

Magdalena KALWARSKA, Sylwia ŁAGAN, Stanisław MAZURKIEWICZ, Zakład Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki, Instytut Mechaniki Stosowanej, Politechnika Krakowska, Kraków

DOŚWIADCZALNA WERYFIKACJA WYBRANYCH CECH FIZYCZNYCH Z WYKORZYSTANIEM PRZYRZĄDU TRENINGOWEGO TYPU „WIOŚLARZ”

Streszczenie. Celem pracy było ukazanie, iż przyrząd treningowy typu „wioślarz” może okazać się przydatny w pracy z osobami trenującymi. Badanie obejmowało: w I serii – 25, a w II – 5 osób. W wyniku badania zostały sporządzone charakterystyki pomiędzy cechami fizycznymi osób ćwiczących a wynikami uzyskiwanymi w czasie trwania ćwiczenia.

1. WSTĘP

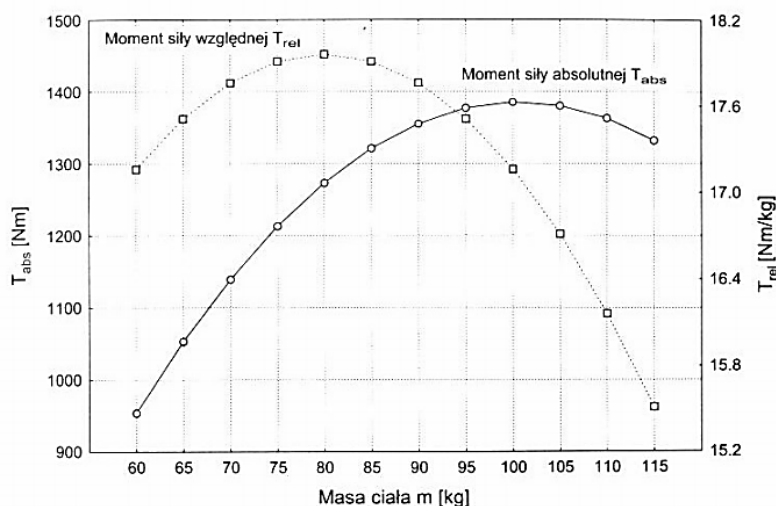
1.1. Elementy biomechaniki mięśni

Mięśnie z punktu widzenia mechaniki są siłownikami – efektorami zdolnymi do wykonywania pracy. Analiza biomechaniczna ruchów mięśni związana jest z podziałem sił działających na układ ruchu, według którego siły można pogrupować na wewnętrzne i zewnętrzne. Siły wewnętrzne podzielić można na generowane przez czynny układ ruchu (mięśnie szkieletowe) oraz na opory wywołane przez te siły (np. opór tkanek odkształcalnych, tarcie wewnętrzne, bezwładność poruszanej części ciała). Siły zewnętrzne czynne (czyli działające na zewnątrz organizmu) będą to np.: siła grawitacji, wiatr lub prądy wodne. Siły bierne wywoływane są na zasadzie reakcji na działanie sił czynnych. Do sił biernych zaliczyć można m.in. siły tarcia, reakcje podłoża, opór powietrza czy wody.

Mierzone wartości są pomiarami wypadkowego momentu siły mięśniowej. Mięśnie działają bowiem na kość (dźwignię), co utrudnia bezinwazyjny pomiar tych wielkości w warunkach laboratoryjnych.

Zależność momentu siły mięśniowej od masy ciała przedstawiona została na rysunku 1. Zauważyć należy, iż do osiągnięcia pewnej wartości masy (ok. 100 [kg]) funkcja ta jest rosnąca. Następnie maleje, co może być powiązane z faktem, iż u cięższych zawodników nad masą tkanki mięśniowej przeważa masa tkanki tłuszczowej.

W wyniku bezpośredniego pomiaru otrzymujemy wartość momentu siły absolutnej T_{abs} wyrażanego w niutonometrach. Możemy ją odnieść do masy ciała badanej osoby, dzięki czemu otrzymamy wartość momentu siły bezwzględnej T_{rel} wyrażanego w niutonometrach na kilogram [1,2].



