

Andrzej Mroczkowski*

ZWIĄZEK SIŁY KOŃCZYN ROZWIJANEJ W WARUNKACH STATYKI Z ICH MASĄ MIĘŚNIOWĄ U STUDENTEK FIZJOTERAPII

Wprowadzenie

Aby mięśnie mogły poruszać nasze ciało, muszą wytwarzać odpowiednią siłę, która jest w stanie pokonać zewnętrzne i wewnętrzne opory ruchu. W badaniach biomechanicznych często mierzy się siły oraz momenty sił w warunkach statyki. Zgodnie z równaniem Hilla, mięsień w warunkach statyki rozwija swoją siłę maksymalną (Bober, Zawadzki 2003; Mrozowski, Awrejcewicz 2004). Jako wskaźnik maksymalnej siły mięśniowej w tych warunkach określa się wartość sumy momentów sił głównych grup mięśni prostujących i zginających kończynę dolną i górną, oraz prostujących i zginających tułów (Trzaskoma, 2003; Fidelus i wsp. 1996).

Z punktu biomechaniki jest oczywiste, że siła statyczna mięśnia jest związana z jego masą. Stosowane najczęściej metody nie pozwalały określić tej masy w łatwy sposób (Mroczkowski i wsp. 2015; Mroczkowski, Spławski 2017). W pracy tej do wyznaczenia masy mięśnia zastosowano analizator komponentów składu ciała „Tanita”. Sprzęt ten posiada układ elektroniczny, pozwalający mierzyć impedancję bioelektryczną tkanek, przez które przepływa prąd elektryczny o odpowiednio małym natężeniu. Opisany proces impedancji bioelektrycznej pozwala ilościowo scharakteryzować mierzoną masę mięśniową, masę tłuszczową oraz masę wodną organizmu (Bartok, Scholer 2004; Bunc, Dlouhá 1995; Cyganek i wsp. 2007; Kusher i wsp. 1990; Lewit i wsp. 2007; Pietrobelli i wsp. 1998, 2004).

Z pewnym przybliżeniem można uznać, że mięsień jest walcem o wysokości równej długości mięśnia, o podstawie równej jego przekrojowi poprzecznemu (Bober, Zawadzki 2003). Masa mięśnia jest iloczynem jego gęstości i objętości. Skoro objętość mięśnia jest iloczynem jego wysokości i pola

* **Andrzej Mroczkowski** – doktor nauk o kulturze fizycznej, magister fizyki, Uniwersytet Zielonogórski; zainteresowania naukowe: biomechanika, biofizyka, kinezyjologia, sztuki walki, konstruowanie wynalazków do badania człowieka w ruchach obrotowych oraz diagnozowania nawyków ruchowych podczas upadku; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5654-7679>; e-mail: a.mroczkowski@wlnz.uz.zgora.pl

przekroju poprzecznego, to wynika z tego, że masa mięśnia jest wprost proporcjonalna do pola przekroju poprzecznego. Opierając się na definicji siły właściwej wynika, że większej masie mięśnia powinna towarzyszyć większa jego siła rozwijana w warunkach statyki (Mroczkowski i wsp. 2015; Mroczkowski, Spławski 2017).

Podczas pomiaru siły mięśni w warunkach statyki nie mamy możliwości stwierdzenia bezpośredniej siły mięśni. Ruch w stawach kończyn spowodowany jest najczęściej w wyniku występowania dźwigni dwustronnej czy jednostronnej. W warunkach statyki ruch nie występuje, działające momenty sił się równoważą. Siła rozwijana przez mięśnie F_m na kość w odległości r_m od osi obrotu stawu daje tzw. moment sił wewnętrznych jako iloczyn siły i jej ramienia $M_m = F_m r_m$. Moment siły zewnętrznej jest równy iloczynowi siły rejestrowanej np. przez siłomierz F_z oraz ramienia tej siły r_z względem osi obrotu stawu $M_z = F_z r_z$, w odróżnieniu od ramienia siły mięśnia r_m , ramię siły zewnętrznej r_z jest łatwe do zmierzenia podczas pomiaru. Natomiast ramię siły mięśnia r_m wynika z miejsca łączenia się mięśnia z kością i podczas eksperymentu nie można go wyznaczyć poprzez bezpośredni pomiar. W pomiarach w warunkach statyki nie mierzymy rzeczywistej siły F_m , jednak odczytane wartości momentów siły zewnętrznej są wprost proporcjonalne do wartości siły mięśnia F_m (Fidelus i wsp. 1996; Bober, Zawadzki 2003).

