczynali rozgrzewkę na lądzie i w wodzie, przy czym zgodnie z założeniami protokołu eksperymentalnego oraz przyjętą techniką podziału krzyżowego nastąpiła zmiana grup. Zachowując dokładnie tę samą procedurę pomiarów badani, którzy wcześniej poddawani byli stymulacji obciążeniem w laboratorium siły i mocy, tym razem wykonywali start ze słupka startowego w 8 minucie od zakończenia rozgrzewki w wodzie. Z kolei badani ułokowani

wcześniej w grupie kontrolnej start ze słupka startowego poprzedzali stymulacją obciążeniem w laboratorium siły i mocy.

Jak już wcześniej wspomniano, przeprowadzono trzy niezależne eksperymenty, w których zmienną niezależną były aktywowane obciążeniem partie mięśniowe kończyn dolnych i górnych. W pierwszym eksperymencie protokół PAP dotyczył tylko kończyn dolnych, w drugim tylko kończyn górnych, natomiast w trzecim zarówno kończyn dolnych jak i górnych. We wszystkich sesjach badawczych, uczestnicy badań wykonywali ćwiczenia z maksymalnym zaangażowaniem. W każdej próbie badani byli werbalnie motywowani przez badaczy i trenerów.

#### 4.3. Metody i narzędzia pomiarowe

Przed przystąpieniem do określenia 1RM zostały przeprowadzone pomiary antropometryczne, których celem było ustalenie: wysokości i masy ciała, wymiarów długościowych oraz objętościowych kończyn górnych, dolnych i tułowia, a także wielkości fałdów skórno-tłuszczowych. Wszystkie pomiary dokonywane były przez doświadczonego w pomiarach antropometrycznych eksperta i przy pomocy zestawu przyrządów powszechnie stosowanych w antropometrii, zgodnie z międzynarodowymi standardami oraz definicją cech i techniki pomiarowej Rudolpha Martina (antropometr, cyrkiel kabłąkowy, cyrkiel liniowy, taśma antropometryczna, fałdomierz, waga) (Drozdowski 1998). Do wyliczenia takich wskaźników budowy ciała jak zawartość tłuszczu, gęstości, tkanki aktywnej oraz BMI posłużono się metodą pośrednią analizy składu ciała (antropometryczną), gdzie estymacji dokonano przy pomocy równań regresji opracowanych przez Gołębia i Chrzanowską (2010).

Oceny ilości tkanki tłuszczowej dokonano na podstawie:

a) równania Withers, Craig, Bourdon, Norton (1987) dla przewidywania gęstości ciała (BD) i równanie Siri (1961) dla obliczenia procentowej zawartości tłuszczu (BF):

$$\mathbf{BD} \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1,078865 - 0,000419 \times (\sum 4 \text{ fałdów skórno-tłuszczowych: na brzuchu, podudzia, uda i piersiowy w mm}) + 0,000948 \times (\text{obwód szyi w cm}) - 0,000266 \times (\text{wiek w latach}) - 0,000564 \times (\text{obwód stawu skokowego w cm})$$

$$\mathbf{BF} \text{ (\%)} = ((4,95/\mathbf{BD}) - 4,5) \times 100$$

b) równania Yuhasz'a dla przewidywania procentowej zawartości tłuszczu (BF):

$$\mathbf{BF} (\%) = (0,1051 \times \sum \text{faldów skórno-tuszczowych: nad mięśniem trójgłowym ramienia, pod łopatką, nadgrzebieniowy, na brzuchu, uda i podudzia}) + 2,585$$

Wyliczenia ilości tkanki aktywnej, masy ciała szczupłego (LBM) w kg dokonano przy pomocy równania Piechaczka dla mężczyzn (Gołąb i Chrzanowska 2010):

$$\mathbf{LBM} = -103,85484 + 0,446921 \times (\text{wysokość ciała w cm}) + 0,13343 \times (\text{obwód bioder w cm}) + 0,458056 \times (\text{obwód klatki piersiowej w cm}) + 0,838393 \times (\text{obwód podudzia w cm})$$

Dokonano wyliczeń wskaźnika wagowo-wzrostowego zawodników (BMI) wg wzoru Queteleta (Eknoyan, 2008):

$$\mathbf{BMI} = \text{masa ciała (kg)} / \text{wysokość ciała}^2 \text{ (m)}$$

Podczas pomiarów na pływalni rejestrowano następujące kinematyczne parametry skoku startowego oraz techniki pływania:

- Dystans fazy lotu (DD – *dive distance*) – dystans od ściany pływalni pod blokami startowymi do miejsca pierwszego kontaktu palców pływaka z powierzchnią wody (m);
- Czas lotu (FT – *flight time*) – czas od momentu oderwania (utruty kontaktu) stóp od platformy startowej do pierwszego kontaktu palców pływaka z powierzchnią wody (s);
- Czas odbicia (BT – *block time*) – czas, jaki upłynął od błysku lampy startowej do momentu utraty kontaktu stóp pływaka z platformą startową (s);
- Czas skoku (JT – *jump time*) – czas jaki upłynął od błysku lampy startowej do pierwszego kontaktu palców pływaka z powierzchnią wody (FT + BT) (s)
- Prędkość pozioma bioder w fazie lotu (HV – *horizontal velocity*) – prędkość pozioma bioder mierzona od momentu oderwania (utruty kontaktu) stóp od platformy startowej do pierwszego kontaktu palców pływaka z powierzchnią wody (m/s):  

$$HV = x/FT$$
, gdzie x – przemieszczenie poziome bioder w fazie lotu (Cuenca-Fernández i wsp., 2015a);
- Czas na 15 m (T15 – *time to 15 m*) – czas, jaki upłynął od momentu błysku lampy startowej do momentu, kiedy najdalej wysunięty punkt głowy osiągnął poprzeczną linię wyznaczającą 15 m od ściany startowej (s);

- Czas na 20 m ( $T_{20}$  – *time to 20 m*) – czas, jaki upłynął od momentu błysku lampy startowej do momentu, kiedy najdalej wysunięty punkt głowy osiągnął poprzeczną linię wyznaczającą 20 m od ściany startowej (s);
- Czas na 35 m ( $T_{35}$  – *time to 35m*) – czas, jaki upłynął od momentu błysku lampy startowej do momentu, kiedy najdalej wysunięty punkt głowy osiągnął poprzeczną linię wyznaczającą 10 m od ściany nawrotowej (35 m próby) (s);
- Czas na 45 m ( $T_{45}$  – *time to 45 m*) – czas jaki upłynął od momentu błysku lampy startowej do momentu, kiedy najdalej wysunięty punkt głowy osiągnął poprzeczną linię wyznaczającą 20 m od ściany nawrotowej (45 m próby) (s);
- Czas na 50 m ( $T_{50}$  – *time to 50 m*) – czas jaki upłynął od sygnału startowego do wyłączenia aparatury pomiarowej na 50 m (s);
- Długość kroku pływackiego ( $SL$  – *stroke length*) – dystans jaki pokonuje pływak podczas wykonania jednego cyklu ruchowego pracy ramion (m);
- Częstotliwość kroku pływackiego ( $SR$  – *stroke rate*) – ilość cykli ruchowych wykonywanych w czasie 1 minuty (cykl/min.);
- Prędkość pływania stylowego ( $V$  – *velocity*) (m/s);
- Czas nawrotu ( $TT$  – *turn time*) – czas przebywania zawodnika w strefie nawrotowej, 5 m przed ścianą oraz 10 m od ściany nawrotowej (Tor i wsp., 2014, Kiendlie i wsp., 2006):  
 $TT = T_{35} - T_{20}$

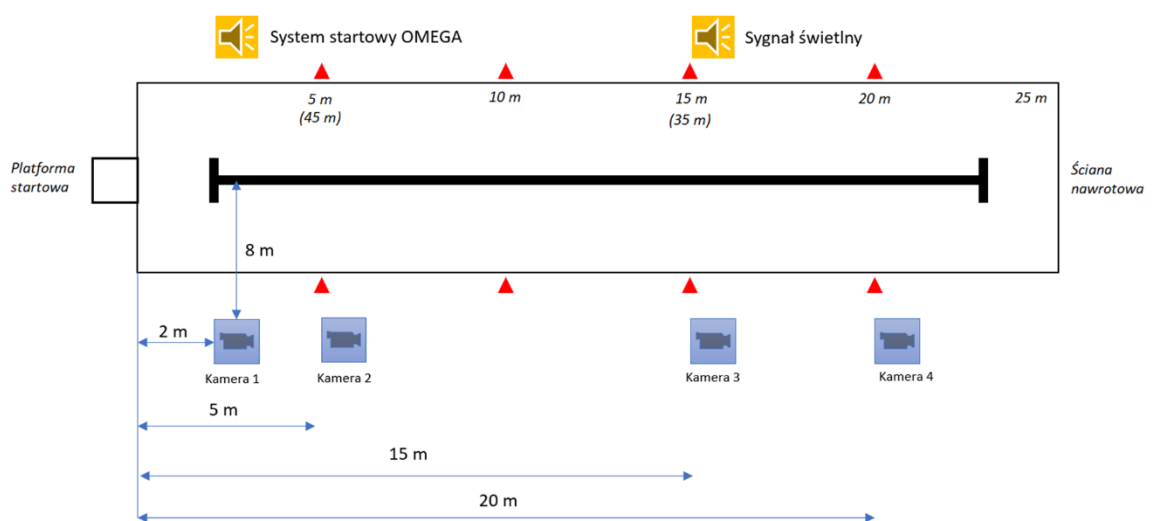
Każdy z pełnych wyścigów pływackich rejestrowany był za pomocą czterech cyfrowych kamer video o wysokiej prędkości nagrywania ( $ft > 50$  Hz) (Rycina 4). Pierwsza kamera (JVC GC-PX100BE, Japonia) ustawiona była na zapis z częstotliwością 150 Hz, usytuowana była na trójnożnym statywie na wysokości 1,5 m nad lustrem wody, tuż przy długiej krawędzi pływalni i oddalona od linii startu dokładnie o 2 m. Kamera ta skierowana była na platformę startową, a uzyskany zapis służył do analizy DD, FT, BT oraz HV. Pozostałe trzy kamery (SONY FDR-X3000R, Japonia) usytuowane były na statywach na wysokości 1,5 m nad lustrem wody, tuż przy długiej krawędzi pływalni w odległości 5, 15 i 20 m od linii startu. Zadaniem tych kamer był zapis momentu przecięcia poprzecznej linii wyznaczającej 15, 20, 35 i 45 m wyścigu przez najdalej wysunięty punkt głowy pływaka. Na ich podstawie wyznaczono także parametry kinematyczne techniki pływania, takie jak SR oraz SL. Pomiar prędkości pływania na pierwszej długości wyścigu ( $V_1$ ) dokonywany był na dystansie 5 m (między 15 a 20 m od startu), w celu uniknięcia wpływu skoku startowego oraz nawrotu na rzeczywistą prędkość pływania. Pomiar prędkości pływania na drugiej długości ( $V_2$ ) wyścigu wykonywany był na dystansie 10 m

(między 35 a 45 m od startu). Pomiar SR dokonywany był w tych samych strefach pływania i obliczony na podstawie czasu wykonania 3 pełnych cykli pływackich (od momentu włożenia ręki do wody podczas rozpoczęcia pierwszego cyklu do momentu włożenia tej samej ręki podczas zakończenia trzeciego cyklu) (Seifert i wsp., 2004). Obliczeń dokonano zgodnie z następującymi wzorami (Bielec, Makar, 2010, Schnitzler i wsp., 2010):

$$SR = 60 \times 3/t_3 \quad \text{gdzie } t_3 \text{ – czas wykonania trzech cykli,}$$

$$V = s/t, \quad \text{gdzie } s \text{ – dystans, } t \text{ – czas pokonania dystansu,}$$

$$SL = V \times 60/SR.$$



Rycina 4. Konfiguracja systemu kamer do analizy wideo.

Każdy wyścig przeprowadzany był zgodnie z procedurą startową opisaną przez FINA. Każda z kamer swoim zasięgiem obejmowała system startowy firmy OMEGA emitujący sygnał akustyczny oraz świetlny, ustawiony po przeciwległej stronie pływalni w odległości 2 m od ściany startowej. Do głównego urządzenia startowego, za pomocą specjalnie przygotowanego przedłużacza podłączono dodatkowy sygnał świetlny, który ustawiony na 15 metrze pływalni emitował równoczesny z głównym urządzeniem błysk. Takie rozwiązanie umożliwiała synchronizację sygnału startowego z materiałem zarejestrowanym na każdej z kamer. Analiza zapisu video była dokonywana przez dwóch niezależnych badaczy przy wykorzystaniu programu Kinovea ver. 0.8.15, który umożliwiał analizę czasowo-ruchową zarejestrowanych wyścigów, przyjmując jako wzorzec referencyjne punkty odniesienia zamontowane na brzegu pływalni. Aby ocenić rzetelność procesu opracowania danych pozyskanych z materiału video (wewnątrz obserwatora i między obserwatorami), 6 prób zostało skwantyfikowanych za

pomocą współczynników korelacji wewnątrzklasowej (ICC), z których 3 były próbami zbieranymi przez badacza, a pozostałe 3 przez badacza z doświadczeniem w odczycie danych za pomocą oprogramowania Kinovea.

#### 4.4. Narzędzia analizy statystycznej

Zebrany materiał badawczy opracowano obliczając podstawowe miary statystyczne, tj. średnie arytmetyczne ( $\bar{X}$ ), odchylenia standardowe (SD), wskaźniki zmienności (V), wskaźniki asymetrii (As) oraz wskaźniki koncentracji (kurtozy) (Ku). Wyliczone statystyki opisowe posłużyły do oceny zgodności analizowanych zmiennych z rozkładem normalnym, której dokonano na podstawie wskaźnika asymetrii oraz kurtozy, przyjmując za Dziembałą (1975), że jeżeli powyższe wskaźniki przyjmują wartości mieszczące się w przedziale od  $-2$  do  $2$  (wskaźnik asymetrii) oraz od  $-3$  do  $3$  (wskaźnik kurtozy) to rozkład jest symetryczny oraz zgodny z rozkładem normalnym. W przypadku, gdy wartości wskaźników asymetrii oraz kurtozy wykroczały poza wyżej wymienione wartości graniczne, normalność rozkładu oceniano dodatkowo za pomocą testu W Shapiro-Wilka.

W celu określenia różnic w badanych parametrach rejestrowanych przed i po wprowadzeniu protokołu aktywacyjnego zastosowano test t-Studenta dla prób zależnych, natomiast w przypadku braku spełnienia założenia o normalności rozkładu – porównań dokonywano w oparciu o test kolejności par Wilcozona. Różnice w wartościach parametrów rejestrowanych bez wprowadzonego protokołu aktywacyjnego oraz po jego wprowadzeniu przedstawiono w postaci uśrednionych wartości bezwzględnych (wyrażonych w jednostkach danego parametru) oraz względnych (wyrażonych w procentach). Ponadto dla określenia wielkości różnicy pomiędzy tymi parametrami obliczono standaryzowaną wielkość efektu (Cohen's d effect size) przy użyciu: średniego odchylenia standardowego wyliczonego z pomiarów parametrów bez aktywacji jak i po wprowadzeniu aktywacji (w mianowniku) i różnicy między tymi parametrami (w liczniku). Wielkości efektów było oceniane jako: efekt trywialny  $<0,2$ ; mały  $\geq 0,2$  &  $<0,6$ ; średni  $\geq 0,6$  &  $<1,2$ ; duży  $\geq 1,2$  &  $<2$ ; oraz bardzo duży  $\geq 2$  według progów określonych przez Hopkinsa i wsp. (2009).

Jednoczynnikowa analiza wariancji z powtarzanym pomiarem (Pomiar [5]  $\times$  Moc [1]) posłużyła do zbadania jak zmienia się moc kończyn dolnych oraz kończyn górnych w zależności od czasu jaki upłynął od wykonania protokołu aktywacyjnego (przed wprowadzeniem protokołu aktywacyjnego, tzw. bazowy oraz w 2, 4, 6 i 8 minucie po



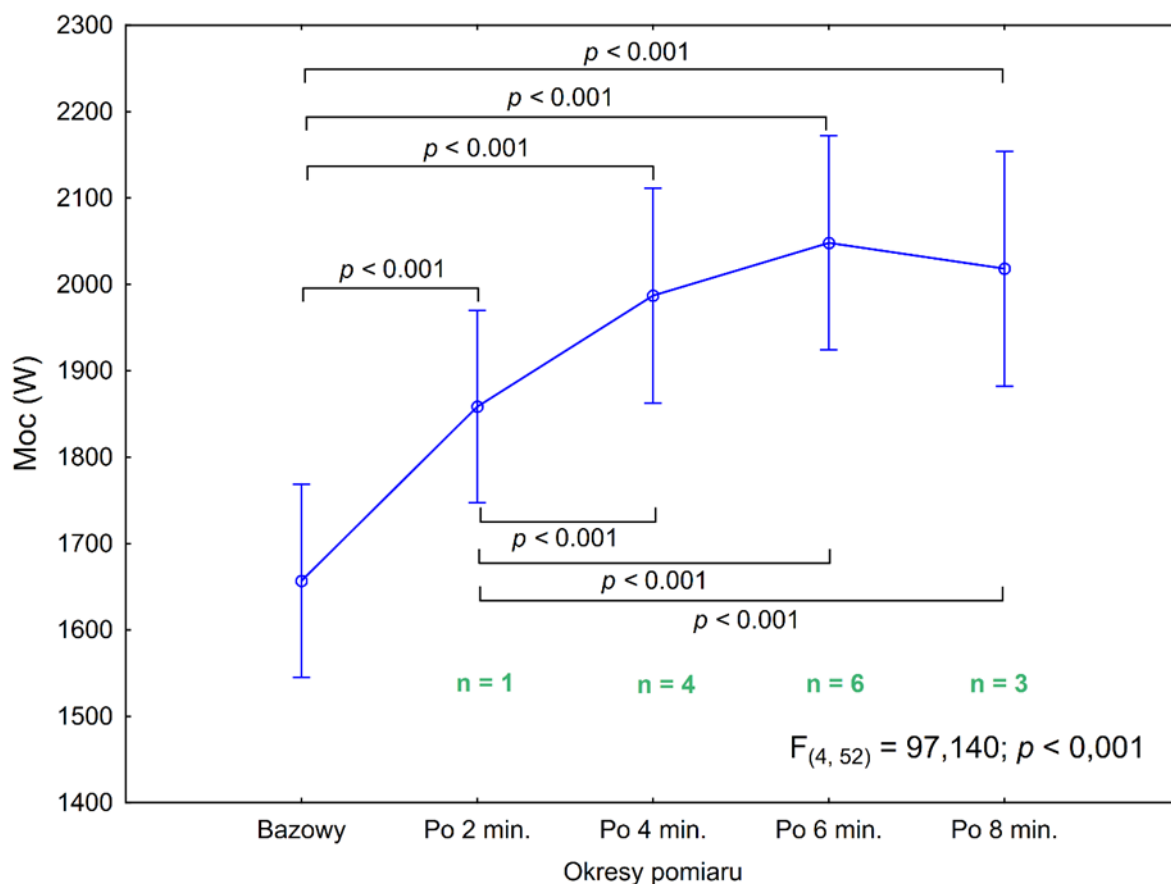
wykonaniu protokołu aktywacyjnego. Kiedy wartość testu F osiągnęła istotność statystyczną na dalszym etapie analizy stosowano testy porównań wielokrotnych HSD Tukeya.