Rys. 1. Wartości średnie momentu siły absolutnej T_{abs} [Nm] i względnej T_{rel} [Nm/kg] w funkcji masy ciała m [kg] [1]

1.2. Przyrząd typu „wioślarz” w treningu aerobowym

Ćwiczenia na przyrządzie „wioślarz” (rys. 2.) skupione są w dużej mierze na rozwoju mięśni ramion i pleców. Urządzenie to, jest więc doskonałym rozwiązaniem dla osób chcących rozwinąć górne partie ciała. Mięśnie nóg również zostają rozwijane, jednak trening jest na nich skupiony w znacznie mniejszym stopniu [3].

Wiosłowanie nie obciąża stawów, zatem może być wykorzystywane w przypadku bólów karku wywołanych stresem. Dzięki treningowi wzmocniony zostaje układ mięśniowy całego ciała, przyspieszona zostaje przemiana materii, poprawia się wydolność organizmu.

Przyrząd ten również nadaje się do treningu aerobowego, gdyż pozwala na utrzymanie stałego tempa wykonywanego ćwiczenia. Ma także opcję regulacji oporu, przez co może być dostosowany do indywidualnych zdolności i wymagań osób trenujących.



Rys. 2. Przyrząd typu „wioślarz” wykorzystywany w trakcie eksperymentu

Podczas przyciągania rąk do klatki piersiowej pracują głównie mięśnie najszerze grzbietu. Są to duże mięśnie, kształtem przypominające skrzydła, które łączą ramiona z barkami. Stabilną podstawę efektywnej pracy mięśni najszerzych grzbietu stanowią mięśnie czworoboczne oraz równoległoboczne, które znajdują się między łopatkami.

Umożliwiają one utrzymanie prostych ramion i pleców, dzięki czemu usztywniona zostaje obręcz barkowa.

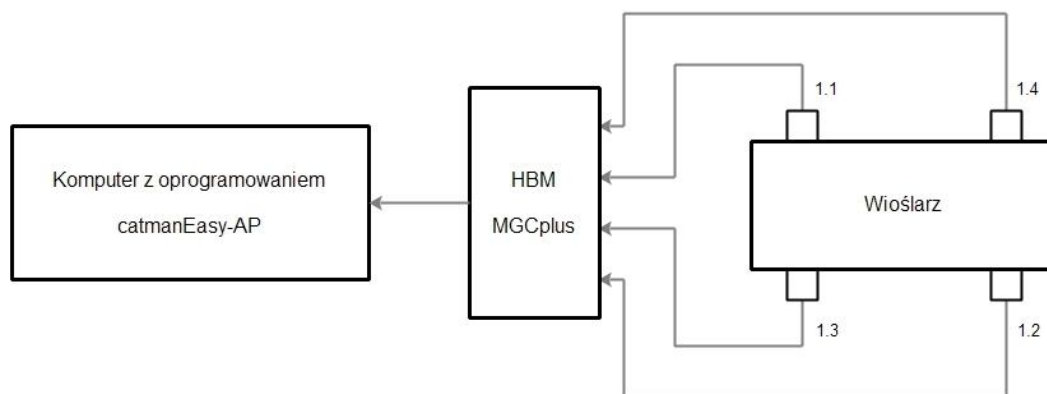
W ćwiczeniach na „wioślarzu” pracę mięśni najszerzych grzbietu wspomagają mięśnie dwugłowe (tzw. bicepsy). Dzięki nim możliwe jest zginanie łokci oraz przyciąganie dźwigni w swoją stronę. Ruch przeciwny – wyprost – powodowany jest pracą mięśni trójgłowych ramienia (tzw. tricepsów). Należy jednak zauważyć, iż praca przy zginaniu jest znacznie większa od tej wykonywanej przy prostowaniu ramion.