Często oprócz pomiaru siły w warunkach statyki stosuje się także pomiary w ruchu, czyli pomiary dynamiczne, używając do tego specjalnego urządzenia jak np. platformy dynamometryczne (Fidelus i wsp. 1996; Mastelarz 2008). Siła dynamiczna definiowana jest jako zdolność układu nerwowo-mięśniowego do pokonywania oporu z możliwie największą szybkością skracania (Trzaskoma Z., Trzaskoma Ł. 2001). Jest ona odpowiedzialna za uzyskanie przez segmenty ciała przyspieszenia w ruchu. Badanie siły mięśni w warunkach statyki jest szczególnie istotny po przebytych urazach uniemożliwiających ruch segmentów ciała. Proces rehabilitacji rozpoczyna się od poprawienia siły mięśnia w warunkach statyki, później następuje stopniowy powrót do rozwijania np. przez sportowców siły dynamicznej.

W literaturze naukowej można znaleźć prace (Mroczkowski i wsp. 2015; Mroczkowski, Spławski 2017), w których autorzy opisują wyniki badań uzyskane u mężczyzn w zakresie określenia związku sumy sił i momentów sił rozwijanych podczas zginania i prostowania kończyny dolnej i górnej w warunkach statyki z ich masą mięśniową. Autorzy tej pracy stwierdzili brak podobnych doniesień odnośnie wyników badań z wykorzystaniem sprzętu „Tanita” przeprowadzonych wśród kobiet. Autorzy zakładają, że u kobiet podobnie jak u mężczyzn, większej masie mięśni powinna towarzyszyć ich

większa siła rozwijana w warunkach statyki.

Celem tej pracy jest określenie u kobiet związku sumy sił i momentów sił rozwijanych podczas zginania i prostowania kończyny dolnej i górnej w warunkach statyki z ich masą mięśniową.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono wśród losowo wybranych 27 studentek kierunku Fizjoterapia studiujących w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Koninie. W badaniach uczestniczyły studentki w wieku $20,9 \pm 2,3$ lata, wysokości ciała $165 \pm 4,2$ cm, masie $64,1 \pm 8,1$ kg, współczynnika BMI wynoszącym $23,6 \pm 3,4$ kg/m². Badania przeprowadzono w roku 2013 i 2014.

Do pomiarów komponentów składu ciała u badanych osób zastosowano „Tanitę” – BC-418. Urządzenie to służyło do pomiarów masy mięśniowej kończyn. Podczas pomiaru badana osoba stała na platformie analizatora, w której zainstalowane były cztery elektrody pomiarowe. W dniu przeprowadzanych badań, przed pomiarem, uczestnicy nie wykonywali żadnych intensywnych wysiłków fizycznych. Czas pomiaru jednej osoby trwał około 20 sekund. Podczas pomiaru studentki były badane w pozycji stojącej, wyprostowanej, bez przesadnego napięcia ciała oraz bez obuwia. Kończyny górne były opuszczone wzdłuż tułowia, a kończyny dolne zwarte piętami o lekko rozstawionych stopach. Pozycja głowy była ustawiona w płaszczyźnie frankfurckiej. Bezpośrednio po zakończeniu pomiaru uzyskane wyniki były wydrukowane oraz zarejestrowane w programie komputerowym.

Pomiary siły w warunkach statyki dokonano dynamometrem montowanym do ramy stabilizacyjnej. Dynamometr zawierał tensometryczny przetwornik pomiarowy siły wyposażony w różnego typu zaczepy, cięgna i pasy przystosowane do pomiarów w różnych warunkach stabilizacji kończyn.