We wszystkich powyżej wymienionych testach, przy podejmowaniu decyzji o odrzuceniu hipotezy zerowej przyjmowano poziom istotności  $\alpha=0,05$ . Wszystkie obliczenia zostały wykonane z pomocą pakietu statystycznego STATISTICA ver. 13 PL firmy TIBCO Software Inc. (2017). Do opracowania graficznego wyników wykorzystano także program Excel z pakietu Microsoft Office ver. 2019 firmy Microsoft®.

## 5. Wyniki

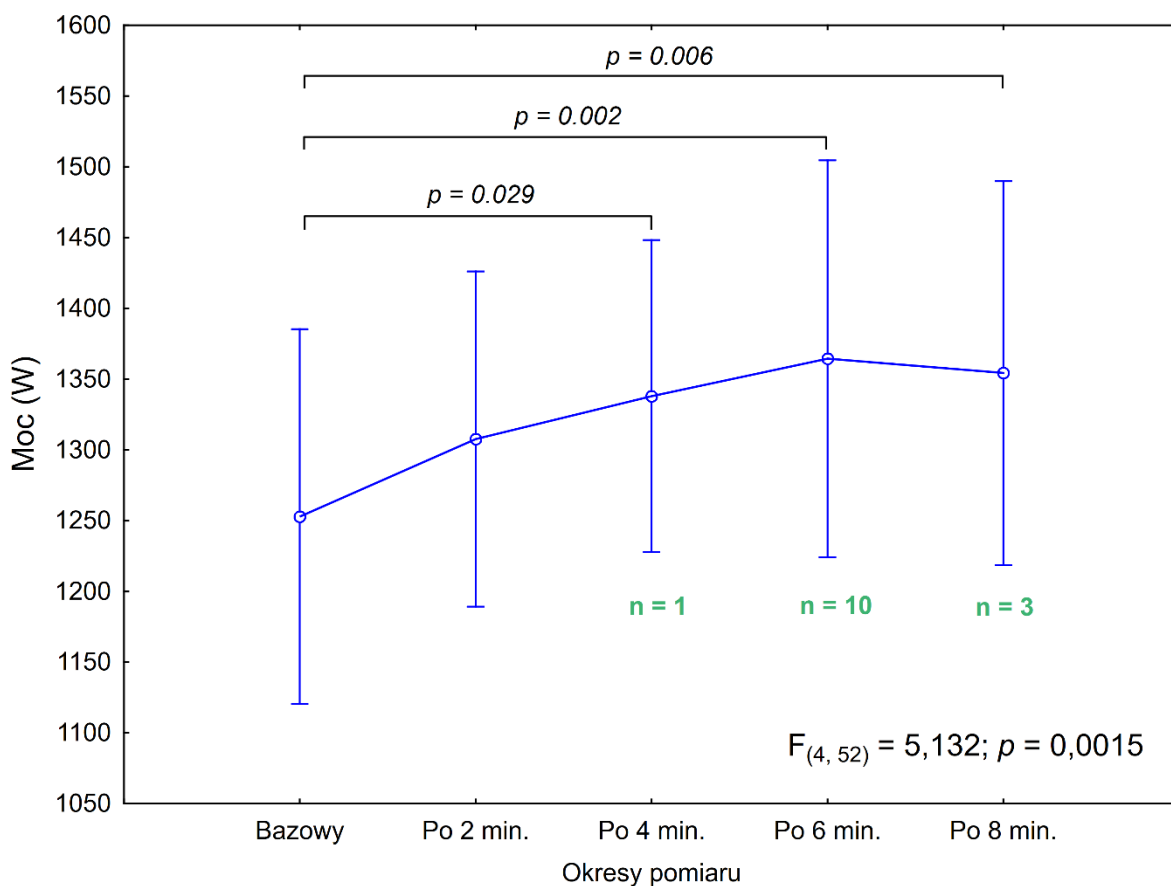
### 5.1. Wyznaczenie optymalnej przerwy wypoczynkowej po pobudzeniu mięśni kończyn dolnych oraz kończyn górnych

Przeprowadzona analiza wariancji z powtarzaniem pomiarem ujawniła istotny efekt czynnika CZAS ( $F_{(4,52)}=97,14$ ,  $p<0,001$ ) dla wartości mocy zarejestrowanej w 2, 4, 6 i 8 min od wykonanego na trenażerze Kaiser protokołu PAP na kończyny dolne (Rycina 5). W kolejnych minutach przerwy wypoczynkowej, moc kończyn dolnych badanych pływaków istotnie zwiększała się, osiągając w 6 minucie szczytową wartość, która w stosunku do osiągniętej mocy wyjściowej różniła się o 23,6% (2048,2 W vs. 1656,9 W;  $p<0,001$ ). Po 8 min przerwy wypoczynkowej moc kończyn dolnych badanych pływaków obniżyła się w stosunku do mocy zarejestrowanej w 6 minucie, jednakże różnica ta nie była istotna statystycznie. Najwięcej, bo aż 6 zawodników szczytową wartość mocy osiągnęło w 6 min przerwy wypoczynkowej, 4 pływaków najwyższą moc osiągnęło w 4 min, 3 pływaków najwyższą moc osiągnęło w 8 min, a 1 osoba najwyższą moc osiągnęła 2 min przerwy wypoczynkowej.



Rycina 5. Moc kończyn dolnych rejestrowana na trenerze Kaiser przed zastosowaniem protokołu PAP na kończyny dolne oraz w kolejnych minutach pomiaru.

Przeprowadzona analiza wariancji z powtarzaniem pomiarem ujawniła istotny efekt czynnika CZAS ( $F_{(4,52)}=5,132, p=0,002$ ) dla wartości mocy zarejestrowanej w 2, 4, 6 i 8 min od wykonanego na trenerze Kaiser protokołu PAP na kończyny górne (Rycina 6). W kolejnych minutach przerwy wypoczynkowej, moc kończyn górnych badanych pływaków istotnie zwiększała się, osiągając w 6 minucie szczytową wartość, która w stosunku do osiągniętej mocy wyjściowej różniła się o 8,9% (1364,4 W vs. 1252,9 W;  $p=0,002$ ). Po 8 min przerwy wypoczynkowej moc kończyn dolnych badanych pływaków obniżyła się w stosunku do mocy zarejestrowanej w 6 min, jednakże różnica ta nie była istotna statystycznie. Najwięcej, bo aż 10 zawodników szczytową wartość mocy osiągnęło w 6 min przerwy wypoczynkowej, 1 pływak najwyższą moc osiągnął w 4 min, a 3 pływaków najwyższą moc osiągnęło w 8 min.



Rycina 6. Moc kończyn górnych rejestrowana na trenażerze Kaiser przed zastosowaniem protokołu PAP na kończyny dolne oraz w kolejnych minutach pomiaru.

## 5.2. Wpływ PAP kończyn dolnych i górnych na pokonanie dystansu 50 m stylem dowolnym oraz parametry kinematyczne techniki pływania.

Dokonując oceny wpływu zastosowanego protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne na zarejestrowane parametry kinematyczne techniki pływania odnotowano istotną różnicę czasu trwania nawrotu, którego czas skrócił się o 0,06 s, co stanowi 0,82% ( $p < 0,05$ ) (Tabela 2). Warto zwrócić uwagę, że średni czas pokonania 50 m uległ poprawie o 0,02 s (0,08%). Zarówno na pierwszej, jak i drugiej długości pływalni stwierdzono wzrost częstotliwości pracy ramion, która wynosiła odpowiednio 0,59 i 0,25 cykl/min (1,04% i 0,47%). Po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne odnotowano również obniżenie prędkości pływania oraz skrócenie kroku pływackiego zarówno na pierwszej jak i na drugiej części dystansu.

Tabela 2. Wartości średnie i odpowiadające im odchylenia standardowe dla zmiennych czasoprzestrzennych techniki pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym przed i po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne.

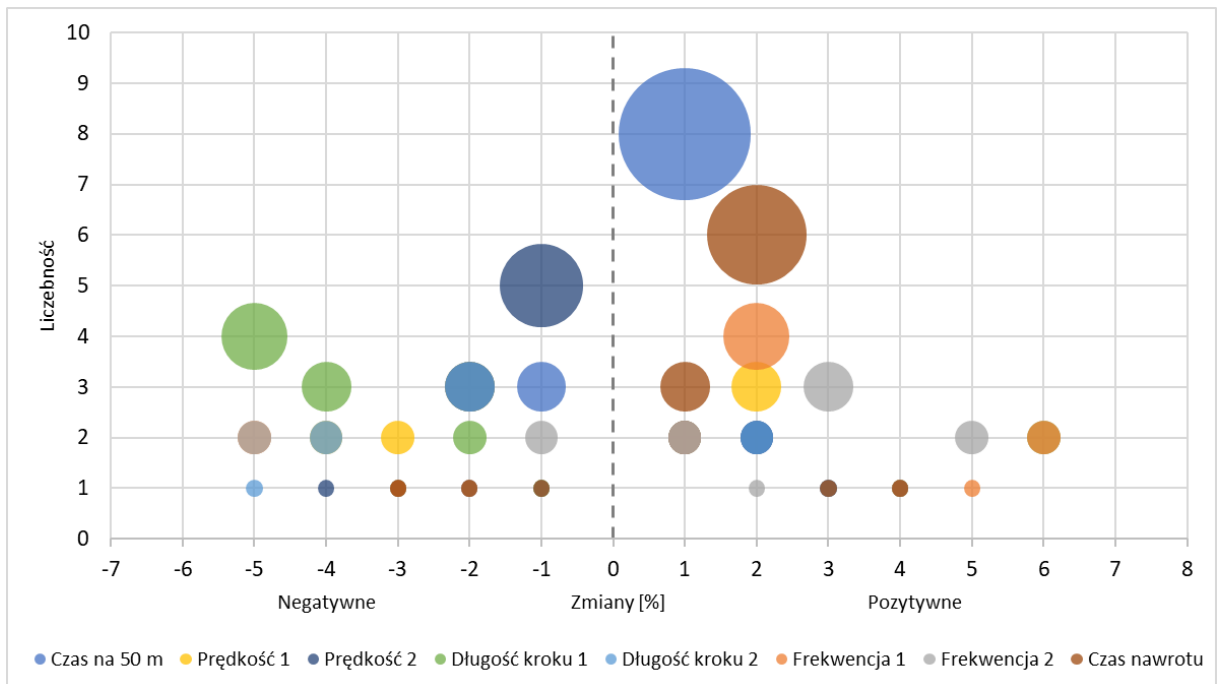
Zmienne	Przed	Po	Różnica (%)	Test t; p	Wielkość efektu
T50 [s]	25,53 ± 0,77	25,51 ± 0,86	-0,02 (-0,08%)	0,351; n.s.	0,03 / Znikomy
SR1 [cykl/min.]	56,87 ± 4,03	57,46 ± 3,98	0,59 (1,04%)	-0,718; n.s.	0,15 / Znikomy
V1 [m/s]	1,85 ± 0,04	1,84 ± 0,06	-0,01 (-0,62%)	1,144; n.s.	0,21 / Mały
SL1 [m]	1,96 ± 0,14	1,92 ± 0,12	-0,03 (-1,72%)	1,236; n.s.	0,26 / Mały
SR2 [cykl/min.]	53,96 ± 4,02	54,22 ± 3,33	0,25 (0,47%)	-0,510; n.s.	0,07 / Znikomy
V2 [m/s]	1,72 ± 0,05	1,72 ± 0,06	-0,01 (-0,29%)	0,670; n.s.	0,09 / Znikomy
SL2 [m]	1,93 ± 0,15	1,91 ± 0,13	-0,02 (-0,93%)	1,376; n.s.	0,13 / Znikomy
TT [s]	7,77 ± 0,26	7,71 ± 0,25	-0,06 (-0,82%)	<b>2,209; p&lt;0,05</b>	0,25 / Mały

*T50 – czas przepłynięcia 50 m stylem dowolnym  
 SR1, SR2 – częstotliwość kroku pływackiego  
 V1, V2 – prędkość pływania na badanym odcinku  
 SL1, SL2 – długość kroku pływackiego  
 TT – czas przebywania w strefie nawrotowej*

Analiza istotności różnic dla poszczególnych zmiennych opisanych w tabeli 2 została uzupełniona o szczegółową analizę indywidualnych dla każdego z badanych zmian wyrażonych w wartościach względnych (%). Dzięki takiemu podejściu możliwe jest zaobserwowanie, jak każdy z badanych pływaków zareagował na wprowadzony protokół aktywacyjny na kończyny dolne. Na podstawie danych zaprezentowanych na rycinie 7 można stwierdzić, że po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne 10 badanych pływaków (71,4%) odnotowało skrócenie czasu pokonania dystansu 50 m, przy czym ośmiu z nich poprawiło rezultat w zakresie od 0 do 1%, a dwóch pływaków w zakresie od 1 do 2%. Analiza liczebności wykazała również, że na pierwszej części dystansu 10 zawodników zanotowało zwiększenie częstotliwości pracy ramion, z czego 6 w zakresie od 0 do 2%, a 4 w zakresie powyżej 3%, natomiast na drugiej części dystansu poprawę tej zmiennej odnotowano u 9 pływaków. Po zastosowaniu ćwiczenia aktywacyjnego na kończyny dolne odnotowano skrócenie czasu przebywania w strefie nawrotowej u 11 zawodników (78,6%), z czego 6 w zakresie od 1 do 2%.

Parametry, których średnie wartości uległy pogorszeniu po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne, a więc prędkość pływania oraz długość kroku pływackiego mają również odzwierciedlenie w analizie liczebności. Obniżenie prędkości pływania na pierwszej długości pływalni odnotowano u 8, natomiast na drugiej części dystansu u 9 badanych (odpowiednio 57,1% i 64,3%). Długość kroku na pierwszej części dystansu uległa skróceniu u

11 badanych (78,6%) z czego u 7 parametr ten pogorszył się w zakresie powyżej 3%, natomiast na drugiej części dystansu u 8 zawodników (57,1%).



Rycina 7. Charakterystyka względnych przyrostów zmian dla czasoprzestrzennych parametrów pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne.

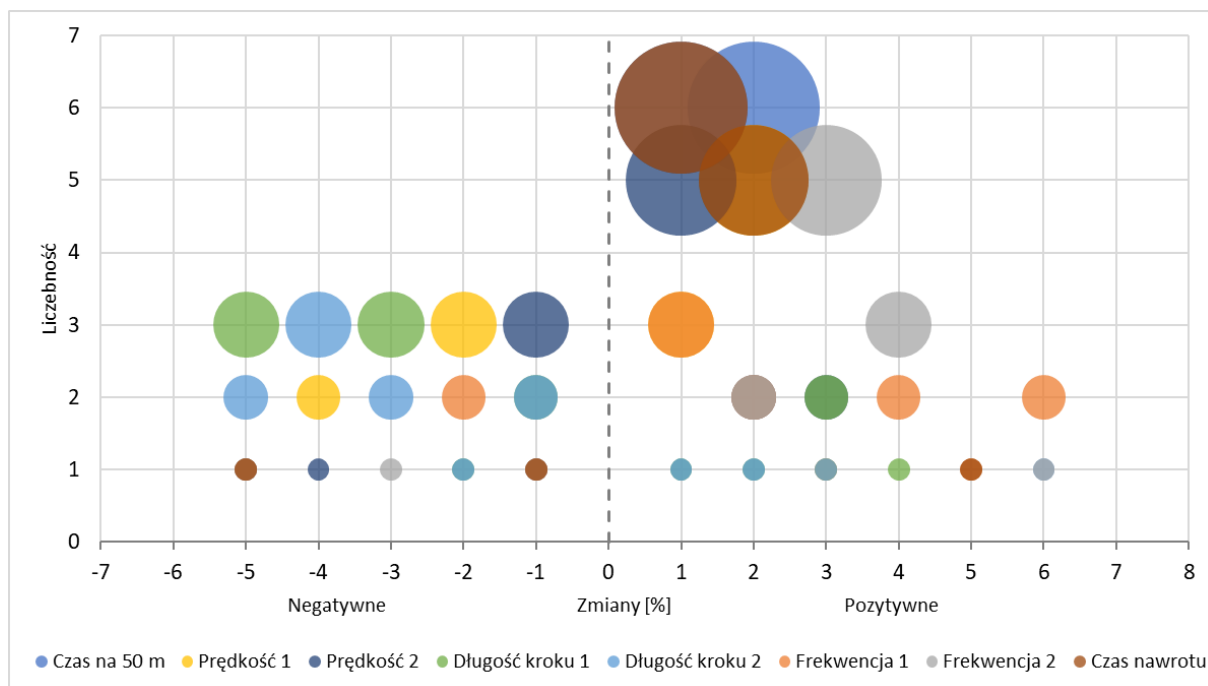
Analiza zmiennych czasoprzestrzennych pływania na badanym dystansie po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny górne przedstawiona w tabeli 3 wykazała istotne ( $p < 0,001$ ) skrócenie czasu pokonania 50 m stylem dowolnym o 0,28 s (1,08%). Poprawę odnotowano również w częstotliwości pracy ramion, która istotnie zwiększyła się na drugiej części dystansu o 1,74% (0,93 cykl/min,  $p < 0,05$ ), natomiast na pierwszej części dystansu różnica wyniosła 1,22% (0,69 cykl/min). Skróceniu uległa długość kroku pływackiego, zarówno na pierwszej jak i drugiej długości pływalni, odpowiednio o 1,41% i 1,33% (0,03 m i 0,03 m). Analiza wykazała również niewielkie zmiany średniej prędkości pływania na badanych odcinkach, zmniejszenie o 0,23% na pierwszej oraz zwiększenie o 0,21% na drugiej części dystansu. Warto zwrócić uwagę na czas wykonania nawrotu, który po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny górne skrócił się o 0,05 s, tj. o 0,69%.