Prostownik grzbietu, w którego skład wchodzi osiem odrębnych mięśni, jest odpowiedzialny za utrzymywanie pleców w pozycji prostej w trakcie ćwiczenia. Stabilizację kręgosłupa zapewnia współpraca mięśni prostych brzucha oraz prostowników grzbietu, głównym jednak ich zadaniem jest wspomaganie pochylania się do przodu w trakcie powrotu do pozycji wyjściowej.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. Budowa stanowiska

W badaniu wykorzystano stanowisko treningowe typu „wioślarz” uzbrojone w czujniki pomiarowe: przemieszczeń (oznaczone na schemacie rys. 3 jako 1.2, 1.4) oraz siły (1.1, 1.3). W skład stanowiska pomiarowego wchodziły również: wzmacniacz pomiarowy HBM MGCplus oraz komputer z oprogramowaniem do wizualizacji i akwizycji wyników pomiarowych catmanEasy-AP w wersji 3.1. Konfiguracja wzmacniacza może odbywać się z poziomu samego wzmacniacza, bądź z wykorzystaniem dołączonego oprogramowania – HBM Setup Assistant 3.5 Release 5.



Rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego

Stanowisko przystosowane zostało do pomiaru siły mięśni górnych partii ludzkiego ciała. Dodatkowo mierzone są przemieszczenia czujników pomiarowych, co odnosi się bezpośrednio do przemieszczeń poszczególnych punktów odniesienia niezbędnych do dalszych obliczeń np. obliczanie mocy czy pracy wykonanej przez mięśnie.

2.2. Schematy obliczeń

W celu wykonania obliczeń momentu siły oraz pracy oraz – w konsekwencji - mocy średniej niezbędne było wyznaczenie wartości kilku kątów:

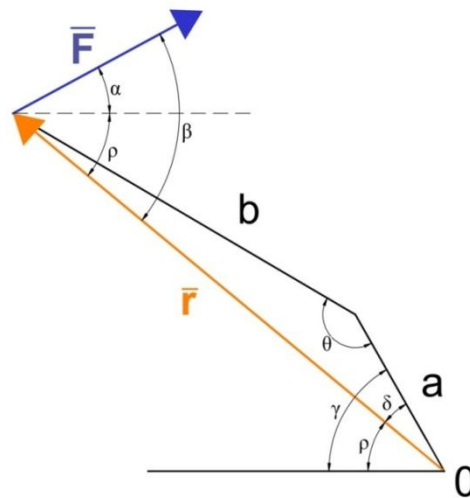
- α – kąta pomiędzy kierunkiem działania siły \vec{F} a kierunkiem równoległym do płaszczyzny podłoża, na którym znajdował się przyrząd treningowy (rys.4);

- β – kąta pomiędzy kierunkiem działania siły \vec{F} a ramieniem tej siły \vec{r} .

Wartość kąta α została przyjęta jako stała ze względu na ograniczone możliwości jego ciągłego pomiaru. W wyniku kilkukrotnie przeprowadzonych pomiarów wartość tę uśredniono i przyjęto na poziomie 28° .

Wyznaczenie kąta β realizowano w wyniku obliczeń trygonometrycznych, z których otrzymano wartość kąta $\beta = 69^\circ$.

Długości a i b oraz kąt θ zdeterminowane są budową urządzenia, są zatem wartościami stałymi, wynoszącymi: $\alpha = 0,21 [m]$; $b = 0,4 [m]$ oraz $\theta = 150^\circ$. Po podstawieniu tych wartości do równania i rozwiązaniu go otrzymamy długość ramienia siły wynoszącą $[\vec{r}] = 0,563 [m]$. Również kąt γ (nachylenia dźwigni względem podłoża) w trakcie trwania badań był stały ($\gamma = 62^\circ$).