Badania izometryczne kończyny górnej wykonano w zakresie zginania i prostowania w stawie łokciowym i ramiennym. Sposób przeprowadzenia badań był zgodny z opisem przedstawionym w literaturze (Fidelus i wsp. 1996) odnośnie pomiarów na ramie stabilizacyjnej. Badania izometryczne siły w warunkach statyki kończyn dolnych wykonano według metody Rybałko (Rybałko 1968; Mroczkowski, Skrypko 2011). Badani byli odpowiednio zmobilizowani psychicznie na użycie podczas pomiaru maksymalnej siły. Podczas pomiaru występowała stabilizacja odpowiednich segmentów ciała. Pomiar siły był krótkotrwały. Pomiar zaczynało od ustawienia badanego na stanowisku w określonej ustabilizowanej pozycji. Mierzono ramię działania siły oporu r_z , co jest odległością, licząc od osi obrotu w danym stawie do opaski przymocowanej do danego segmentu ciała. Cięgno dynamometru ustawione było prostopadłe do badanej partii ciała. Rejestrowano podczas

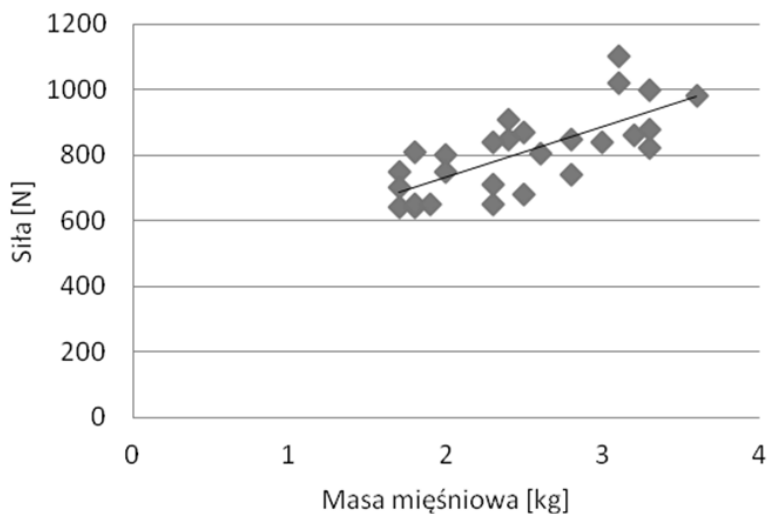
pomiaru wartości siły pokazywanej przez dynamometr wraz ze zmierzoną wartością r_z (Fidelus i wsp. 1996).

Do analizy wyników wykorzystano metody statystyki matematycznej stosując analizę regresji (Sawicki 1982). Istotność statystyczną określono przy użyciu jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA). Zmierzone parametry analizowano przy użyciu liniowej regresji Pearsona (współczynnik r).

Wyniki

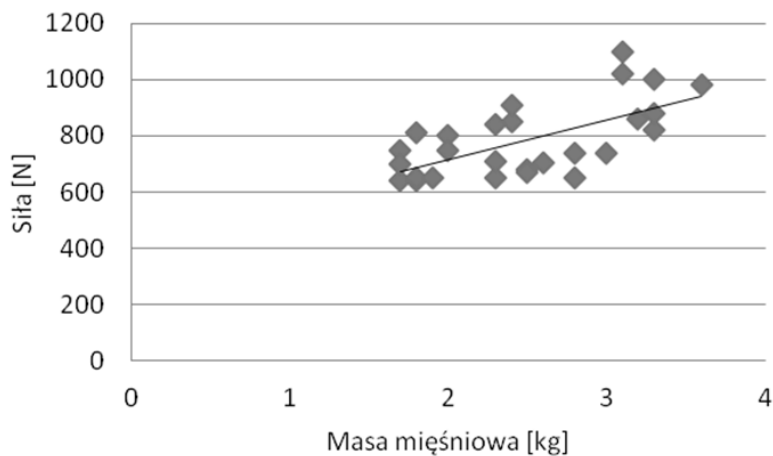
Otrzymane wartości współczynników korelacji „ r ” pomiędzy sumą sił uzyskanych podczas zginania i prostowania w stawie łokciowym i ramiennym a masą mięśniową kończyny górnej wykazują wysokie dodatnie wartości (rys. 1 i 2). Równie wysokie dodatnie wartości współczynnika korelacji „ r ” uzyskano pomiędzy sumą momentów sił uzyskanych podczas zginania i prostowania w stawie łokciowym i ramiennym a masą mięśniową kończyny górnej (rys. 3 i 4). Otrzymane współczynniki korelacji były nieco niższe dla kończyny lewej w porównaniu z prawą, zarówno dla sumy uzyskanych sił, jak i momentów sił podczas zginania i prostowania w stawie łokciowym i ramiennym a masą mięśniową kończyny górnej.