Tabela 3. Wartości średnie i odpowiadające im odchylenia standardowe dla zmiennych czasoprzestrzennych techniki pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym przed i po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny górne.

Zmienne	Przed	Po	Różnica (%)	Test t; p	Wielkość efektu
T50 [s]	25,67 ± 0,79	25,39 ± 0,8	-0,28 (-1,08%)	<b>5,721; p&lt;0,001</b>	0,35/Mały
SR1 [cykl/min.]	56,36 ± 3,91	57,05 ± 4,22	0,69 (1,22%)	-1,376; n.s.	0,17/Znikomy
V1 [m/s]	1,84 ± 0,05	1,84 ± 0,06	0,01 (-0,23%)	0,452; n.s.	0,08/Znikomy
SL1 [m]	1,97 ± 0,14	1,94 ± 0,15	-0,03 (-1,41%)	1,385; n.s.	0,19/Znikomy
SR2 [cykl/min.]	53,24 ± 3,34	54,17 ± 3,96	0,93 (1,74%)	<b>-2,635; p&lt;0,05</b>	0,25/Mały
V2 [m/s]	1,71 ± 0,06	1,72 ± 0,07	0,01 (0,21%)	-0,394; n.s.	0,06/Znikomy
SL2 [m]	1,94 ± 0,14	1,91 ± 0,16	-0,03 (-1,33%)	1,552; n.s.	0,17/Znikomy
TT [s]	7,79 ± 0,27	7,74 ± 0,31	-0,05 (-0,69%)	1,163; n.s.	0,19/Znikomy

*T50 – czas przepłynięcia 50 m stylem dowolnym  
 SR1, SR2 – częstotliwość kroku pływackiego  
 V1, V2 – prędkość pływania na badanym odcinku  
 SL1, SL2 – długość kroku pływackiego  
 TT – czas przebywania w strefie nawrotowej*

Na podstawie analizy indywidualnych dla każdego z badanych zmian przedstawionych w wartościach względnych (Rycina 8) zarejestrowano poprawę pokonania 50 m stylem dowolnym u 13 zawodników (92,9%), przy czym 6 z nich uzyskało poprawę w zakresie od 0 do 1%, 6 w zakresie od 1 do 2%, a 1 w zakresie od 2 do 3%. Analiza licznosci wykazała również, że u 10 badanych (71,4%) odnotowano zwiększenie częstotliwości pracy ramion na pierwszej części dystansu, natomiast na drugiej poprawę tego parametru stwierdzono u 11 badanych (78,6%). Warto zwrócić uwagę na czas przebywania w strefie nawrotowej, który skrócił się u 12 badanych (85,7%), z czego u 6 poprawa zawierała się w granicach od 0 do 1%, a u 5 w zakresie od 1 do 2%. W trakcie analizy zaobserwowano również, że po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny górne 9 pływaków (64,3%) odnotowało skrócenie długości kroku pływackiego na pierwszej długości pływalni, natomiast na drugiej części dystansu obniżenie tego parametru zaobserwowano u 10 badanych (71,4%). Należy również zaznaczyć, że prędkość pływania uległa zwiększeniu u 9 z badanych zawodników, zarówno na pierwszej jak i drugiej części dystansu, a poprawa tego parametru zawierała się w granicach od 0 do 3%.



Rycina 8. Charakterystyka względnych przyrostów zmian dla czasoprzestrzennych parametrów pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny górne.

Analiza istotności różnic dla zmiennych czasoprzestrzennych pływania po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne i górne (Tabela 4) nie wykazała istotnych różnic w średnim czasie pokonania dystansu 50 m. Warto jednak odnotować, że wynik uległ nieznacznej poprawie o 0,16 s (0,61%). Stwierdzono natomiast istotny wpływ zastosowanego protokołu aktywacyjnego na parametry kinematyczne techniki pływania. Odnotowano zwiększenie częstotliwości pracy ramion zarówno na pierwszej jak i drugiej części dystansu, odpowiednio o 1,11 cykl/min ( $p < 0,05$ ) oraz 1,75 cykl/min ( $p < 0,001$ ). Skróceniu uległa natomiast długość kroku pływackiego, która zmniejszyła się na pierwszym odcinku pomiarowym o 0,04 m ( $p < 0,05$ ), a na drugim o 0,05 m ( $p < 0,001$ ). Należy również zwrócić uwagę na średni czas przebywania zawodników w strefie nawrotowej, który był istotnie krótszy po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego, a różnica wyniosła 0,07 s ( $p < 0,05$ ), co stanowiło 0,89%.

Analiza nie wykazała istotnych różnic prędkości pływania, jednak warto zwrócić uwagę, że na drugiej części dystansu prędkość nieznacznie zwiększyła się o 0,01 m/s (0,55%).

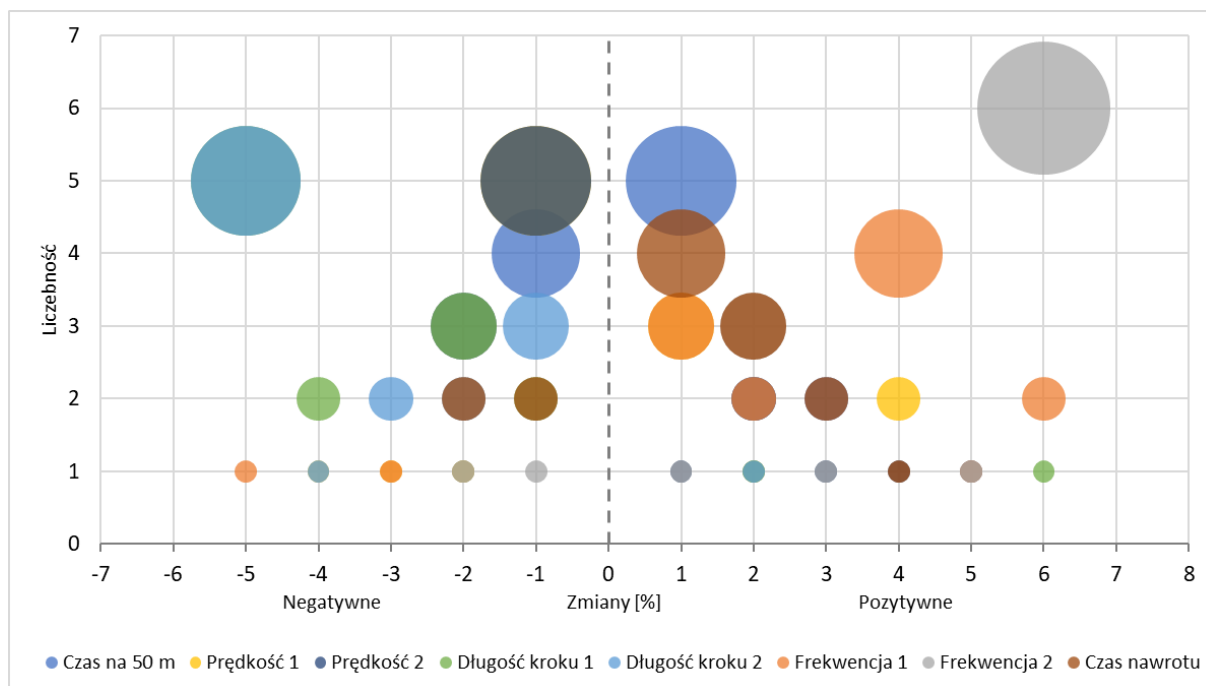


Tabela 4. Wartości średnie i odpowiadające im odchylenia standardowe dla zmiennych czasoprzestrzennych techniki pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym przed i po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne i górne.

Zmienne	Przed	Po	Różnica (%)	Test t; p	Wielkość efektu
T50 [s]	25,76 ± 0,83	25,61 ± 0,81	-0,16 (-0,61%)	1,782; n.s.	0,19 / Znikomy
SR1 [cykl/min]	55,88 ± 3,82	56,99 ± 3,78	1,11 (1,98%)	<b>-2,201; p&lt;0,05</b>	0,29 / Mały
V1 [m/s]	1,83 ± 0,06	1,83 ± 0,05	0,0 (-0,12%)	0,231; n.s.	0,04 / Znikomy
SL1 [m]	1,97 ± 0,13	1,93 ± 0,13	-0,04 (-2,1%)	<b>2,684; p&lt;0,05</b>	0,33 / Mały
SR2 [cykl/min.]	52,54 ± 4,04	54,29 ± 3,89	1,75 (3,34%)	<b>-4,244; p&lt;0,001</b>	0,44/Mały
V2 [m/s]	1,7 ± 0,05	1,71 ± 0,05	0,01 (0,55%)	-1,223; n.s.	0,19/Znikomy
SL2 [m]	1,95 ± 0,15	1,9 ± 0,15	-0,05 (-2,75%)	<b>4,372; p&lt;0,001</b>	0,35/Mały
TT [s]	7,83 ± 0,3	7,76 ± 0,29	-0,07 (-0,89%)	<b>2,212; p&lt;0,05</b>	0,23/Mały

*T50 – czas przepłynięcia 50 m stylem dowolnym  
 SR1, SR2 – częstotliwość kroku pływackiego  
 V1, V2 – prędkość pływania na badanym odcinku  
 SL1, SL2 – długość kroku pływackiego  
 TT – czas przebywania w strefie nawrotowej*

Szczegółowa analiza liczebności dla poszczególnych zmiennych czasoprzestrzennych techniki pływania przedstawiona na rycinie 9 wykazała, że poprawę czasu pokonania dystansu 50 m stwierdzono u 64,3% badanych (9 pływaków, z czego 5 w zakresie od 0 do 1%). Częstotliwość pracy ramion na badanym dystansie wzrosła u 12 zawodników (85,7% badanych), przy czym na drugiej części dystansu aż 6 odnotowało poprawę tego parametru w zakresie powyżej 5%. Warto zwrócić uwagę, że jednocześnie pogorszeniu uległa długość kroku pływackiego, która zmniejszyła się u 12 zawodników (85,7%) na pierwszej długości pływalni, natomiast na drugiej u 13 badanych (92,9%), przy czym w obu przypadkach 5 pływaków odnotowało regres powyżej 4%. Podczas analizy wykazano również, że po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne i górne 10 zawodników (71,4%) skróciło czas wykonania nawrotu, z czego 4 w zakresie od 0 do 1%, 3 w zakresie od 1 do 2% oraz 3 powyżej 2%. Dane przedstawione na rycinie 9 wskazują również, że prędkość pływania obniżyła się u 8 badanych pływaków (57,1%) zarówno na pierwszej jak i drugiej części dystansu, z czego 5 odnotowało regres tego parametru w zakresie od 0 do 1%.



Rycina 9. Charakterystyka względnych przyrostów zmian dla czasoprzestrzennych parametrów pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne i górne.

### 5.3. Wpływ PAP kończyn dolnych i górnych na start pływacki oraz parametry kinematyczne skoku startowego

Podczas analizy zmiennych czasoprzestrzennych startu pływackiego po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne nie wykazano istotnych różnic na zarejestrowane parametry (Tabela 5). Warto zwrócić uwagę na wydłużenie długości skoku o 0,03 m (1%), jak również obniżenie prędkości poziomej w fazie lotu o 0,14 m/s (3,07%). W przypadku pozostałych parametrów odnotowano nieznaczne różnice w wartościach względnych, jednak były one nie większe niż 0,36% (BT).

Tabela 5. Wartości średnie i odpowiadające im odchylenia standardowe dla zmiennych czasoprzestrzennych startu pływackiego przed i po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne.

Zmienne	Przed	Po	Różnica (%)	Test t; p	Wielkość efektu
T15m [s]	6,68 ± 0,23	6,68 ± 0,25	0 (-0,04%)	0,147; n.s.	0,01 / Znikomy
BT [s]	0,8 ± 0,03	0,8 ± 0,04	0 (-0,36%)	0,351; n.s.	0,08 / Znikomy
JT [s]	1,06 ± 0,05	1,06 ± 0,06	0 (0,14%)	-0,147; n.s.	0,03 / Znikomy
DD [m]	3,08 ± 0,16	3,11 ± 0,18	0,03 (1%)	-1,584; n.s.	0,18 / Znikomy
FT [s]	0,26 ± 0,04	0,26 ± 0,04	0 (0%)	0; n.s.	0 / Znikomy
HV [m/s]	4,54 ± 0,3	4,4 ± 0,28	-0,14 (-3,07%)	1,791; n.s.	0,48/Mały

*T15 – czas dopłynięcia do 15 m*

*BT – czas odbicia, od błysku flesza do oderwania stóp od platformy startowej*

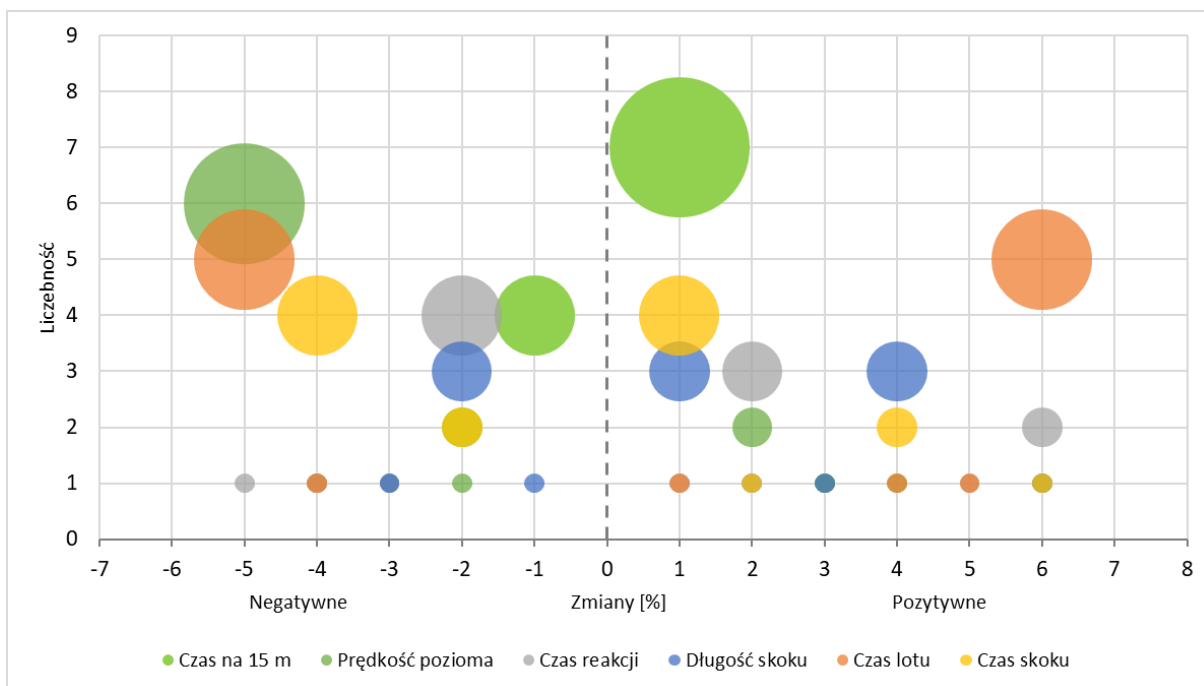
*JT – czas skoku, od błysku flesza do kontaktu z wodą*

*DD – długość skoku*

*FT – czas lotu, od oderwania stóp od platformy startowej do kontaktu z wodą*

*HV – prędkość pozioma w fazie lotu*

Analiza istotności różnic została uzupełniona o indywidualne dla każdego z badanych zmiany wartości parametrów w wartościach względnych, które zostały przedstawione na rycinie 10. Dane zaprezentowane poniżej wskazują, że czas przepłynięcia 15 m poprawił się u 8 badanych pływaków (57,1%), z czego 7 w zakresie od 0 do 1%, a 1 w zakresie 2 do 3%, natomiast wydłużenie czasu nastąpiło u 6 pływaków w zakresie od 0 do 2%. Prędkość pozioma w fazie lotu obniżyła się u 9 zawodników, z których 6 uzyskało regres w zakresie powyżej 4%. Warto również zwrócić uwagę na długość skoku, która zwiększyła się po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego u 9 zawodników (64,3%).



Rycina 10. Charakterystyka względnych przyrostów zmian dla czasoprzestrzennych parametrów startu pływackiego po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne.

Dokonując oceny wpływu zastosowanego protokołu aktywacyjnego na kończyny górne na zarejestrowane parametry startu pływackiego przedstawione w tabeli 6 odnotowano istotne skrócenie czasu pokonania 15 m o 1,26% (0,09 s,  $p < 0,05$ ). Istotnemu wydłużeniu uległ czas fazy lotu o 4,97% (0,01 s,  $p < 0,05$ ). Warto zwrócić uwagę na skrócenie średniego czasu reakcji, który uległ poprawie o 0,03 s (3,19%), jak również na długość skoku, która zwiększyła się o 0,07 m (2,17%). W trakcie analizy odnotowano również obniżenie prędkości poziomej o 0,1 m/s (2,28%).