Rys. 4. Schemat wykorzystywany do obliczeń kątów

W celu znalezienia zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami po wykonaniu badania dokonano – dla każdej z badanych osób – obliczenia następujących wartości:

- częstotliwości wykonywania ćwiczenia $f [Hz]$ obliczanej jako stosunek liczby wykonanych pociągnięć n do czasu trwania ćwiczenia $t_c [s]$:

$$f = \frac{n}{t_c} \quad (2.1)$$

- momentu siły względem osi obrotu dźwigni $M_0 [Nm]$ obliczanego zgodnie ze wzorem:

$$M = |\vec{M}| = |\vec{r} \times \vec{F}| = F \cdot r \cdot \sin \beta \quad (2.2)$$

- wykonanej pracy $W [kJ]$, która obliczona była jako pole powierzchni pod krzywą (za pomocą całki Riemanna) siły w funkcji przemieszczenia $F = f(s)$ oraz zastosowanie wiedzy na temat kąta nachylenia kierunku siły \vec{F} względem podłoża:

$$W = 10^{-3} \cdot \cos \alpha \cdot \int_a^b f(s) ds \quad (2.3)$$

gdzie: a – przemieszczenie dla czasu $t = 0$, b – przemieszczenie dla $t = t_c$;

- mocy średniej $P [kW]$ traktowanej jako iloraz wykonanej pracy $W [kJ]$ oraz czasu ćwiczenia $t_c [s]$:

$$P = \frac{W}{t_c} \quad (2.4)$$

2.3. Metodyka badania

W celu uzyskania powtarzalności wyników każda z osób wykonujących ćwiczenie została poinstruowana co do sposobu i czasu ćwiczenia.

Wiosłowanie angażuje pracę wszystkich grup mięśniowych, lecz przede wszystkim mięśni ramion, obręczy barkowej, pleców i brzucha. W otrzymanych wynikach uzyskujemy rezultaty dla mięśni prawej i lewej połowy ciała (w stosunku do płaszczyzny strzałkowej ciała), gdyż na podstawie otrzymanych wyników nie można jednoznacznie stwierdzić, jaki jej procent wykonały poszczególne grupy mięśni.

Przed wykonaniem badania każda z osób poddana została wywiadowi ankietowemu. Miało to na celu wyszukanie czynników zmieniających się po wysiłku fizycznym. W tym celu zmierzone zostały: ciśnienie, częstotliwość oddechu i puls w stanie spoczynkowym. Zmierzono także obwody obu ramion. Ankieta zawierała ponadto następujące elementy: płeć, wiek, wagę, wzrost, informację na temat ręki dominującej, rodzaj diety, uprawiane sporty oraz informacje dotyczące samopoczucia oraz palenia papierosów. Ciśnienie mierzone było za pomocą ciśnieniomierza manualnego, zaś obwód ramienia – za pomocą miarki krawieckiej – na zgiętym ramieniu i w stanie maksymalnego napięcia mięśni. Tętno mierzone było na tętnicy szyjnej, zaś częstotliwość oddechu – poprzez obserwację poszczególnych osób.

Po wypełnieniu ankiety następowała część wysiłkowa. Osoba siadająca na przyrządzie powinna zająć taką pozycję, by ramiona trzymające dźwignię znajdowały się w pełnym wyproście, a plecy nie opierały się o oparcie. Ruch przyciągania powinien być wykonany w sposób jak najszybszy i najmocniejszy jak to tylko możliwe, jednak zachowując – w miarę możliwości – regularność cykli. Zakończenie fazy przyciągania powinno nastąpić po zrównaniu dźwigni z klatką piersiową. Koniec ćwiczenia następował w momencie braku możliwości wykonania kolejnego cyklu lub po osiągnięciu czasu 10 [min] (ze względu na ograniczenia programów obliczeniowych). O końcu eksperymentu decydowała więc subiektywna ocena badanego, ponieważ to on stwierdzał, czy jest w stanie kontynuować ćwiczenie.

Po zakończeniu ćwiczenia mierzone były ponownie: ciśnienie, tętno oraz częstotliwość oddechu w celu porównania ich z wartościami spoczynkowymi.