Uzyskane wartości korelacji dla kończyny dolnej (rys. 5-8) pomiędzy sumą sił i momentów sił podczas jej zginania i prostowania a masą mięśniową są zbliżone do wartości jak dla kończyny górnej (rys. 1-4). Zarówno dla kończyny dolnej i górnej u badanych studentek stwierdza się istotne korelacje ($p < 0,01$) pomiędzy ich masą mięśniową a sumą sił i momentów sił podczas zginania i prostowanie w badanych stawach.



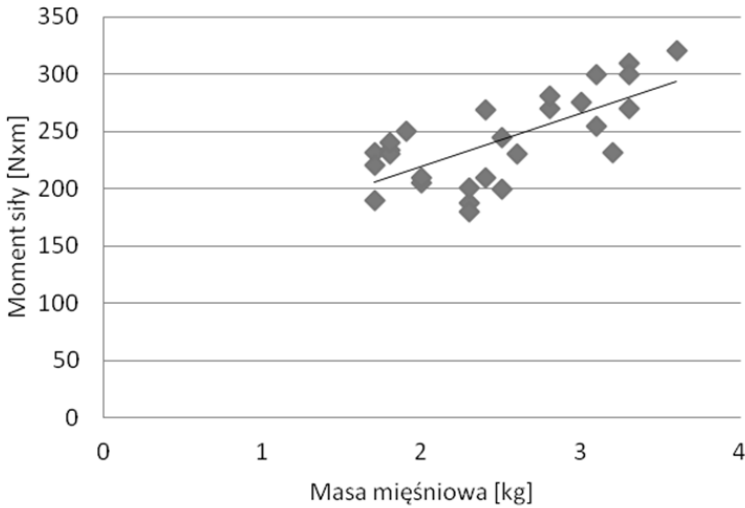
Rysunek 1. Zależność pomiędzy sumą sił uzyskanych podczas zginania i prostowania w stawie łokciowym i ramiennym a masą mięśniową prawej kończyny górnej ($r = 0,73$, $y = 424,75 + 153,68 * x$ [kg], $p < 0,01$).

Źródło: badania własne.



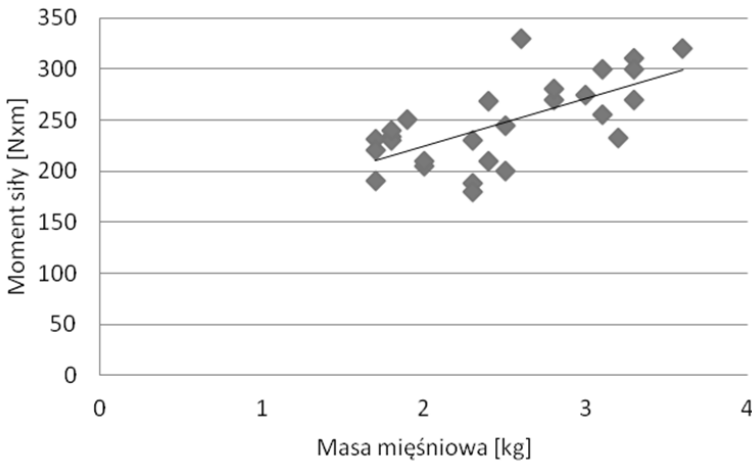
Rysunek 2. Zależność pomiędzy sumą sił uzyskanych podczas zginania i prostowania w stawie łokciowym ramiennym a masą mięśniową lewej kończyny górnej ($r = 0,64$, $y = 436,92 + 139,87 * x$ [kg], $p < 0,01$).

Źródło: badania własne.



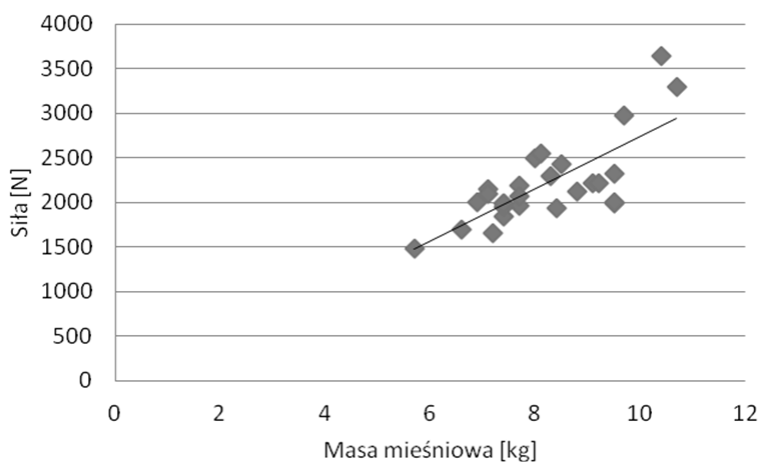
Rysunek 3. Zależność pomiędzy sumą momentów sił uzyskanych podczas zginania i prostowania w stawie łokciowym i ramiennym, a masą mięśniową prawej kończyny górnej ($r = 0,70$, $y = 127,27 + 46,29 * x$ [kg], $p < 0,01$).