Tabela 6. Wartości średnie i odpowiadające im odchylenia standardowe dla zmiennych czasoprzestrzennych startu pływackiego przed i po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny górne

Zmienne	Przed	Po	Różnica (%)	Test t; p	Wielkość efektu
T15 [s]	6,74 ± 0,26	6,65 ± 0,26	-0,09 (-1,26%)	<b>2,321; p&lt;0,05</b>	0,33 / Mały
BT [s]	0,81 ± 0,03	0,78 ± 0,05	-0,03 (-3,19%)	1,525; n.s.	0,64 / Umiarkowany
JT [s]	1,07 ± 0,05	1,05 ± 0,07	-0,01 (-1,21%)	0,749; n.s.	0,22 / Mały
DD [m]	3,07 ± 0,15	3,14 ± 0,2	0,07 (2,17%)	-1,835; n.s.	0,38 / Mały
FT [s]	0,26 ± 0,03	0,27 ± 0,04	0,01 (4,97%)	<b>-2,342; p&lt;0,05</b>	0,38 / Mały
HV [m/s]	4,57 ± 0,22	4,47 ± 0,25	-0,1 (-2,28%)	1,401; n.s.	0,45 / Mały

*T15 – czas dopłynięcia do 15 m*

*BT – czas odbicia, od błysku flesza do oderwania stóp od platformy startowej*

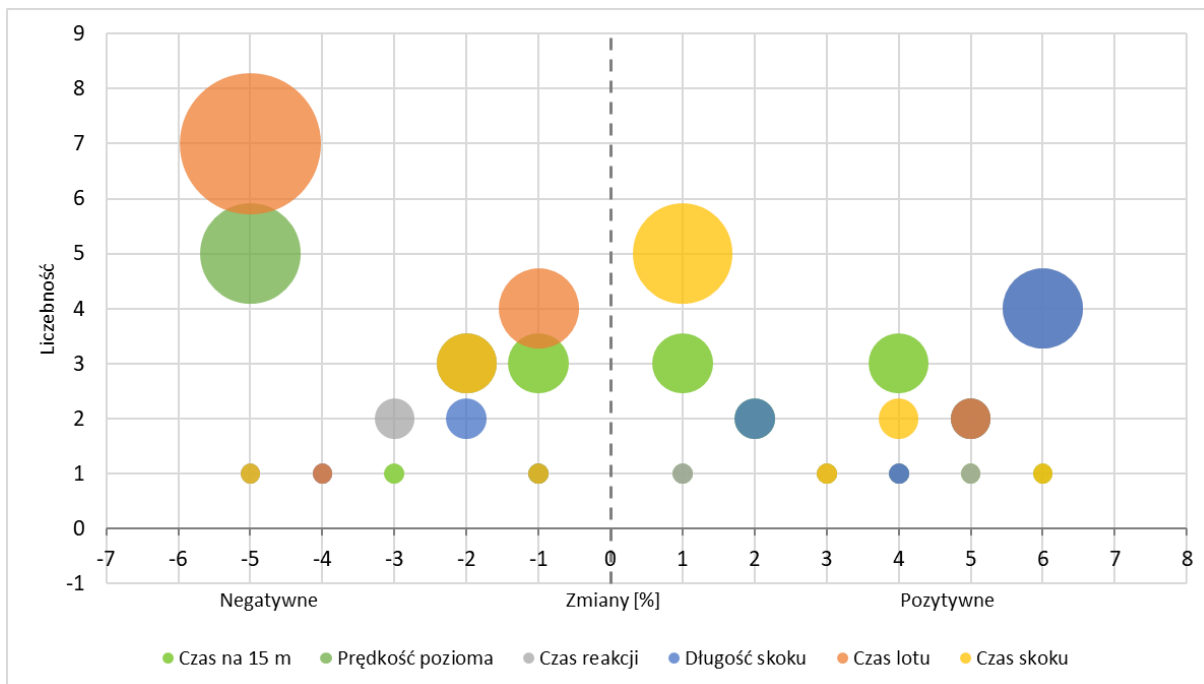
*JT – czas skoku, od błysku flesza do kontaktu z wodą*

*DD – długość skoku*

*FT – czas lotu, od oderwania stóp od platformy startowej do kontaktu z wodą*

*HV – prędkość pozioma w fazie lotu*

Przedstawiona na rycinie 11 analiza licznosci dla parametrów startu pływackiego po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny górne wykazała, że czas przepłynięcia 15 m uległ poprawie u 10 badanych (71,4%), z których u 5 zaobserwowano poprawę skuteczności wykonania startu w zakresie od 0 do 2% oraz u 5 powyżej 2%. Odległość skoku uległa wydłużeniu u 9 zawodników (64,3%), z czego u 7 poprawa tego parametru wyniosła powyżej 3%. Podczas analizy odnotowano również skrócenie u 57,1% badanych czasu reakcji startowej (4 zawodników powyżej 4%), jak również u 64,3% badanych czasu skoku startowego (5 zawodników w zakresie od 0 do 1%). Warto zwrócić uwagę na czas fazy lotu, który wydłużył się u 12 pływaków (85,7%), z których 4 w zakresie od 0 do 1%, a 8 powyżej 3%. Odnotowano również pogorszenie prędkości poziomej podczas fazy lotu, która zmniejszyła się po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego u 9 badanych zawodników (64,3%).



Rycina 11. Charakterystyka względnych przyrostów zmian dla czasoprzestrzennych parametrów startu pływackiego po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny górne.

Analiza istotności różnic dla zmiennych czasoprzestrzennych startu pływackiego po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne i górne przedstawiona w tabeli 7 wykazała istotne skrócenie czasu fazy odbicia, która wyniosła 0,02 s ( $p < 0,05$ ). Odnotowano również 0,48% (0,03 s) poprawę skuteczności przepłynięcia pierwszych 15 m, skrócenie czasu skoku startowego o 0,6% (0,01), a także zwiększenie długości skoku o 1,1% (0,04 m). Warto zwrócić uwagę na wydłużenie czasu fazy lotu o 4,96% (0,01 s) po zastosowanym ćwiczeniu aktywacyjnym. Analiza nie wykazała poprawy skuteczności osiągniętej prędkości poziomej w fazie lotu, która uległa minimalnemu obniżeniu o 0,06%.

Tabela 7. Wartości średnie i odpowiadające im odchylenia standardowe dla zmiennych czasoprzestrzennych startu pływackiego przed i po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne i górne.

Zmienne	Przed	Po	Różnica (%)	Test t; p	Wielkość efektu
T15 [s]	6,71 ± 0,25	6,68 ± 0,24	-0,03 (-0,48%)	1,381; n.s.	0,13 / Znikomy
BT [s]	0,82 ± 0,03	0,8 ± 0,02	-0,02 (-2,28%)	<b>2,509; p&lt;0,05</b>	0,77 / Umiarkowany
JT [s]	1,06 ± 0,05	1,05 ± 0,05	-0,01 (-0,6%)	0,58; n.s.	0,13 / Znikomy
DD [m]	3,1 ± 0,17	3,14 ± 0,19	0,04 (1,1%)	-2,105; n.s.	0,19 / Znikomy
FT [s]	0,25 ± 0,04	0,26 ± 0,04	0,01 (4,96%)	-2,042; n.s.	0,31 / Mały
HV [m/s]	4,58 ± 0,24	4,58 ± 0,28	0 (-0,06%)	0,041; n.s.	0,01/Znikomy

*T15 – czas dopłynięcia do 15 m*

*BT – czas odbicia, od błysku flesza do oderwania stóp od platformy startowej*

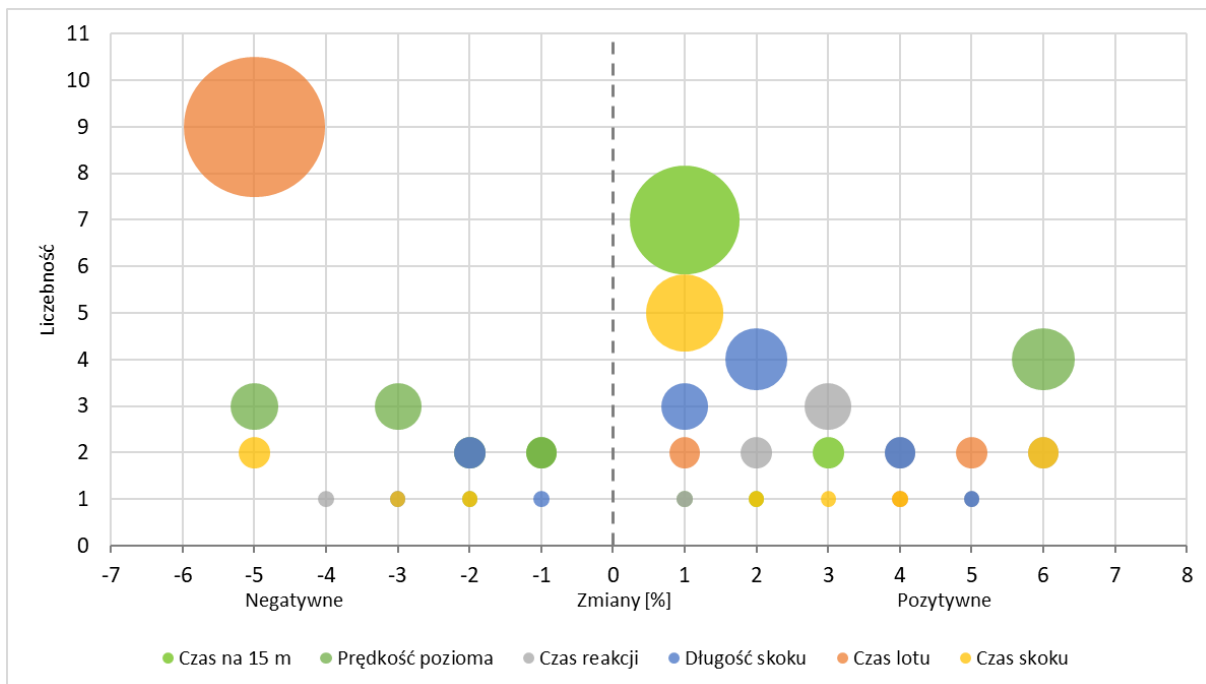
*JT – czas skoku, od błysku flesza do kontaktu z wodą*

*DD – długość skoku*

*FT – czas lotu, od oderwania stóp od platformy startowej do kontaktu z wodą*

*HV – prędkość pozioma w fazie lotu*

Przeprowadzona analiza liczności badanych zawodników w obrębie poszczególnych zmiennych czasoprzestrzennych startu pływackiego po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne i górne (Rycina 12) wykazała poprawę czasu pokonania pierwszych 15 m u 10 zawodników (71,4%), z czego 7 uzyskało czas lepszy w zakresie od 0 do 1%, 1 w zakresie od 1 do 2%, a 2 w zakresie od 2 do 3%. Czas fazy odbicia uległ skróceniu u 11 zawodników (78,6%), natomiast u 10 badanych pływaków (71,4%) poprawie uległ czas skoku oraz wydłużyła się jego długość. W trakcie analizy zaobserwowano również, że u 9 zawodników wydłużył się czas lotu (wszyscy powyżej 4%), jak również obniżyła się prędkość pozioma w fazie lotu.



Rycina 12. Charakterystyka względnych przyrostów zmian dla czasoprzestrzennych parametrów startu pływackiego po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne i górne.



## 6. Dyskusja

Celem pracy była ocena wpływu wzmocnienia po-aktywacyjnego mięśni kończyn dolnych i górnych na wynik sportowy w pływaniu na dystansie 50 m stylem dowolnym wśród zawodników wysokiej klasy. Analizie poddano również skuteczność wykonania skoku startowego oraz zmienność kinematycznych parametrów techniki pływania. Idea badań opierała się na odniesieniu natychmiastowych korzyści z PAP, które można byłoby zastosować podczas rywalizacji w czasie zawodów.

Rozgrzewka przedstartowa w pływaniu jest kombinacją rozgrzewki w wodzie i na lądzie. Większe znaczenie w przygotowaniu się zawodnika do rywalizacji ma rozgrzewka w wodzie, ponieważ zwiększa gotowość startową poprzez zmiany fizjologiczne, jakie zachodzą podczas pływania, jak również umożliwia zawodnikom zapoznanie się z pływalnią, w szczególności z temperaturą wody, słupkami startowymi, czy też ścianami nawrotowymi.

Efekt rozgrzewki będzie zależny od kilku czynników, takich jak: objętość, intensywność, a także długości fazy przejściowej, czyli czasu od zakończenia rozgrzewki do podjęcia rywalizacji sportowej. Badania Westa i wsp. (2013) oraz Zochowskiego i wsp. (2007) wskazują, że czasy fazy przejściowej 10 i 20 min pozwalają osiągnąć korzystniejsze rezultaty dla konkurencji 200 m stylem dowolnym niż czas 45 min. Doniesienia Neivy i wsp. (2017) wskazują również na istotnie krótsze czasy w konkurencji 100 m stylem dowolnym po zastosowaniu 10 min przerwy wypoczynkowej po rozgrzewce w wodzie, w porównaniu z przerwą 20 min. Podczas zawodów pływackich wysokiej rangi czas ten najczęściej wynosi od 20 do 30 min, gdyż zawodnik po wykonaniu rozgrzewki musi się wysuszyć, ubrać kostium startowy, a także odpowiednio wcześniej stawić się w pokoju zbiórki przedstartowej, dlatego podczas fazy przejściowej trenerzy zalecają wykonanie dodatkowego programu ćwiczeń na lądzie. Zazwyczaj procedura ta obejmuje rozciąganie dynamiczne, jednak coraz częściej w konkurencjach sprinterskich stosowane są ćwiczenia siłowo-szybkościowe, które mają wywołać efekt PAP.

Uzasadnieniem podjęcia niniejszych badań była ograniczona liczba doniesień dotyczących wykorzystania zjawiska PAP w pływaniu sportowym. W literaturze obserwuje się dużą różnorodność ćwiczeń mających wywołać efekt wzmocnienia, które najczęściej obejmują ćwiczenia siłowe (Cuanca-Fernandez i wsp., 2015a,b; Cuanca-Fernandez i wsp., 2020; Kilduff i wsp., 2011), ćwiczenia balistyczne i plajometryczne (Dalamatros i wsp., 2018; Waddingham i wsp., 2019), a także pływanie z oporem (Hancock i wsp., 2015; Juarez-Santos i wsp., 2013). Część z prezentowanych w literaturze protokołów aktywacyjnych wydaje się być mało

specyficzna, aby mogła odnieść skutek w postaci PAP. Problemem często wydaje się być zmiana środowiska, w którym wykonywane jest ćwiczenie aktywujące i późniejsza aktywność fizyczna. Wiąże się to z trudnością doboru właściwego ćwiczenia, które odwzorowywało by w całości ruch napędowy pracy ramion, który w największym stopniu przyczynia się do tworzenia napędu. Korzystnym mogłoby być wykorzystanie aktywacji tylko najważniejszych mięśni biorących udział w ruchach kończyn górnych podczas pływania stylem dowolnym.

Ruch napędowy ramion w kraulu na piersiach składa się z kilku faz, z których najważniejsze to pociągnięcie i odepchnięcie, ponieważ podczas ich trwania dochodzi do zwiększenia prędkości chwilowej wewnątrz całego cyklu. W początkowej fazie pociągnięcia ramię powinno być ugięte w stawie łokciowym pod kątem około  $90^\circ$  i w dalszej części tej fazy zgięcie powinno pozostawać takie same (Maglischo 2003). Podczas fazy pociągnięcia głównymi mięśniami biorącymi udział w tworzeniu napędu jest mięsień piersiowy większy (wczesna faza pociągnięcia) oraz mięsień najszerzy grzbietu (późna faza pociągnięcia) (Montreil i wsp., 1996; Pink i wsp., 1991) Dodatkowo podczas chwytu wody oraz początkowej części pociągnięcia preferowana jest rotacja wewnętrzna w stawie ramiennym, która pomaga utrzymać pozycję „wysokiego łokcia”, dzięki czemu ruch napędowy może być bardziej efektywny. „Opadnięcie” łokcia w fazie pociągnięcia jest efektem uginania ramienia w stawie łokciowym, co w konsekwencji skutkuje zmniejszeniem siły napędowej (Maglischo, 2003).

W doniesieniu Rouarda i Clarysa (1995), w którym przy użyciu elektromiografii (EMG) badano kokontrakcję mięśni ramion podczas szybkich cyklicznych ruchów w środowisku wodnym, opisano schemat aktywacji czterech mięśni stawu łokciowego: bicepsa, ramiennie-promieniowego, zginacza łokciowego nadgarstka i tricepsa. Stwierdzono, że podczas wczesnej fazy pociągnięcia to właśnie te mięśnie wykazują największą aktywność, z bicipsem i mięśniem ramiennie-promieniowym jako głównymi mięśniami odpowiadającymi za napęd oraz wyraźnym antagonistycznym działaniem bicepsa i tricepsa, które „najprawdopodobniej utrzymują stabilność stawów, ale również uzupełniają działanie głównych ruchów poprzez wyrównanie ciśnienia w stawach” (Rouard i Clarys, 1995). Caty i wsp. (2007) potwierdzili powyższe ustalenia dotyczące mięśnia zginacza łokciowego nadgarstka i jego wysokiej aktywności we wczesnej fazie pociągnięcia, wraz z silnym antagonistycznym działaniem prostownika łokciowego nadgarstka. Wynika to z potrzeby pełnej stabilizacji nadgarstka w tej fazie pracy ramienia, gdzie stopień oporu wody jest wysoki, a dłoń osiąga największą głębokość podczas swojej trajektorii przy prawie pełnym wyproście w stawie łokciowym.

Podczas odepchnięcia ramię jest prostowane w stawie łokciowym, a więc dużą część pracy przejmują tricepsy, szczególnie aktywność tych mięśni zwiększa się wraz ze zwiększeniem

prędkości pływania (Lewille, 1973). W tej fazie następuje również drugi pik prędkości, a dłoń osiąga maksymalną prędkość chwilową która wynosi ok. 3 m/s.