3. WYNIKI BADAŃ

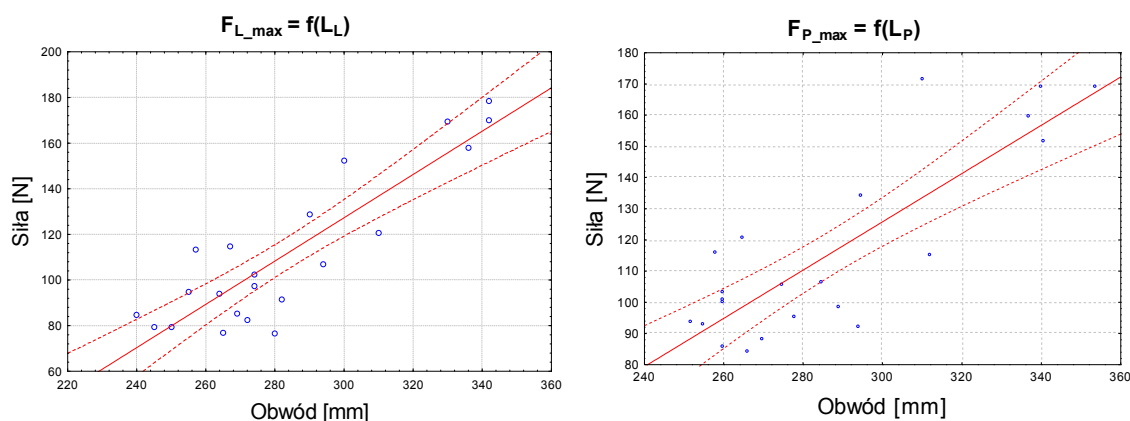
Badania przeprowadzone zostały na grupie 25 osób w wieku 20–24 lat. Częstotliwość próbkowania zapisywanych wyników wynosiła 50 [Hz].

Badanie podzielono na dwie części. Pierwszą stanowił pomiar wybranych parametrów fizycznych w celu późniejszego wyznaczenia charakterystyk. Dodatkowo, grupa pięciu osób podjęła się realizacji 3-tygodniowego mezocyklu treningowego. Po tym okresie ponownie zostało przeprowadzone badanie w celu oceny wpływu treningu na otrzymywane wyniki. Druga część badania miała wykazać czy zmiany parametrów posiadają identyczne tendencje (wzrost – spadek).

Po przeanalizowaniu danych z ankiety okazało się, iż nie można jednoznacznie stwierdzić wpływu wysiłku na następujące parametry: ciśnienie krwi, tętno oraz częstotliwość oddechu. Z tego powodu w drugiej części eksperymentu zrezygnowano z tych pomiarów.

W przebadanej grupie nie wykazano również istotnego statystycznie wpływu takich czynników jak:

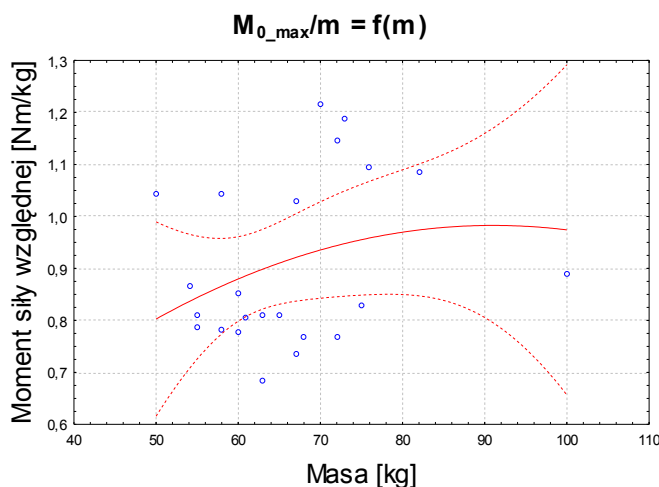
- uprawiany sport – osoby uprawiające sport nie uzyskiwały zbliżonych parametrów, a także wśród osób nieuprawiających sportu znaleźć można było osoby, których wyniki pokrywały się z wynikami osób trenujących;
- urazy lub schorzenia kończyny górnej – wszystkie osoby były zdrowe;
- samopoczucie – wszyscy badani posiadali dobre samopoczucie;
- ręka dominująca – zaledwie dwie osoby posiadały lewą rękę jako dominującą;
- palenie papierosów – tylko dwie osoby były palaczami;
- dieta – wszystkie przebadane osoby były na diecie mięsnej.