Źródło: badania własne.



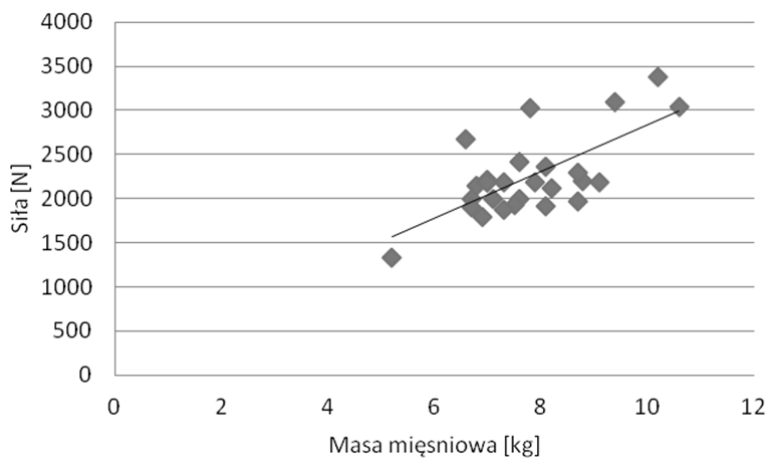
Rysunek 4. Zależność pomiędzy sumą momentów sił uzyskanych podczas zginania i prostowania w stawie łokciowym i ramiennym a masą mięśniową lewej kończyny górnej ($r = 0,67$, $y = 130,51 + 46,91 * x$ [kg], $p < 0,01$).

Źródło: badania własne.



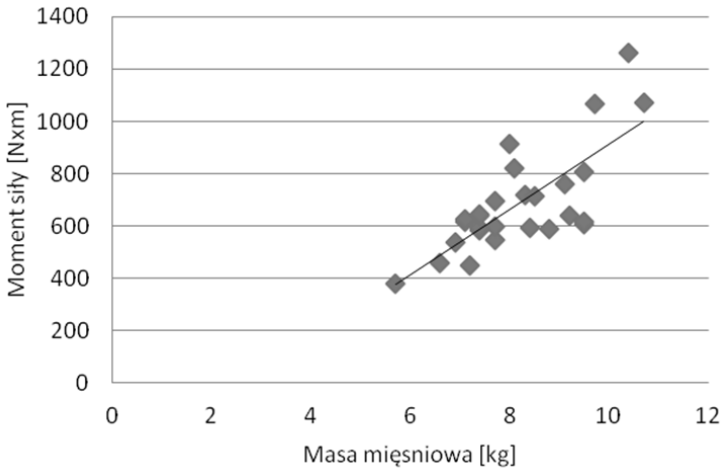
Rysunek 5. Zależność pomiędzy sumą sił uzyskanych podczas zginania i prostowania w stawie biodrowym, kolanowym i zginaniem podszwowych stawu skokowo-goleniowego a masą mięśniową prawej kończyny dolnej ($r = 0,75$, $y = -203,15 + 294,50 * x$ [kg], $p < 0,01$).

Źródło: badania własne.



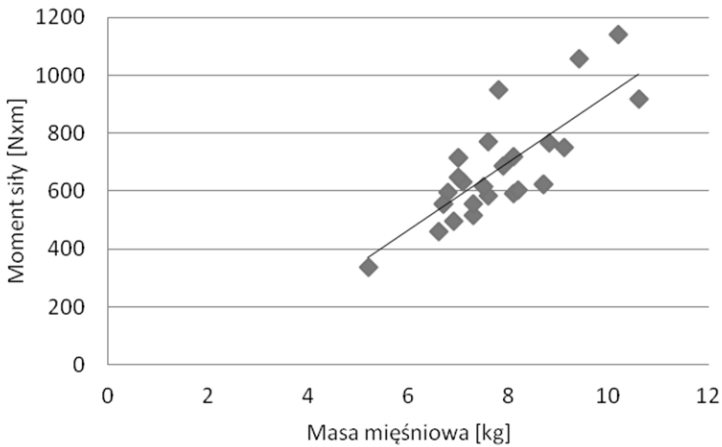
Rysunek 6. Zależność pomiędzy sumą sił uzyskanych podczas zginania i prostowania w stawie biodrowym, kolanowym i zginaniem podszwowych stawu skokowo-goleniowego a masą mięśniową lewej kończyny dolnej ($r = 0,68$, $y = 208,36 + 261,99 * x$ [kg], $p < 0,01$).