W niniejszej pracy, jako ćwiczenie aktywacyjne kończyn górnych wykorzystano przyciąganie linek wyciągu w leżeniu przodem na ławeczce, której oparcie ustawione było pod kątem  $45^\circ$  do podłoża. Ruch był wykonywany dynamicznie przez co mógł skutkować zaburzeniem struktury ruchu w czasie pływania, przede wszystkim nieodpowiednim ustawieniem łokcia w początkowej fazie pociągnięcia. Zarówno po aktywacji tylko kończyn dolnych, tylko kończyn górnych, a także po aktywacji kończyn dolnych i górnych zaobserwowano wzrost SR u co najmniej 71,4% badanych oraz obniżenie wartości SL u co najmniej 64,3% badanych. Po zastosowaniu aktywacji kończyn dolnych i górnych odnotowano istotne statystycznie różnice wartości SR oraz SL ( $p < 0,05$ ), przy praktycznie nie zmienionej prędkości pływania.

Do podobnych wniosków doszli Sarramian i wsp. (2015), którzy badali wpływ pobudzenia mięśni kończyn dolnych (LBPAP), górnych (UBPAP) oraz dolnych i górnych (CPAP) na wynik pokonania 50 m stylem dowolnym, w porównaniu z tradycyjną rozgrzewką w wodzie (RSWU). W badaniach tych jako ćwiczenie aktywacyjne kończyn górnych wykorzystano podciąganie na drążku, podczas którego dochodzi do rotacji zewnętrznej w stawie rami, w odróżnieniu do pozycji ramienia w fazie chwytu wody, gdzie dochodzi do rotacji wewnętrznej i ustawienia pozycji tzw. wysokiego łokcia. Autorzy wykazali istotnie dłuższe czasy próby 50 m stylem dowolnym w grupie mężczyzn po zastosowaniu pobudzenia UBAP w porównaniu z RSWU ( $p = 0,047$ ) oraz CPAP ( $p = 0,020$ ). Sarramian i wsp. (2015) sugerują, że PAP może być cennym narzędziem przyczyniającym się do zwiększania wydajności pływaka na dystansach sprinterskich, szczególnie w grupie mężczyzn, jednak podciągnięcia na drążku mogą nie być odpowiednim bodźcem dla uzyskania efektu PAP podczas pływania.

Doniesienia Dalamitrosa i wsp. (2018), w których badano wpływ wykonania rozgrzewki opartej na ćwiczeniach generujących moc (ćwiczenia balistyczne z piłką lekarską oraz ćwiczenie plajometryczne) na efektywność pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym, częściowo potwierdzają wyniki niniejszej pracy. Autorzy mimo braku istotnych różnic wykazali nieznaczne zwiększenie częstotliwości pracy ramion w grupie mężczyzn o 1,81%, jednak odnotowano również wydłużenie kroku pływackiego, w odróżnieniu do wyników przedstawionych w tym opracowaniu.

Analizując wyniki można stwierdzić, że możliwe jest odniesienie korzyści z PAP w celu uzyskania większej mocy ruchu napędowego, o czym może świadczyć zwiększenie SR, jednak ćwiczenie aktywacyjne musi być na tyle specyficzne, aby uwzględniało prawidłową strukturę

ruchu i utrzymanie na niezmiennym poziomie SL, dzięki czemu pływak może uzyskać wyższą prędkość pływania.

Podczas analizy wyścigu, start pływacki definiowany jest najczęściej jako czas od sygnału startera do przekroczenia głowy pływaka linii 15 metra. W konkurencjach na dystansie 50 m jest on szczególnie ważny, gdyż może wynosić nawet do 26,1% całkowitego czasu wyścigu. Podczas analizy startu pływackiego można wyróżnić 3 główne fazy: odbicie, fazę lotu oraz poślizg, które wynoszą odpowiednio 11, 5 i 84%. Faza odbicia (BT) opisywana jest jako czas od sygnału startera do utraty kontaktu stop z platformą startową. Kiedy palce stóp odrywają się od słupka startowego rozpoczyna się faza lotu, która trwa do momentu dotknięcia palcami dłoni powierzchni wody (FT) (Blanksby i wsp., 2002). Wzrost prędkości poziomej w tej fazie znacząco przyczynia się do skrócenia czasu do 7,5 m, dlatego płwacy powinni maksymalizować prędkość poziomą oraz minimalizować opory podczas wejścia do wody. Ostatnią fazą jest poślizg, czyli faza podwodna, podczas której zawodnicy często wykonują delfinowe ruchy tułowia i nóg w celu utrzymania prędkości uzyskanej podczas odbicia i lotu. W konkurencjach sprinterskich w stylu dowolnym płwacy często wynurzają się z wody przed 15 m, dlatego ważne jest, aby przejście do pływania stylowego było płynne i dynamiczne (Maglischo, 2003).

Przedstawiona w niniejszym opracowaniu analiza startu pływackiego po zastosowaniu protokołów aktywacyjnych wykazała istotną poprawę czasu pokonania pierwszych 15 m dystansu jedynie po pobudzeniu kończyn górnych ( $p < 0,05$ ). W większości dostępnych badań autorzy skupiają się na stymulacji mięśni kończyn dolnych, jako protokołu aktywacyjnego przed wykonaniem startu pływackiego (Cuenca Fernandez i wsp., 2015a; Cuenca Fernandez i wsp., 2019, Cuenca Fernandez i wsp., 2020; Kilduff i wsp., 2011; Waddingham i wsp., 2019). Doniesienia Veiga i wsp. (2014), w których analizowano starty i nawroty wykonywane przez pływaków na poziomie krajowym, wykazały, że dystans osiągniany przez zawodników od początku wyścigu do wynurzenia głowy jest o 2 do 5 m krótszy niż w momencie pomiaru czasów startu (15 m). Analiza nagrań wideo zarejestrowanych w czasie niniejszych badań potwierdza powyższą obserwację. Wynika z tego, że poprawa czasu pierwszych 15 m, po pobudzeniu kończyn górnych, może być spowodowana większą dynamiką pierwszych ruchów napędowych ramion podczas przejścia do pływania stylowego, niż podczas zastosowania tylko rozgrzewki w wodzie. Świadczyć o tym może zwiększona frekwencja ruchów, która podczas wykonywania pierwszych trzech cykli ruchowych była istotnie wyższa ( $p < 0,05$ ) po wykonaniu ćwiczeń aktywacyjnych mięśni kończyn górnych.

Warto zaznaczyć, że po pobudzeniu mięśni kończyn dolnych i górnych odnotowano poprawę czasu startu o 0,03 s. Na dystansach sprinterskich, gdzie o końcowym sukcesie często decydują setne części sekundy, taka różnica może mieć duże znaczenie. Niniejszy wynik wydają się potwierdzać badania Cuenca-Fernandeza i wsp. (2020), w których wykorzystano dwa rodzaje pobudzenia mięśni kończyn dolnych i górnych. Zastosowanymi ćwiczeniami w protokole PAP były 3 wykroki i 3 pociągnięcia z obciążeniem 85% 1RM na maszynie Smitha oraz 5 wykroków i pociągnięcie przy użyciu koła zamachowego, przy maksymalnym dobrowolnym skurczu mięśni. Wyniki tych badań sugerują, że zastosowane protokoły rozgrzewki oparte na wzbudzeniu mięśni kończyn dolnych i górnych mogą generować poprawę czasów pierwszych 15 m.

Zastosowane w niniejszej pracy pobudzenie mięśni kończyn dolnych nie wpłynęło w żaden sposób na czas pokonania pierwszych 15 m w porównaniu z tradycyjną rozgrzewką. Badania Kilduffa i wsp. (2011) wydają się potwierdzać te wyniki. Autorzy wykorzystali jako ćwiczenie aktywacyjne serię 3 przysiadów ze sztangą na barkach za głową, z obciążeniem 87% 1RM. Mimo, że Kilduff i wsp. wykorzystali równoległe ustawienie stóp podczas protokołu aktywacyjnego, a w niniejszej pracy ustawienie stóp było w wykroku, warto zaznaczyć, że w obu przypadkach skok startowy wykonywany był z platformy składającej się tylko z jednej płyty – bez podpory na tylnej nodze. Badania Cuenca Fernandeza i wsp. (2015a) wykazały istotną poprawę czasu pierwszych 15 m po stymulacji mięśni kończyn dolnych dwoma rodzajami protokołów aktywacyjnych, w których ustawienie stóp było w wykroku. Badani pływacy wykonywali skok startowy z nowej platformy OMEGA OSB11, dzięki której możliwe jest osiągnięcie przewagi czasowej w porównaniu do tradycyjnego bloku startowego. Wynika to głównie z większego udziału nogi tylnej w tworzeniu siły, a tym samym wzrostu prędkości poziomej w fazie lotu, a także pozwala uzyskać przewagę w zakresie stabilności i siły (Honda i wsp., 2010; Nomura i wsp., 2010; Slawson i wsp., 2013; Takeda i wsp., 2012). Gdy siła pozioma i ruch jest gwarantowana przez nacisk nogi tylnej na płytę, przednia kończyna dolna może w lepszy sposób wykorzystać prostowanie nogi w stawie kolanowym w celu tworzenia pionowej składowej siły odbicia (Cuenca-Fernandez i wsp., 2019).

W niniejszej pracy parametrem, który wskazywałby na zwiększenie siły poziomej odbicia podczas wykonywania skoku startowego była prędkość pozioma bioder w fazie lotu (HV). Przedstawione wyniki nie potwierdzają wzrostu tego parametru po żadnym z zastosowanych protokołów aktywacyjnych. Po wykonaniu pobudzenia mięśni kończyn dolnych oraz mięśni kończyn górnych odnotowano zmniejszenie prędkości poziomej w fazie lotu, odpowiednio o 3,07% oraz o 2,28%, natomiast po pobudzeniu mięśni kończyn dolnych i górnych prędkość

pozioma pozostała na tym samym poziomie co w badaniu kontrolnym. Warto zwrócić uwagę, że odnotowana wartość parametru HV była najwyższa po zastosowaniu protokołu na kończyny dolne i górne jednocześnie (4,58 m/s). Wyniki te są sprzeczne z badaniami Cuenca-Fernandeza i wsp. (2015b), w których autorzy wykazali istotne zwiększenie prędkości poziomej bioder w fazie lotu.

Podczas sygnału startowego, jako pierwsze reagują ramiona wykonując mocne pociągnięcie za słupek startowy i nadając pęd ciała w przód, potem kolejno noga tylna i noga przednia prostują się w stawach kolanowych (Maglisco, 2003, Rakowski, 2010). W niniejszych badaniach zawodnicy wykonywali skok startowy z platformy składającej się z jednej płyty, dlatego prawdopodobnie większy udział w tworzeniu siły odbicia przez tylną nogę miała składowa pionowa. Zastosowanie protokołu aktywacyjnego kończyn dolnych i górnych mogło spowodować lepsze wykorzystanie mięśni kończyn dolnych do wytworzenia poziomej składowej siły odbicia, po wcześniejszej mocnej reakcji mięśni kończyn górnych do wytworzenia początkowego pędu ciała pływaka.

Bardzo ważnym elementem skoku startowego, mającym wpływ na skrócenie czasu pokonania pierwszych 15 m jest czas odbicia (BT), czyli czas od sygnału startowego do utraty kontaktu stóp ze słupkiem startowym (Garcia-Hermoso i wsp., 2013). Szczególnie istotne jest skrócenie BT w konkurencjach sprinterskich, gdzie nierzadko 0,01 s decyduje o zwycięstwie bądź porażce. Wykazano również, że czasy odbicia są krótsze u elitarnych zawodników w porównaniu z zawodnikami prezentującymi poziom krajowy (Cossor i Mason, 2001; Papic i wsp., 2018; Vantorre i wsp., 2014).

W niniejszych badaniach wykazano istotne skrócenie czasu odbicia ( $p < 0,05$ ) po zastosowaniu wzbudzenia mięśni kończyn dolnych i górnych. Wyników tych nie potwierdzają badania Cuenca-Fernandeza i wsp. (2020), w których BT pozostało na tym samym poziomie po zastosowaniu obu rodzajów pobudzenia mięśniowego kończyn dolnych i górnych. Doniesienia Cuenca-Fernandeza i wsp. (2015a), w których zastosowano dwa rodzaje pobudzenia mięśni kończyn dolnych wykazały istotne skrócenie BT ( $p < 0,05$ ) po dodaniu do rozgrzewki serii przysiadów w pozycji wykroczonej, przy zastosowaniu koła zamachowego.

Wyścig na 50 m stylem dowolnym jest najkrótszą rozgrywaną konkurencją w programie najważniejszych imprez międzynarodowych rozgrywanych na pływalniach 25-metrowych. Charakteryzuje się dużą dynamiką wykonywanych ruchów pływackich, jak również elementów technicznych, takich jak start i nawrót, dlatego w tej konkurencji istnieje największa szansa na odniesienie korzyści z PAP. Wyniki badań przedstawione w niniejszej pracy mogą potwierdzać powyższe stwierdzenie, gdyż wykazały one istotne skrócenie czasu pokonania dystansu po

zastosowaniu pobudzenia mięśni kończyn górnych ( $p < 0,001$ ). Podobne wyniki zostały przedstawione w badaniach Dalamitrosa i wsp. (2018), w których badano wpływ różnego rodzaju rozgrzewek na rezultat w pływaniu na 50 m stylem dowolnym. Autorzy wykazali istotne ( $p < 0,034$ ) skrócenie czasu próby pływackiej po wykonaniu rozgrzewki, w której zastosowano ćwiczenia balistyczne i plajometryczne (odbicia piłką lekarską w dół, skręty tułowia z piłką lekarską oraz naskoki na skrzynię). Również w badaniach Hancocka i wsp. (2015) odnotowano istotną poprawę czasu pokonania dystansu sprinterskiego na 100 m stylem dowolnym. Jako ćwiczenie wzbudzające mięśnie wykorzystano urządzenie Power Rack do treningu oporowego w wodzie. Pływanie z dużym oporem może mieć jednak mniejsze zastosowanie podczas rywalizacji sportowej, a większe podczas treningu w celu odniesienia długoterminowych korzyści.

Mimo braku istotnych różnic w czasie pokonania 50 m stylem dowolnym po zastosowaniu pobudzenia kończyn dolnych oraz dolnych i górnych, warto zwrócić uwagę, że w każdym z tych przypadków odnotowano nieznaczną poprawę wyników, odpowiednio o 0,02 s oraz 0,16 s. Biorąc pod uwagę, że różnice między medalistami tej konkurencji na najważniejszych imprezach często są minimalne (złotego i srebrnego medalistę Igrzysk Olimpijskich w Rio de Janeiro 2016, dzieliła 0,01 s), każda poprawa wyniku wydaje się być istotna dla zawodnika.

Elementem, który również wpływa na końcowy wynik jest nawrót. Pereira i wsp. (2008) sugerują, że zdolność do wykonania szybkiego i efektywnego nawrotu jest niezbędnym warunkiem sukcesu w wyścigach pływackich. Istotnym elementem nawrotu jest faza odbicia od ściany, podczas której zawodnik prostuje energicznie nogi w stawach kolanowych i biodrowych w celu uzyskania dużej prędkości wyjściowej. Badania Araujo i wsp. (2010) wskazują na istotną korelację między pikiem mocy podczas odbicia, a końcowym czasem przebywania zawodnika w strefie nawrotowej. Podczas analizy wyścigu pływackiego strefa nawrotowa jest oznaczana od momentu minięcia głowy zawodnika 5 m przed ścianą nawrotową do 10 m po odbiciu od ściany (Kiendlie i wsp., 2006; Tor i wsp., 2014; Webster i wsp., 2011). Wyniki zaprezentowane w niniejszej pracy wykazały istotne skrócenie czasu przebywania zawodników w strefie nawrotowej po zastosowaniu ćwiczenia pobudzającego na kończyny dolne oraz kończyny dolne i górne ( $p < 0,05$ ), co miało znaczący wpływ na końcowy wynik. Jedyną pracą, która częściowo potwierdza niniejsze badania jest doniesienie Cuenca-Fernadeza i wsp. (2020), których po zastosowaniu 2 rodzajów pobudzenia mięśni kończyn dolnych i górnych odnotowano poprawę czasu 5 m po wykonaniu odbicia od ściany o 1,94% w porównaniu z tradycyjną rozgrzewką w wodzie.

Ważnym czynnikiem mogącym wpłynąć na wielkość efektu PAP jest długość przerwy wypoczynkowej po zastosowaniu ćwiczenia pobudzającego mięśnie. W niniejszej pracy dokonano określenia optymalnego czasu wypoczynku indywidualnie dla każdego z badanych pływaków, zarówno w odniesieniu do kończyn dolnych jak i górnych. Największa liczba zawodników uzyskała istotny wzrost generowanej mocy mięśniowej po zastosowaniu ćwiczenia wzbudzającego mięśnie po 6 i 8 min. Doniesienia Kilduffa i wsp. (2011) oraz Sarramiana i wsp. (2015), w których dokonano określenia indywidualnego czasu wypoczynku wydają się potwierdzać te wyniki. Również w badaniach Cuenca-Fernandeza i wsp. (2015a, 2019, 2020) zastosowano przerwy wypoczynkowe wynoszące 6 lub 8 min.

Badania i rozważania podjęte w tej pracy nie wyczerpują całokształtu problematyki związanej z wykorzystaniem zjawiska PAP w pływaniu. Wyniki przedstawione w niniejszym opracowaniu wskazują na możliwość odniesienia korzyści wynikających z PAP w pływaniu sprinterskim, jednak bardzo ważnym aspektem jest dobór właściwego ćwiczenia pobudzającego mięśnie, które będzie w jak najbardziej zbliżony sposób odwzorowywać ruchy pływaka podczas rywalizacji sportowej. Większość dostępnych badań skupia się jedynie na pływaniu kraulem na piersiach oraz wykonywaniu skoków startowych ze słupka, w szczególności fazie odbicia. Jest to prawdopodobnie związane z tym, że 50 m stylem dowolnym jest jedyną konkurencją olimpijską odbywającą się na tym dystansie, a kraul na piersiach jest najpopularniejszą techniką pływania. Biorąc pod uwagę, że najwięcej czasu podczas skoku startowego i nawrotu zawodnik spędza pod powierzchnią wody w fazie poślizgu, istotnym wydaje się podjęcie badań nad zwiększeniem efektywności delfinowej pracy nóg podczas wykonywania tych elementów. Naukowcy mają duże pole do badań nad efektem PAP w innych technikach pływania, jednak aby stworzyć odpowiedni protokół ćwiczeń pobudzających należy wnikliwie przeanalizować biomechanikę oraz aktywność mięśniową podczas wykonywania ruchów napędowych w poszczególnych technikach pływania.