Rys. 5. Wykresy zależności $F_{L,max} = f(L_L)$ oraz $F_{P,max} = f(L_P)$ z liniami trendu i granicami przedziału ufności

Podjęta została próba znalezienia zależności pomiędzy obwodem ramienia a maksymalnie uzyskiwaną wartością siły. Przeprowadzona została ona dla obu przypadków (prawy i lewy siłownik). Zauważyć można rosnący trend, co zaprezentowane jest na rys. 5.

Kolejną analizowaną zależnością jest funkcja momentu siły odniesionego do masy względem samej masy. Było to zweryfikowanie znalezionej w literaturze [1] zależności opracowanej na podstawie wyników badań doświadczalnych, przedstawionej na rys. 1.1. Po przeanalizowaniu otrzymanego wykresu stwierdzić można, iż punkty pomiarowe posiadają zbliżoną charakterystykę (jest to również wielomian II stopnia z ujemnym współczynnikiem kierunkowym), co prezentuje rys. 6.

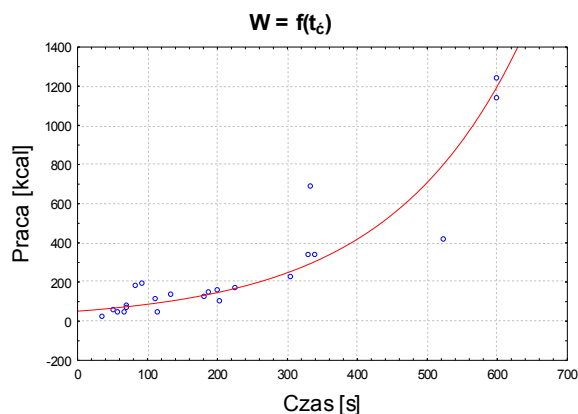


Rys. 6. Wykres zależności $M_{0,max}/m = f(m)$ z linią trendu i granicami przedziału ufności

Kolejna zależność wymaga przeliczenia wcześniej obliczonych wartości pracy. Rysunek 7 przedstawia bowiem charakterystykę pracy wyrażonej w kilokaloriach w funkcji czasu trwania ćwiczenia. W tym celu należy skorzystać z następującego wzoru 3.1.

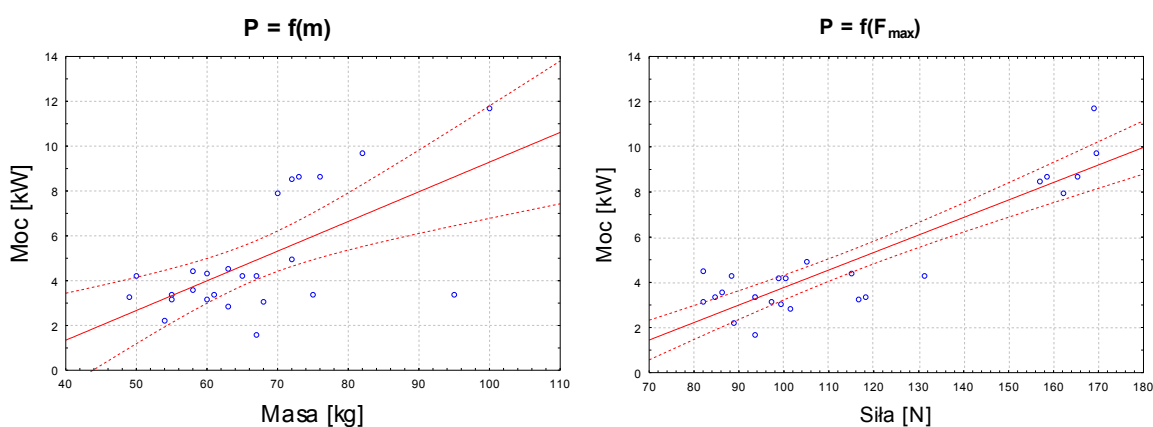
$$W [\text{kcal}] = 0,24 \cdot W [\text{kJ}] \quad (3.1)$$

Wyrażona w ten sposób praca prezentuje ilość spalonych kalorii.