## 7. Wnioski

Na podstawie zebranych w toku badań danych empirycznych dotyczących efektu PAP oraz analiz osiągniętych wyników sformułowano następujące wnioski:

1. Przeprowadzone badania nie wykazały skrócenia czasu pokonania pierwszych 15 m próby po zastosowaniu pobudzenia mięśniowego na kończyny dolne. Ćwiczenie aktywacyjne w postaci przysiadów w pozycji wykroczonej może nie być odpowiednią formą pobudzenia mięśni podczas wykonywania skoku z platformy startowej nie posiadającej podpory na tylną nogę, o czym świadczyć może zmniejszenie prędkości poziomej bioder w fazie lotu w porównaniu do skoku wykonanego po tradycyjnej rozgrzewce. Najwyższą skutecznością nasilenia efektu PAP w odniesieniu do czasu wykonania startu pływackiego odznaczało się pobudzenie mięśni kończyn górnych, co mogło być spowodowane zwiększeniem dynamiki pierwszych ruchów napędowych podczas przejścia z fazy poślizgu do pływania stylowego.
2. Zastosowanie pobudzenia mięśni kończyn górnych oraz dolnych i górnych pozwala na osiągnięcie istotnie wyższej częstotliwości pracy ramion w stylu dowolnym. Krótkoterminowa poprawa prędkości pływania wynika najczęściej ze zwiększenia SR podczas wyścigu, co sugeruje, że zastosowane ćwiczenia pobudzające mogą przynieść ergogeniczne korzyści w trakcie rywalizacji podczas zawodów. Uzyskane wyniki wskazują również, że wykorzystanie PAP może być przydatnym narzędziem treningowym, szczególnie u zawodników dysponujących mniejszą dynamiką ruchów napędowych ramion.
3. Największą poprawę wyniku na 50 m stylem dowolnym odnotowano po zastosowaniu pobudzenia mięśni kończyn górnych. Wpływ na to miało istotne skrócenie czasu przepłynięcia pierwszych 15 m oraz istotne zwiększenie częstotliwości pracy ramion na drugiej części dystansu, co spowodowało zwiększenie prędkości pływania. Warto zaznaczyć, że średnie czasy uzyskane na badanym dystansie, po zastosowaniu każdego rodzaju pobudzenia mięśniowego były krótsze niż w próbach kontrolnych, co świadczyć może o możliwości uzyskania korzyści z PAP w pływaniu w konkurencjach sprinterskich.
4. Zastosowane w badaniach pobudzenie mięśni kończyn górnych nie wpłynęło istotnie na wzrost prędkości pływania, a jedynie na zwiększenie wartości SR. W celu uzyskania większych korzyści z PAP w pływaniu stylem dowolnym (utrzymanie na

niezmienionym poziomie, bądź wydłużenie SL) konieczne jest zastosowanie wysoce specyficznego ćwiczenia, zgodnego z mechaniką fazy napędowej pracy ramion, podczas wzbudzenia mięśni kończyn górnych.

5. Uzyskane istotnie krótsze czasy przebywania zawodników w strefie nawrotowej po zastosowaniu pobudzenia mięśni kończyn dolnych oraz dolnych i górnych, wskazują na możliwość odniesienia korzyści podczas wykonywania tego elementu. Wykonanie serii przysiadów jako wzmocnienia mięśniowego przed konkurencją 50 m stylem dowolnym, może powodować zwiększenie mocy odbicia od ściany nawrotowej, a w konsekwencji wzrost prędkości w fazie poślizgu.

## Piśmiennictwo

1. Andrews, T. R., Mackey, T., Inkrott, T. A., Murray, S. R., Clark, I. E., & Pettitt, R. W. (2011). Effect of hang cleans or squats paired with countermovement vertical jumps on vertical displacement. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(9), 2448-2452.
2. Andzel, W. D. (1982). One mile run performance as a function of prior exercise. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 22(1), 80-84.
3. Araujo, L., Pereira, S., Gatti, R., Freitas, E., Jacomel, G., Roesler, H., & Villas-Boas, J. (2010). Analysis of the lateral push-off in the freestyle flip turn. *Journal of sports sciences*, 28(11), 1175-1181.
4. Arellano, R., Brown, P., Cappaert, J., & Nelson, R. C. (1994). Analysis of 50-, 100-, and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games. *Journal of applied biomechanics*, 10(2), 189-199.
5. Arnett, M. G. (2002). Effects of prolonged and reduced warm-ups on diurnal variation in body temperature and swim performance. *Journal of strength and conditioning research*, 16(2), 256-261.
6. Asmussen, E., & Bøje, O. (1945). Body temperature and capacity for work. *Acta Physiologica Scandinavica*, 10(1), 1-22.
7. Atkinson, G., & Reilly, T. (1996). Circadian variation in sports performance. *Sports medicine*, 21(4), 292-312.
8. Baker, D. (2001). A series of studies on the training of high-intensity muscle power in rugby league football players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(2), 198-209.
9. Balilionis, G., Nepocatyh, S., Ellis, C. M., Richardson, M. T., Neggers, Y. H., & Bishop, P. A. (2012). Effects of different types of warm-up on swimming performance, reaction time, and dive distance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(12), 3297-3303.
10. Bartkowiak E. (1995). Sportowa technika pływania, Biblioteka trenera, COS Warszawa.
11. Batista, M. A., Roschel, H., Barroso, R., Ugrinowitsch, C., & Tricoli, V. (2011). Influence of strength training background on postactivation potentiation response. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(9), 2496-2502.
12. Bevan, H. R., Cunningham, D. J., Tooley, E. P., Owen, N. J., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2010). Influence of postactivation potentiation on sprinting performance in professional rugby players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(3), 701-705.

13. Biel, K., Fischer, S., Kibele, A., Kjendlie, P., Stallman, R. K., & Cabri, J. (2010). Kinematic analysis of take-off performance in elite swimmers: New OSB11 versus traditional starting block. *Biomechanics and Medicine in Swimming XI*.
14. Bielec, G., & Makar, P. (2010). Variability in swimmers' individual kinematics parameters versus training loads. *Biology of Sport*, 27(2), 143.
15. Bishop, C., Cree, J., Read, P., Chavda, S., Edwards, M., & Turner, A. (2013). Strength and conditioning for sprint swimming. *Strength & Conditioning Journal*, 35(6), 1-6.
16. Bishop, D. (2003a). Warm up I: potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Sports Medicine*, 33(6), 439-454.
17. Bishop, D. (2003b). Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Medicine*, 33(7), 483-498.
18. Bishop, D., Bonetti, D., & Dawson, B. (2001). The effect of three different warm-up intensities on kayak ergometer performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6), 1026-1032.
19. Bishop, D., Smith, R. J., Smith, M. F., & Rigby, H. E. (2009). Effect of plyometric training on swimming block start performance in adolescents. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(7), 2137-2143.
20. Blanksby, B., Gathercole, D. G., & Marshall, R. N. (1996). Force plate and video analysis of the tumble turn by age-group swimmers. *The Journal of Swimming Research*, 11, 40-45.
21. Blanksby, B., Nicholson, L., & Elliott, B. (2002). Swimming: Biomechanical analysis of the grab, track and handle swimming starts: an intervention study. *Sports Biomechanics*, 1(1), 11-24.
22. Blanksby, B., Skender, S., Elliott, B., McElroy, K., & Landers, G. (2004). Swimming: An analysis of the rollover backstroke turn by age-group swimmers. *Sports Biomechanics*, 3(1), 1-14.
23. Breed, R. V., & Young, W. B. (2003). The effect of a resistance training programme on the grab, track and swing starts in swimming. *Journal of sports sciences*, 21(3), 213-220.
24. Brown, R. M., & Counsilman, J. E. (1971). The role of lift in propelling the swimmer. *Biomechanics*, 179-188.
25. Buchthal, F., Kaiser, E., & Knappeis, G. G. (1944). Elasticity, viscosity and plasticity in the cross striated muscle fibre. *Acta Physiologica Scandinavica*, 8(1), 16-37.

26. Burkett, B., Mellifont, R., & Mason, B. (2010). The influence of swimming start components for selected Olympic and Paralympic swimmers. *Journal of applied biomechanics*, 26(2), 134-141.
27. Caty, V., Aujouannet, Y., Hintzy, F., Bonifazi, M., Clarys, J. P., & Rouard, A. H. (2007). Wrist stabilisation and forearm muscle coactivation during freestyle swimming. *Journal of electromyography and kinesiology*, 17(3), 285-291.
28. Chatard, J. C., Collomp, C., Maglischo, E., & Maglischo, C. (1990). Swimming skill and stroking characteristics of front crawl swimmers. *International journal of sports medicine*, 11(2), 156.
29. Chatterjee, S., & Laudato, M. (1996). An analysis of world record times of men and women in running, skating, and swimming. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 10(4), 274-278.
30. Chatzopoulos, D. E., Michailidis, C. J., Giannakos, A. K., Alexiou, K. C., Patikas, D. A., Antonopoulos, C. B., & Kotzamanidis, C. M. (2007). Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1278-1281.
31. Chiu, L. Z., Fry, A. C., Weiss, L. W., Schilling, B. K., Brown, L. E., & Smith, S. L. (2003). Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *Journal of strength and conditioning research*, 17(4), 671-677.
32. Chmura J. (2014) Rozgrzewka. Podstawy fizjologiczne i zastosowanie praktyczne. PZWL Wydawnictwo, Warszawa, wyd. 1.
33. Chollet, D., Chabies, S., & Chatard, J. C. (2000). A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *International journal of sports medicine*, 21(01), 54-59.
34. Chow, J. W. C., Hay, J. G., Wilson, B. D., & Imel, C. (1984). Turning techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 2(3), 241-255.
35. Cissik, J. M. (2004). Means and methods of speed training, part I. *Strength & Conditioning Journal*, 26(4), 24-29.
36. Clothier, P. J., McElroy, G. K., Blanksby, B. A., & Payne, W. (2000). Traditional and modified exits following freestyle tumble turns by skilled swimmers. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 22(1), 41-55.
37. Comyns, T. M., Harrison, A. J., Hennessy, L. K., & Jensen, R. L. (2006). The optimal complex training rest interval for athletes from anaerobic sports. *Journal of strength and conditioning research*, 20(3), 471-476.

38. Cossor, J., & Mason, B. (2001). Swim start performances at the Sydney 2000 Olympic Games. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
39. Costill, D. L., Daniels, J., Evans, W., Fink, W., Krahenbuhl, G., & Saltin, B. (1976). Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *Journal of applied physiology*, *40*(2), 149-154.
40. Costill, D. L., Maglischo, E. W. & Richardson, A. B. (1992). Handbook of sports medicine and science: Swimming (Vol. 1). *Blackwell Publishing*.
41. Costill, D. L., Thomas, R., Robergs, R. A., Pascoe, D., Lambert, C., Barr, S., & Fink, W. J. (1991). Adaptations to swimming training: Influence of training volume. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *23*(3), 371-377.
42. Craig, A. B., & Pendergast, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and science in sports and exercise*, *11*(3), 278-283.
43. Craig, A. B., Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A., & Boomer, W. L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and science in sports and exercise*, *17*(6), 625-634.
44. Cuenca-Fernández, F., López-Contreras, G., & Arellano, R. (2015a). Effect on swimming start performance of two types of activation protocols: lunge and YoYo squat. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *29*(3), 647-655.
45. Cuenca-Fernández, F., Taladriz, S., López-Contreras, G., de la de la Fuente, B., Argüelles, J., & Arellano, R. (2015b). Relative force and PAP in swimming start performance. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
46. Cuenca-Fernández, F., López-Contreras, G., Mourão, L., de Jesus, K., de Jesus, K., Zacca, R., ... & Arellano, R. (2019). Eccentric flywheel post-activation potentiation influences swimming start performance kinetics. *Journal of Sports Sciences*, *37*(4), 443-451.
47. Cuenca-Fernández, F., Ruiz-Teba, A., López-Contreras, G., & Arellano, R. (2020). Effects of 2 types of activation protocols based on postactivation potentiation on 50-m freestyle performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *34*(11), 3284-3292.
48. Czabański, B., Fiłon, M., Zatoń, K. (2003) Elementy teorii pływania. AWF Wrocław. Wyd. IV.
49. Dalamitros, A. A., Vagios, A., Toubekis, A. G., Tsalis, G., Clemente-Suarez, V. J., & Manou, V. (2018) The effect of two additional dry-land active warm-up protocols on the 50-m front-crawl swimming performance. *Human Movement*, *19*(3), 75-81.

50. Dawson, B., Goodman, C., Lawrence, S., Preen, D., Polglaze, T., Fitzsimons, M., & Fournier, P. (1997). Muscle phosphocreatine repletion following single and repeated short sprint efforts. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 7(4), 206-213.
51. Deschodt, V. J., Arsac, L. M., & Rouard, A. H. (1999). Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 80(3), 192-199.
52. De Vries, H. A. (1959). Effects of various warm-up procedures on 100-yard times of competitive swimmers. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 30(1), 11-20.
53. Docherty, D., & Hodgson, M. J. (2007). The application of postactivation potentiation to elite sport. *International journal of sports physiology and performance*, 2(4), 439-444.
54. Docherty, D., Robbins, D., & Hodgson, M. (2004). Complex training revisited: A review of its current status as a viable training approach. *Strength and Conditioning Journal*, 26(6), 52-57.
55. Dolan, P., Greig, C., & Sargeant, A. J. (1985). Effect of active and passive warm-up on maximal short-term power output of human-muscle. *Journal of physiology*, 365, 74-74.
56. Dolan, P., & Sargeant, A. J. (1984). Maximal short-term (anaerobic) power output following submaximal exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 5(1), 133-134.
57. Drozdowski, Z. (1998). *Antropometria w wychowaniu fizycznym*. Akademia Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu.
58. Dziembała L. (1975): *Podstawy statystyki*. Akademia Ekonomiczna, Katowice.
59. East, D. J. (1970). Swimming: an analysis of stroke frequency, stroke length and performance. *New Zealand Journal of Health. Physical Education and Recreation*, 3, 16-27.
60. Ebben, W. P. (2006). A brief review of concurrent activation potentiation: theoretical and practical constructs. *Journal of strength and Conditioning Research*, 20(4), 985.
61. Eknoyan, G. (2008). Adolphe Quetelet (1796–1874)—the average man and indices of obesity. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 23(1), 47-51.
62. Elipot, M., Hellard, P., Taïar, R., Boissière, E., Rey, J. L., Lecat, S., & Houel, N. (2009). Analysis of swimmers' velocity during the underwater gliding motion following grab start. *Journal of biomechanics*, 42(9), 1367-1370.
63. Esformes, J. I., Cameron, N., & Bampouras, T. M. (2010). Postactivation potentiation following different modes of exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(7), 1911-1916.

64. Farup, J., & Sørensen, H. (2010). Postactivation potentiation: upper body force development changes after maximal force intervention. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(7), 1874-1879.
65. Febbraio, M. A., Carey, M. F., Snow, R. J., Stathis, C. G., & Hargreaves, M. (1996). Influence of elevated muscle temperature on metabolism during intense, dynamic exercise. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 271(5), R1251-R1255.
66. Fink, W. J., Costill, D. L., & Van Handel, P. J. (1975). Leg muscle metabolism during exercise in the heat and cold. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 34(1), 183-190.
67. Fradkin, A. J., Zazryn, T. R., & Smoliga, J. M. (2010). Effects of warming-up on physical performance: a systematic review with meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(1), 140-148.
68. Garcia-Hermoso, A., Escalante, Y., Arellano, R., Navarro, F., Domínguez, A. M., & Saavedra, J. M. (2013). Relationship between final performance and block times with the traditional and the new starting platforms with a back plate in international swimming championship 50-m and 100-m freestyle events. *Journal of Sports Science & Medicine*, 12(4), 698-706.
69. Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports medicine*, 31(10), 725-741.
70. Gerbino, A., Ward, S. A., & Whipp, B. J. (1996). Effects of prior exercise on pulmonary gas-exchange kinetics during high-intensity exercise in humans. *Journal of applied physiology*, 80(1), 99-107.
71. Gołaś, A., Maszczyk, A., Zajac, A., Mikołajec, K., & Stastny, P. (2016). Optimizing post activation potentiation for explosive activities in competitive sports. *Journal of human kinetics*, 52(1), 95-106.
72. Gołąb, S., & Chrzanowska, M. (2010). *Przewodnik do ćwiczeń z antropologii*. Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha (Kraków).
73. Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G., & Garas, A. (2003). Effect of a submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(2), 342-344.
74. Grodjinovsky, A., & Magel, J. R. (1970). Effect of warm-up on running performance. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 41(1), 116-119.