Rys. 7. Wykres zależności $W = f(t_c)$ wraz z linią trendu

Zarówno zależność mocy średniej od maksymalnie uzyskanej siły, jak i mocy średniej od masy wydają się być liniowo rosnące, co potwierdzają otrzymane wykresy (rys. 8).



Rys 8. Wykresy zależności $P = f(F_{max})$ oraz $P = f(m)$ wraz z liniami trendu i granicami przedziału ufności

Ostatnim elementem badania było porównanie parametrów otrzymanych w czasie trwania ćwiczenia przed rozpoczęciem 3-tygodniowego mezocyklu treningowego z parametrami uzyskanymi po tymże treningu.

W żadnym z przypadków zmianie nie uległy masa ani obwód ramion. Pozostałe kontrolowane parametry uległy zmianom z tą samą tendencją – porównanie wyników zawiera tabela 1. Nastąpił wzrost mocy i częstotliwości przy jednoczesnym spadku pracy i czasu trwania ćwiczenia. Zwiększyła się także maksymalna wartość uzyskiwanej siły przy jednoczesnym skróceniu czasu trwania pojedynczego cyklu.

Tabela 1. Porównanie wybranych parametrów uzyskanych w serii I pomiarów (przed rozpoczęciem treningu) oraz serii II (po odbyciu 3-tygodniowego treningu)

Nr	F _{max} [N]		T [s]		f [Hz]		W [kcal]		P [kW]		t _c [s]	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
2	93,831	98,122	5,014	2,137	0,193	0,466	44,559	42,613	1,629	2,546	114	73
3	93,369	127,786	2,662	2,522	0,374	0,391	152,395	114,827	3,396	3,922	187	122
6	93,335	104,383	2,659	2,583	0,375	0,389	483,69	382,003	3,37	3,788	598	571
13	99,437	102,653	2,121	1,655	0,467	0,603	224,978	128,686	3,084	3,282	304	278
15	101,652	120,827	3,659	3,302	0,275	0,302	123,202	93,382	2,821	3,648	182	174

4. WNIOSKI

- Dzięki przeprowadzonemu eksperymentowi zauważyć można, iż istnieje możliwość stosunkowo prostego przeprowadzenia analizy prowadzonego treningu poprzez badanie wybranych cech fizycznych osób ćwiczących. Na podstawie wykonywanych analiz istnieje możliwość odpowiedniego zaplanowania dalszych etapów treningowych poprzez obserwację zmian określonych parametrów u sportowca.
- Badania wykazały, iż grupa, na której były one wykonane, jest zdecydowanie zbyt mało liczna, aby można było sporządzić dokładne charakterystyki zmian określonych parametrów. Należy więc wziąć pod uwagę przeprowadzenie badań na większej oraz bardziej zróżnicowanej grupie treningowej.
- Druga seria badań wykazała jednakowe zmiany określonych parametrów. Na ich podstawie można wnioskować o przebiegu dalszych etapów treningu. Grupa treningowa była jednak bardzo nieliczna i koniecznym wydawałoby się powtórzenie eksperymentu z udziałem większej liczby osób w celu potwierdzenia zaobserwowanych zależności.
- Przyrząd treningowy typu „wioślarz” okazuje się być przydatnym urządzeniem, pomocnym przy wyznaczaniu zależności pomiędzy różnymi parametrami uzyskiwanymi w trakcie ćwiczenia. Staje się więc narzędziem pracy zarówno trenera, jak i biomechanika sportowego.
- Dodatkowo zauważyć należy, iż urządzenie typu „wioślarz” wykorzystane może być w różnych metodach diagnostycznych, jak np. EMG czy EKG. Sprawia to, iż przyrząd ten znajduje także zastosowanie w medycynie. Nie obciążając znacząco stawów stanie się także przydatnym narzędziem rehabilitacji.

5. LITERATURA

- [1] Bober T., Zawadzki J.: *Biomechanika układu ruchu człowieka*, Wrocław 2003,
 [2] Górski J.: *Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego*, Warszawa 2006,
 [3] <http://atomicpower.pl>

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF SELECTED PHYSICAL CHARACTERISTICS USING A ROWING MACHINE