75. Güllich, A., & Schmidtbleicher, D. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New studies in athletics*, 11, 67-84.
76. Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of applied physiology*, 88(6), 2131-2137.
77. Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2003). Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta physiologica scandinavica*, 178(2), 165-173.
78. Hancock, A. P., Sparks, K. E., & Kullman, E. L. (2015). Postactivation potentiation enhances swim performance in collegiate swimmers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(4), 912-917.
79. Hanson, E. D., Leigh, S., & Mynark, R. G. (2007). Acute effects of heavy-and light-load squat exercise on the kinetic measures of vertical jumping. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1012-1017.
80. Harman, E. (2008). Principles of test selection and administration. W: Baechle, T., Earle, R., & Wathen, D. (red.) *Essentials of Strength Training and Conditioning 3rd ed.* Champaign, IL: Human Kinetics, 381-412.
81. Hawley, J. A., Williams, M. M., Hamling, G. C., & Walsh, R. M. (1989). Effects of a task-specific warm-up on anaerobic power. *British Journal of Sports Medicine*, 23(4), 233-236.
82. Hay, J. G., Guimaraes, A. C. S., & Grimston, S. K. (1983). A quantitative look at swimming biomechanics. *Swimming technique*, 20(2), 11-17.
83. Hay, J. G., Liu, Q., & Andrews, J. G. (1993). Body roll and handpath in freestyle swimming: A computer simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*, 9(3), 227-237.
84. Hilfiker, R., Hübner, K., Lorenz, T., & Marti, B. (2007). Effects of drop jumps added to the warm-up of elite sport athletes with a high capacity for explosive force development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 550.
85. Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Medicine*, 35(7), 585-596.
86. Honda, K. E., Sinclair, P. J., Mason, B. R., & Pease, D. L. (2010). A biomechanical comparison of elite swimmers start performance using the traditional track start and the new kick start. In *XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming* (Vol. 11, pp. 94-96).

87. Honda, K., Sinclair, P., Mason, B., & Pease, D. (2012). The effect of starting position on elite swim start performance using an angled kick plate. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
88. Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3–13.
89. Houmard, J. A., Johns, R. A., Smith, L. L., Wells, J. M., Kobe, R. W., & McGoogan, S. A. (1991). The effect of warm-up on responses to intense exercise. *International journal of sports medicine*, 12(05), 480-483.
90. Houston, M. E., Lingley, M. D., Stuart, D. S., & Grange, R. W. (1987). Myosin light chain phosphorylation in intact human muscle. *FEBS letters*, 219(2), 469-471.
91. Hubert, M., Silveira, G. A., Freitas, E., Pereira, S., & Roesler, H. (2006). Speed variation analysis before and after the beginning of the stroke in swimming starts. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6, 44-45.
92. Jensen, C. R. (1963). Effects of five training combinations of swimming and weight training on swimming the front crawl. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 34(4), 471-477.
93. Juarez Santos-Garcia, D., Gonzalez-Rave, J. M., Legaz Arrese, A., Portillo Yabar, L. J., Clemente Suarez, V. J., & Newton, R. U. (2013). Acute effects of two resisted exercises on 25~ m swimming performance. *Isokinetics and Exercise Science*, 21(1), 29-35.
94. Jubeau, M., Gondin, J., Martin, A., Van Hoecke, J., & Maffiuletti, N. A. (2010). Differences in twitch potentiation between voluntary and stimulated quadriceps contractions of equal intensity. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(1), 56-62.
95. Karlsson, J., Diamant, B., & Saltin, B. (1970). Muscle metabolites during submaximal and maximal exercise in man. *Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation*, 26(4), 385-394.
96. Karpiński, J., Gołaś, A. (2018) Pływacki atlas ćwiczeń na lądzie. *Kraków, AKNET-PRess*
97. Karpiński, R. (2016) Pływanie. Podstawy techniki. Nauczanie. Katowice.
98. Karvonen, J. (1992). Importance of warm-up and cool down on exercise performance. In *Medicine in sports training and coaching* (Vol. 35, pp. 189-214). Karger Publishers.
99. Kennedy, P., Brown, P., Chengalur, S. N., & Nelson, R. C. (1990). Analysis of male and female Olympic swimmers in the 100-meter events. *Journal of Applied Biomechanics*, 6(2), 187-197.

100. Kjendlie, P. L., Haljand, R., Fjortoft, O., & Stallman, R. K. (2006). The temporal distribution of race elements in elite swimmers. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6(2 Suppl), 54-56.
101. Kilduff, L. P., Bevan, H. R., Kingsley, M. I., Owen, N. J., Bennett, M. A., Bunce, P. J., ... & Cunningham, D. J. (2007). Postactivation potentiation in professional rugby players: Optimal recovery. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1134-1138.
102. Kilduff, L. P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M. I., & Cunningham, D. (2008). Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *Journal of sports sciences*, 26(8), 795-802.
103. Kilduff, L. P., Cunningham, D. J., Owen, N. J., West, D. J., Bracken, R. M., & Cook, C. J. (2011). Effect of postactivation potentiation on swimming starts in international sprint swimmers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(9), 2418-2423.
104. Koga, S., Shiojiri, T., Kondo, N., & Barstow, T. J. (1997). Effect of increased muscle temperature on oxygen uptake kinetics during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 83(4), 1333-1338.
105. Lerda, R., Cardelli, C., & Chollet, D. (2001). Analysis of the interactions between breathing and arm actions in the front crawl. *Journal of Human Movement Studies*, 40(2), 129-144.
106. Lewillie, L. (1973). Muscular activity in swimming. In *Biomechanics III* (Vol. 8, pp. 440-445). Karger Publishers.
107. Linder, E. E., Prins, J. H., Murata, N. M., Derenne, C., Morgan, C. F., & Solomon, J. R. (2010). Effects of preload 4 repetition maximum on 100-m sprint times in collegiate women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1184-1190.
108. Lyttle, A. D., Blanksby, B. A., Elliot, B. C., & Lloyd, D. G. (1998). The effect of depth and velocity on drag during the streamlined glide. *Journal of Swimming Research*, 13, 15-22.
109. Lyttle, A. D., Blanksby, B. A., Elliott, B. C., & Lloyd, D. G. (2000). Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. *Journal of Sports Sciences*, 18(10), 801-807.
110. Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest*. Human kinetics.
111. Maglischo, C. W., Maglischo, E. W., Higgins, J., Hinrichs, R., Luedtke, D., Schleihauf, R. E., & Thayer, A. (1988). A biomechanical analysis of the 1984 US Olympic freestyle distance swimmers. *Swimming science V*, 351-359.

112. Margaria, R., Di Prampero, P. E., Aghemo, P., Derevenco, P., & Mariani, M. (1971). Effect of a steady-state exercise on maximal anaerobic power in man. *Journal of Applied Physiology*, 30(6), 885-889.
113. Mason, B., & Cossor, J. (2001). Swim turn performances at the Sydney 2000 Olympic Games. *In ISBS-Conference Proceedings Archive*.
114. Massey, B. H., Johnson, W. R., & Kramer, G. F. (1961). Effect of warm-up exercise upon muscular performance using hypnosis to control the psychological variable. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 32(1), 63-71.
115. Matthews, M., & Comfort, P. (2008). Applying complex training principles to boxing: A practical approach. *Strength & Conditioning Journal*, 30(5), 12-15.
116. Matthews, M. J., Comfort, P., & Crebin, R. (2010). Complex training in ice hockey: the effects of a heavy resisted sprint on subsequent ice-hockey sprint performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(11), 2883-2887.
117. McBride, J. M., Nimphius, S., & Erickson, T. M. (2005). The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), 893.
118. McCann, M. R., & Flanagan, S. P. (2010). The effects of exercise selection and rest interval on postactivation potentiation of vertical jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1285-1291.
119. McCutcheon, L. J., Geor, R. J., & Hinchcliff, K. W. (1999). Effects of prior exercise on muscle metabolism during sprint exercise in horses. *Journal of Applied Physiology*, 87(5), 1914-1922.
120. McGowan, C. J., Thompson, K. G., Pyne, D. B., Raglin, J. S., & Rattray, B. (2016). Heated jackets and dryland-based activation exercises used as additional warm-ups during transition enhance sprint swimming performance. *Journal of Science and medicine in sport*, 19(4), 354-358.
121. Miller, T. A., White, E. D., Kinley, K. A., Congleton, J. J., & Clark, M. J. (2002). The effects of training history, player position, and body composition on exercise performance in collegiate football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 44-49.
122. Millet, G. P., Chollet, D., Chalies, S., & Chatard, J. C. (2002). Coordination in front crawl in elite triathletes and elite swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 23(02), 99-104.

123. Mitchell, C. J., & Sale, D. G. (2011). Enhancement of jump performance after a 5-RM squat is associated with postactivation potentiation. *European journal of applied physiology*, 111(8), 1957-1963.
124. Miyashita, M. (1975). Arm action in the crawl stroke. *Swimming II*, 2, 167-73.
125. Miyashita, M., & Kanehisa, H. (1979). Dynamic peak torque related to age, sex, and performance. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance*, 50(2), 249-255.
126. Monteil, K. M., Rouard, A. H., Dufour, A. B., Cappaert, J. M., & Troup, J. P. (1996). Swimmers' shoulder: EMG of the rotators during a flume test. *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*, 83-89.
127. Moore, R. L., & Stull, J. T. (1984). Myosin light chain phosphorylation in fast and slow skeletal muscles in situ. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 247(5), 462-471.
128. Nadel, E. R. (1987). Prolonged exercise and high and low ambient temperatures. *Can J Sport Sci*, 12(3 Suppl 1), 140-142.
129. Naemi, R., Easson, W. J., & Sanders, R. H. (2010). Hydrodynamic glide efficiency in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(4), 444-451.
130. Naemi, R., & Sanders, R. H. (2008). A "hydrokinematic" method of measuring the glide efficiency of a human swimmer. *Journal of biomechanical engineering*, 130(6), 10-16.
131. Neiva, H. P., Marques, M. C., Fernandes, R. J., Viana, J. L., Barbosa, T. M., & Marinho, D. A. (2014). Does warm-up have a beneficial effect on 100-m freestyle?. *International journal of sports physiology and performance*, 9(1), 145-150.
132. Neiva, H. P., Marques, M. C., Barbosa, T. M., Izquierdo, M., Viana, J. L., & Marinho, D. A. (2017). Effects of 10 min vs. 20 min passive rest after warm-up on 100 m freestyle time-trial performance: A randomized crossover study. *Journal of science and medicine in sport*, 20(1), 81-86.
133. Nicol, K., & Kruger, F. (1979). Impulse exerted in performing several kinds of swimming turns. *Swimming III*, 222-232.
134. Nomura, T., Takeda, T., & Takagi, H. (2010). Influences of the back plate on competitive swimming starting motion in particular projection skill. In *XIth International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming*, 135-137.
135. Nosiadek, L., & Nosiadek, A. (2016). Różnice w skoku startowym techniką grab i track na podstawie analizy kinematycznej fazy lotu pływaków. *Roczniki Naukowe Wyższej Szkoły Wychowania Fizycznego i Turystyki w Białymstoku*, 1(15), 75-82.

136. Nugent, F., Comyns, T., Kearney, P., & Warrington, G. (2019). Ultra-Short Race-Pace Training (USRPT) In Swimming: Current Perspectives. *Open Access Journal of Sports Medicine, 10*, 133.
137. Özyener, F., Rossiter, H. B., Ward, S. A., & Whipp, B. J. (2001). Influence of exercise intensity on the on-and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. *The Journal of physiology, 533*(3), 891-902.
138. Pai, Y. C., Hay, J. G., & Wilson, B. D. (1984). Stroking techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Sciences, 2*(3), 225-239.
139. Papic, C., Sinclair, P., Fornusek, C., & Sanders, R. (2018). The effect of auditory stimulus training on swimming start reaction time. *Sports biomechanics, 18*(4), 378-389.
140. Pereira, S., Ruschel, C., & Araujo, L. G. (2006). Biomechanical analysis of the underwater phase in swimming starts. *Portuguese Journal of Sport Sciences, 6*, 79-81.
141. Pereira, S., Vilar, S., Goncaves, P., Figueiredo, P., Fernandes, R., Roesler, H., & Vilas-Boas, J. P. (2008). A combined biomechanical analysis of the flip turn technique. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
142. Pichon, F., Chatard, J. C., Martin, A., & Cometti, G. (1995). Electrical stimulation and swimming performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 27*(12), 1671-1676.
143. Pink, M., Perry, J., Browne, A., Scovazzo, M. L., & Kerrigan, J. (1991). The normal shoulder during freestyle swimming: an electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles. *The American Journal of Sports Medicine, 19*(6), 569-576.
144. Pyne, D. B., & Sharp, R. L. (2014). Physical and energy requirements of competitive swimming events. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism, 24*(4), 351-359.
145. Radcliffe, J. C., & Osternig, L. R. (1995). Effects on performance of variable eccentric loads during depth jumps. *Journal of Sport Rehabilitation, 4*(1), 31-41.
146. Radcliffe, J. C., & Radcliffe, J. L. (1996). Effects of different warm-up protocols on peak power output during a single response jump task. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 28*(5), 189.
147. Rakowski, M. (2010). Sportowy trening pływacki. *Londyn, Maciej Rakowski*.
148. Ratamess, N. A. (2008). Adaptations to anaerobic training programs. *Essentials of strength training and conditioning, 3*, 94-119.
149. Requena, B., Gapeyeva, H., García, I., Erelina, J., & Pääsuke, M. (2008). Twitch potentiation after voluntary versus electrically induced isometric contractions in human knee extensor muscles. *European journal of applied physiology, 104*(3), 463.

150. Rixon, K. P., Lamont, H. S., & Bemben, M. G. (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 500-505.
151. Robbins, D. W. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: A brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 453.
152. Robbins, D. W., & Docherty, D. (2005). Effect of loading on enhancement of power performance over three consecutive trials. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(4), 898-902.
153. Robbins, D. W., Young, W. B., Behm, D. G., & Payne, W. R. (2009). Effects of agonist-antagonist complex resistance training on upper body strength and power development. *Journal of sports sciences*, 27(14), 1617-1625.
154. Ross, A., & Leveritt, M. (2001). Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training. *Sports medicine*, 31(15), 1063-1082.
155. Rouard, A. H., & Clarys, J. P. (1995). Cocontraction in the elbow and shoulder muscles during rapid cyclic movements in an aquatic environment. *Journal of electromyography and kinesiology*, 5(3), 177-183.
156. Rushall, B. S. (2014). Warming-up in USRPT. *Swim Sci Bull*, 51, 1-18.
157. Sargeant, A. J., & Dolan, P. (1987). Effect of prior exercise on maximal short-term power output in humans. *Journal of Applied Physiology*, 63(4), 1475-1480.
158. Sarramian, V. G., Turner, A. N., & Greenhalgh, A. K. (2015). Effect of postactivation potentiation on fifty-meter freestyle in national swimmers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(4), 1003-1009.
159. Schleihau, R. E. (1979). A hydrodynamic analysis of swimming propulsion. *Swimming*, 70-109.
160. Schleihau, R.E., Gray, L., de Rose, J., (1983). Three-dimensional analysis of hand propulsion in the sprint front crawl stroke. Hollander A.P., Huijing P.A., Groot G. de (eds) *Biomechanics and Medicine in Swimming. International Series on Sports Sciences, vol. 14.* Human Kinetics. Champaign, Ill., 173-183.
161. Schleihau, R. E., Higgins, J., Hinricks, R., Luedtke, D., Maglischo, C. W., & Maglischo, E. W. (1986). Models of aquatic skill sprint front crawl. *New Zealand Journal of Sports Medicine*, 1, 7-12.
162. Schleihau R.E., Higgins J.R., Hinricks R., Luedtke D., Maglischo C. W., Maglischo E. W., Tayer A. (1988) Propulsive technique: front crawl stroke, butterfly, backstroke and

- breaststroke. Ungerecht B.E., Wilke K., Reischle K. (eds), *Swimming Science V. Human Kinetics*, Champaign, Ill., 53-59.
163. Schmidtbleicher, D., Buehrle M. (1987). Neuronal adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. *Biomechanics XB*. B. Jonsson, ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 615–620.
164. Schnitzler, C., Seifert, L., Alberty, M., & Chollet, D. (2010). Hip velocity and arm coordination in front crawl swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 31(12), 875-881.
165. Seifert, L., Chollet, D., & Bardy, B. G. (2004). Effect of swimming velocity on arm coordination in the front crawl: a dynamic analysis. *Journal of sports sciences*, 22(7), 651-660.
166. Sharp, R. L., Troup, J. P., & Costill, D. L. (1982). Relationship between power and sprint freestyle swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(1), 53-56.
167. Siri, W. E. (1961). Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. *Techniques for measuring body composition*, 61, 223-244.
168. Slawson, S. E., Conway, P. P., Cossor, J., Chakravorti, N., & West, A. A. (2013). The categorisation of swimming start performance with reference to force generation on the main block and footrest components of the Omega OSB11 start blocks. *Journal of Sports Sciences*, 31(5), 468-478.
169. Smith, J. C., Fry, A. C., Weiss, L. W., Li, Y., & Kinzey, S. J. (2001). The effects of high-intensity exercise on a 10-second sprint cycle test. *Journal of strength and conditioning research*, 15(3), 344.
170. Sozański, H., Siewierski, M., & Adamczyk, J. (2010). Indywidualizacja treningu, specyfika treningu indywidualnego. *Rocznik Naukowy*, 5.
171. Stewart, I. B., & Sleivert, G. G. (1998). The effect of warm-up intensity on range of motion and anaerobic performance. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 27(2), 154-161.
172. Stone, M. H., Sands, W. A., Pierce, K. C., Ramsey, M. W., & Haff, G. G. (2008). Power and power potentiation among strength–power athletes: preliminary study. *International journal of sports physiology and performance*, 3(1), 55-67.
173. Takeda, T., Takagi, H., & Tsubakimoto, S. (2012). Effect of inclination and position of new swimming starting block's back plate on track-start performance. *Sports Biomechanics*, 11(3), 370-381.



174. Taladriz, S., de la Fuente-Caynzos, B., & Arellano, R. (2016). Analysis of angular momentum effect on swimming kick-start performance. *Journal of Biomechanics*, 49(9), 1789-1793.
175. Tanaka, H., Costill, D. L., Thomas, R., Fink, W. J., & Widrick, J. J. (1993). Dry-land resistance training for competitive swimming. *Medicine and science in sports and exercise*, 25(8), 952.
176. Thompson, H. L., & Stull, G. A. (1959). Effects of various training programs on speed of swimming. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 30(4), 479-485.
177. Thow, J. L., Naemi, R., & Sanders, R. H. (2012). Comparison of modes of feedback on glide performance in swimming. *Journal of sports sciences*, 30(1), 43-52.
178. TIBCO Software Inc. (2017). Statistica (data analysis software system), version 13. <http://statistica.io>.
179. Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports medicine*, 39(2), 147-166.
180. Tor, E., Pease, D., & Ball, K. (2014a). Characteristics of an elite swimming start. In *Biomechanics and Medicine in Swimming Conference*, Vol. 1, 257-263.
181. Tor, E., Pease, D. L., & Ball, K. (2014b). Comparing three underwater trajectories of the swimming start. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(6), 725-729.
182. Tor, E., Pease, D. L., Ball, K. A., & Hopkins, W. G. (2014). Monitoring the effect of race-analysis parameters on performance in elite swimmers. *International journal of sports physiology and performance*, 9(4), 633-636.
183. Tor, E., Pease, D. L., & Ball, K. A. (2015). How does drag affect the underwater phase of a swimming start?. *Journal of applied biomechanics*, 31(1), 8-12.
184. Tourny-Chollet, C., Chollet, D., Hogie, S., & Pappardopoulos, C. (2002). Kinematic analysis of butterfly turns of international and national swimmers. *Journal of sports sciences*, 20(5), 383-390.
185. Toussaint, H. M., Beelen, A., Rodenburg, A., Sargeant, A. J., de Groot, G., Hollander, A. P., & van Ingen Schenau, G. J. (1988). Propelling efficiency of front-crawl swimming. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 65(6), 2506-2512.
186. Trzaskoma, Z. Trzaskoma, L. (2001). Kompleksowe zwiększanie siły miesniowej sportowcow. Warszawa: Centralny Ośrodek Sportu.

187. Vandenoorn, R., & Houston, M. E. (1996). Phosphorylation of myosin and twitch potentiation in fatigued skeletal muscle. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 74(12), 1315-1321.
188. Vandervoort, A. A., Quinlan, J., & McComas, A. J. (1983). Twitch potentiation after voluntary contraction. *Experimental neurology*, 81(1), 141-152.
189. Vantorre, J., Seifert, L., Fernandes, R. J., Boas, J. V., & Chollet, D. (2010). Comparison of grab start between elite and trained swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 31(12), 887-893.
190. Vantorre, J., Chollet, D., & Seifert, L. (2014). Biomechanical analysis of the swim-start: a review. *Journal of sports science & medicine*, 13(2), 223-231.
191. Veiga, S., Mallo, J., Navandar, A., & Navarro, E. (2014). Effects of different swimming race constraints on turning movements. *Human Movement Science*, 36, 217-226.
192. Wakayoshi, K., Yoshida, T., Ikuta, Y., Mutoh, Y., & Miyashita, M. (1993). Adaptations to six months of aerobic swim training. *International Journal of Sports Medicine*, 14(07), 368-372.
193. Weber, K. R., Brown, L. E., Coburn, J. W., & Zinder, S. M. (2008). Acute effects of heavy-load squats on consecutive squat jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 726-730.
194. Webster, J. M., West, A., Conway, P., & Cain, M. (2011). Development of a pressure sensor for swimming turns. *Procedia Engineering*, 13, 126-132.
195. Waddingham, D. P., Millyard, A., Patterson, S. D., & Hill, J. (2019). Effect of ballistic potentiation protocols on elite sprint swimming: optimizing performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*.
196. Welcher, R. L., Hinrichs, R. N., & George, T. R. (2008). Front-or rear-weighted track start or grab start: Which is the best for female swimmers?. *Sports biomechanics*, 7(1), 100-113.
197. West, D. J., Dietzig, B. M., Bracken, R. M., Cunningham, D. J., Crewther, B. T., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2013). Influence of post-warm-up recovery time on swim performance in international swimmers. *Journal of science and medicine in sport*, 16(2), 172-176.
198. Withers, R. T., Craig, N. P., Bourdon, P. C., & Norton, K. I. (1987). Relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(2), 191-200.
199. Witmer, C. A., Davis, S. E., & Moir, G. L. (2010). The acute effects of back squats on vertical jump performance in men and women. *Journal of sports science & medicine*, 9(2), 206-213.

200. Wright, V. (1973). Stiffness: a review of its measurement and physiological importance. *Physiotherapy*, 59(4), 107-111.
201. Wright, V., & Johns, R. J. (1961). Quantitative and qualitative analysis of joint stiffness in normal subjects and in patients with connective tissue diseases. *Annals of the rheumatic diseases*, 20(1), 36.
202. Xenofondos, A., Laparidis, K., Kyranoudis, A., Galazoulas, C., Bassa, E., & Kotzamanidis, C. (2010). Post-activation potentiation: Factors affecting it and the effect on performance. *Journal of Physical Education and Sport*, 28(3), 32.
203. Yanai, T. (2001). What causes the body to roll in front-crawl swimming?. *Journal of Applied Biomechanics*, 17(1), 28-42.
204. Yanai, T. (2003). Stroke frequency in front crawl: its mechanical link to the fluid forces required in non-propulsive directions. *Journal of Biomechanics*, 36(1), 53-62.
205. Young, W. (1993). Training for speed/strength: heavy vs. light loads. *Strength & Conditioning Journal*, 15(5), 34-43.
206. Young, W. B., Jenner, A., & Griffiths, K. (1998). Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 12(2), 82-84.
207. Zhi, G., Ryder, J. W., Huang, J., Ding, P., Chen, Y., Zhao, Y., Kamm, K. E. & Stull, J. T. (2005). Myosin light chain kinase and myosin phosphorylation effect frequency-dependent potentiation of skeletal muscle contraction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(48), 17519-17524.
208. Zochowski, T., Johnson, E., & Sleivert, G. G. (2007). Effects of varying post-warm-up recovery time on 200-m time-trial swim performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(2), 201-211.

## Streszczenie

**Wstęp:** Podczas rywalizacji sportowej często setne części sekundy decydują o zwycięstwie lub porażce, dlatego odpowiednio przeprowadzona rozgrzewka bezpośrednio przed startem może mieć ogromny wpływ na końcowy sukces. Coraz popularniejsze wśród trenerów pływania jest stosowanie ćwiczeń siłowych podczas rozgrzewki, zarówno przed treningami jak i zawodami, szczególnie w konkurencjach sprinterskich. Koncepcją, która daje podstawy do takiego działania jest zjawisko wzmocnienia po-aktywacyjnego (PAP), czyli krótkotrwałego zwiększenia wydajności aparatu kostno-stawowo-mięśniowego po wykonaniu ćwiczeń o wysokiej intensywności.

**Cel badań:** Celem pracy jest ocena wpływu wzmocnienia po-aktywacyjnego mięśni kończyn górnych i dolnych na efektywność wykonania skoku startowego oraz zmienność kinematycznych parametrów techniki pływania wśród zawodników wysokiej klasy.

**Metody:** W badaniach uczestniczyło 16 pływaków (mężczyzn) sekcji sportowej AZS AWF Katowice (wiek  $20,2 \pm 1,28$  lat, masa ciała  $83,5 \pm 9,26$  kg, wysokość ciała  $185,8 \pm 6,86$  cm, zawartość tkanki tłuszczowej  $9,9 \pm 3,56$  %), którzy legitymowali się co najmniej II klasą sportową (FINA = 732 pkt.). Wszyscy uczestnicy wyrazili pisemną zgodę na udział w badaniach. Na przeprowadzenie badań uzyskano zgodę Uczelnianej Komisji Bioetycznej przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach. Każdorazowo stosując zasadę randomizacji, pływacy byli podzieleni na dwie grupy: eksperymentalną oraz kontrolną. Zawodnicy z grupy eksperymentalnej, oprócz standardowej rozgrzewki na lądzie oraz w wodzie, wykonywali także ćwiczenia ruchowe mające na celu aktywację wybranych grup mięśniowych uwzględniając: 1) kończyny górne (przyciąganie linek wyciągu na тренаżerze Keiser Functional Trainer w leżeniu przodem na ławce skośnej), 2) kończyny dolne (przysiad w pozycji wykroczonej na тренаżerze Keiser Squat), 3) zarówno kończyny górne jak i dolne. Badani wykonywali w odstępach jednonminutowych 3 serie składające się z 6 powtórzeń z obciążeniem 70% 1RM, a następnie po upływie optymalnej, indywidualnej przerwy wypoczynkowej wykonywali próbę 50 m kraulem na piersiach, podczas której rejestrowany był czas oraz parametry kinematyczne techniki pływania oraz skoku startowego.

**Wyniki:** Przeprowadzone badania wykazały, że po zastosowaniu pobudzenia mięśni kończyn górnych w porównaniu z badaniem kontrolnym, istotnie skrócił się czas T50 o 1,08% ( $25,67$  s vs.  $25,39$  s;  $p < 0,001$ ), zwiększyła się częstotliwość SR2 o 1,74% ( $53,24$  cykl/min. vs.  $54,17$  cykl/min.;  $p < 0,05$ ), oraz skrócił się czas T15 o 1,26% ( $6,74$  s vs.  $6,65$  s;  $p < 0,05$ ). Po zastosowaniu ćwiczenia aktywacyjnego na kończyny dolne stwierdzono istotne skrócenie

czasu TT o 0,82% (7,77 s vs. 7,71 s;  $p < 0,05$ ), w porównaniu do grupy wykonującej tradycyjną rozgrzewkę w wodzie. Na podstawie wyników badań wykazano, że ćwiczenia aktywacyjne mięśni kończyn dolnych i górnych wpłynęły istotnie na zwiększenie częstotliwości pracy ramion SR1 i SR2 odpowiednio o 1,98% i 3,34% (55,88 cykl/min. vs. 56,99 cykl/min.;  $p < 0,05$  i 52,54 cykl/min. vs. 54,29 cykl/min.;  $p < 0,001$ ), skrócenie kroku pływackiego SL1 i SL2 odpowiednio o 2,1% i 2,75% (1,97 m vs. 1,93 m;  $p < 0,05$  i 1,95 m vs. 1,90 m;  $p < 0,001$ ), skrócenie czasu TT o 0,89% (7,83 s vs. 7,76 s;  $p < 0,05$ ) oraz skrócenie czasu BT o 2,28% (0,82 s vs. 0,8 s;  $p < 0,05$ ).

**Wnioski:** Uzyskane wyniki badań sugerują, że możliwe jest odniesienie korzyści po zastosowaniu wzmocnienia po-aktywacyjnego mięśni kończyn dolnych i górnych na poprawę czasów w pływaniu w konkurencjach sprinterskich. Efekt uzyskany w wyniku PAP zależy jednak od specyficznej stymulacji mięśnia lub grupy mięśniowej odpowiedzialnej za wykonanie danego aktu ruchowego. Ćwiczenie aktywacyjne w postaci przysiadów w pozycji wykroczonej może nie być odpowiednią formą pobudzenia mięśni podczas wykonywania skoku startowego z platformy nie posiadającej podpory na tylną nogę, jednak może wpływać na skrócenie czasów w strefie nawrotowej. Zastosowane w badaniach pobudzenie kończyn górnych nie wpłynęło istotnie na zwiększenie prędkości pływania, a jedynie na wzrost dynamiki ruchów napędowych ramion, co wskazuje na konieczność poszukiwania bardziej specyficznego ćwiczenia pobudzającego mięśnie, które będzie odzwierciedlało w pełni aktywację mięśniową podczas fazy napędowej w kraulu na piersiach.

**Słowa kluczowe:** wzmocnienie po-aktywacyjne, PAP, pływanie, start pływacki, kraul na piersiach

## Summary

**Introduction:** During sport competition, often hundredths of a second are decisive for victory or defeat, so a properly conducted warm-up immediately before the performance can have a huge impact on the final success. Increasingly popular among swimming coaches is the use of strength exercises during warm-up, both before training and competition, especially in sprint events. The concept that provides the basis for such an action is the phenomenon of post-activation potentiation (PAP), i.e. a short-term increase in the efficiency of the bone-joint-muscular apparatus after performing high-intensity exercise.

**Background:** The aim of the study is to assess the impact of post-activation potentiation of the muscles of the upper and lower extremities on the effectiveness of the swimming start and the variability of the swimming technique among national level competitors.

**Methods:** 16 swimmers (male) from the AZS AWF Katowice sport section participated on the study (age  $20,2 \pm 1,28$  years, body weight  $83,5 \pm 9,26$  kg, body height  $185,8 \pm 6,86$  cm, body fat content  $9,9 \pm 3,56$  %), who had at least 2<sup>nd</sup> Polish sports class (FINA = 732 points). All participants gave their written consent to participate in the study. The research was approved by the University Bioethics Committee for Research at the Jerzy Kukuczka Academy of Physical Education in Katowice. Each time, applying the randomization principle, the swimmers were divided into two groups: experimental and control. The athletes from the experimental group, in addition to the standard warm-up on land and in water, also performed physical exercise aimed at activating selected muscle groups, taking into account: 1) upper limbs (pulling the lift lines on Keiser Functional Trainer while lying facing the front on an oblique bench, 2) lower limbs (squat in the forward position on the Keiser Squat trainer, 3) both upper and lower limbs. The subject performed 3 series of 6 repetition at one minute intervals with a load of 70% 1RM, and then, after an optimal, individual rest break, they performed a 50-meter front crawl test, during with the time and kinematic parameters of the swimming technique and starting jump were recorded.

**Results:** The conducted studies showed that after the application of stimulation of the upper limb muscles, compared to the control group, the T50 time significantly decreased by 1,08% (25,67 s vs. 25,39 s;  $p < 0,001$ ), the stroke rate SR2 increased by 1,74% (53,24 cycles/min. vs. 54,17 cycles/min.;  $p < 0,05$ ) and T15 time was shortened by 1,26% (6,74 s vs. 6,65 s;  $p < 0,05$ ). After applying the activation exercise for lower limbs a significant decrease in TT time was found by 0,82% (7,77 s vs. 7,71 s;  $p < 0,05$ ) compared to the group performing the traditional warm-up in water. The results of the study showed that the exercise that stimulated muscles of

the lower and upper limbs significantly increased the stroke rate SR1 and SR2 respectively by 1,98% and 3,34% (55,88 cycles/min. vs. 56,99 cycles/min.;  $p<0,05$  and 52,54 cycles/min. vs. 54,29 cycles/min.;  $p<0,001$ ), shortening the SL1 and SL2 stroke length respectively by 2,1% and 2,75% (1,97 m vs. 1,93 m;  $p<0,05$  and 1,95 m vs. 1,90 m;  $p<0,001$ ), shortening the TT time by 0,89% (7,83 s vs. 7,76 s;  $p<0,05$ ) and decrease of BT time by 2,28% (0,82 s vs. 0,80 s;  $p<0,05$ ).

**Conclusion:** The results of the research suggest that it is possible to benefit from the use of post-activation potentiation of the upper and lower limbs muscles to improve swimming times in sprint competition. The effect obtained as a result of PAP, however, depends on the specific stimulation of the muscle or muscle group responsible for the performance of given movement act. An activation exercise in the form of split squat may not be an appropriate form of muscle stimulation during swimming start from the starting block without the back plate, but it may shorten the times on the turning zone. The stimulation of the upper extremities used in the research did not significantly increase the swimming velocity but only increased the dynamics of the arm propulsion movements, which indicates the need to look for a more specific muscle stimulation exercise that will fully reflect the muscle activation during the propulsion phase in the front crawl.

**Keywords:** post-activation potentiation, PAP, swimming, swimming start, front crawl

## Spis rycin

Rycina 1. Przysiad z użyciem trenera Keiser Squat (Keiser Corporation, Fresno, CA, USA). .....	33
Rycina 2. Przyciąganie linek wyciągu w leżeniu przodem na ławce skośnej z wykorzystaniem trenera Keiser Functional Trainer (Keiser Corporation, Fresno, CA, USA).....	34
Rycina 3. Schemat blokowy eksperymentu PAP.....	35
Rycina 4. Konfiguracja systemu kamer do analizy wideo.....	39
Rycina 5. Moc kończyn dolnych rejestrowana na trenerze Kaiser przed zastosowaniem protokołu PAP na kończyny dolne oraz w kolejnych minutach pomiaru.....	43
Rycina 6. Moc kończyn górnych rejestrowana na trenerze Kaiser przed zastosowaniem protokołu PAP na kończyny dolne oraz w kolejnych minutach pomiaru.....	44
Rycina 7. Charakterystyka względnych przyrostów zmian dla czasoprzestrzennych parametrów pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne. ....	46
Rycina 8. Charakterystyka względnych przyrostów zmian dla czasoprzestrzennych parametrów pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny górne.....	48
Rycina 9. Charakterystyka względnych przyrostów zmian dla czasoprzestrzennych parametrów pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne i górne.....	50
Rycina 10. Charakterystyka względnych przyrostów zmian dla czasoprzestrzennych parametrów startu pływackiego po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne.....	52
Rycina 11. Charakterystyka względnych przyrostów zmian dla czasoprzestrzennych parametrów startu pływackiego po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny górne. ....	54
Rycina 12. Charakterystyka względnych przyrostów zmian dla czasoprzestrzennych parametrów startu pływackiego po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne i górne. ....	56



## Spis tabel

Tabela 1. Charakterystyka badanej grupy pływaków (n = 16).....	31
Tabela 2. Wartości średnie i odpowiadające im odchylenia standardowe dla zmiennych czasoprzestrzennych techniki pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym przed i po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne.....	45
Tabela 3. Wartości średnie i odpowiadające im odchylenia standardowe dla zmiennych czasoprzestrzennych techniki pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym przed i po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny górne.....	47
Tabela 4. Wartości średnie i odpowiadające im odchylenia standardowe dla zmiennych czasoprzestrzennych techniki pływania na dystansie 50 m stylem dowolnym przed i po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne i górne.....	49
Tabela 5. Wartości średnie i odpowiadające im odchylenia standardowe dla zmiennych czasoprzestrzennych startu pływackiego przed i po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne.....	51
Tabela 6. Wartości średnie i odpowiadające im odchylenia standardowe dla zmiennych czasoprzestrzennych startu pływackiego przed i po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny górne.....	53
Tabela 7. Wartości średnie i odpowiadające im odchylenia standardowe dla zmiennych czasoprzestrzennych startu pływackiego przed i po zastosowaniu protokołu aktywacyjnego na kończyny dolne i górne.....	55