Źródło: badania własne.



Rysunek 7. Zależność pomiędzy sumą momentu sił uzyskanych podczas zginania i prostowania w stawie biodrowym, kolanowym i zginaniem podeszwowym stawu skokowo-goleniowego a masą mięśniową prawej kończyny dolnej ($r = 0,75$, $y = -324,83 + 123,65 * x$ [kg], $p < 0,01$).

Źródło: badania własne.



Rysunek 8. Zależność pomiędzy sumą momentu sił uzyskanych podczas zginania i prostowania w stawie biodrowym, kolanowym i zginaniem podeszwowym stawu skokowo-goleniowego a masą mięśniową lewej kończyny dolnej ($r = 0,78$, $y = -235,48 + 116,92 * x$ [kg], $p < 0,01$).

Źródło: badania własne.

Dyskusja

W literaturze nie można znaleźć dokładnego opisu, na jakiej zasadzie podczas pomiaru przy użyciu „Tanity” – BC-418 jest możliwy pomiar masy mięśniowej z podziałem na segmenty ciała. Uzyskane wyniki opierają się na pomiarze impedancji bioelektrycznej tkanek podczas przepływu prądu o odpowiednio małym natężeniu. Ze względu na zróżnicowaną oporność tkanek jest możliwe ilościowe scharakteryzowanie masy mięśniowej, masy tłuszczowej oraz masy wodnej organizmu. Otrzymane wyniki wykazały istotne statystyczne korelacje potwierdzające przyjęte założenie, że większej masie mięśni u kobiet powinna towarzyszyć większa ich siła, rozwijana w warunkach statyki.

Otrzymane wyniki wykazały u kobiet wysoką dodatnią istotną korelację pomiędzy sumą sił i momentów siły rozwijanych podczas zginania i prostowania w stawie łokciowym i ramiennym w warunkach statyki a masą mięśniową kończyny górnej. Uzyskane wyniki były nieco wyższe dla kończyny prawej w porównaniu z lewą. Na uwagę zasługuje to, że uzyskane zależności wystąpiły, mimo że część mięśni odpowiedzialnych za funkcje prostowania i zginania w stawie ramiennym nie znajduje się tylko na kończynie górnej, ale swoimi przyczepami sięgają innych segmentów ciała. Część mięśni, znajdujących się na kończynie górnej, jest odpowiedzialna za ruchomość ręki, której siła nie była badana. Podobne wyniki dotyczące związku siły kończyny górnej z jej masą mięśniową dla grupy mężczyzn uzyskali Mroczkowski i wsp. (2015). Jednak dla grupy mężczyzn uzyskane przez nich korelacje były nieco wyższe.

W przeprowadzonych badaniach u kobiet dla kończyny dolnej stwierdzono wysoką dodatnią istotną korelację pomiędzy sumą sił i momentów sił podczas zginania i prostowania w stawie biodrowym, kolanowym i zginaniem podszwawym stawu skokowo-goleniowego w warunkach statyki a masą mięśniową prawej i lewej kończyny dolnej. Podobnie jak dla kończyny górnej, uzyskane zależności wystąpiły, mimo że część mięśni działających na kończynę dolną swoimi przyczepami sięga również innych segmentów ciała. Dotyczy to głównie stawu biodrowego. Na niedokładność wyników mogło wpływać też to, że podczas badań nie badano zginania grzbietowego stawu skokowo-goleniowego, który obsługiwany jest przez określoną grupę mięśni. Podobne wyniki dotyczące związku siły kończyny dolnej z jej masą uzyskali dla grupy mężczyzn Mroczkowski i Spławski (2017). Jednak podobnie jak dla kończyny górnej, uzyskane korelacje dla mężczyzn było nieco wyższe.

Do pomiaru siły maksymalnej w warunkach statyki potrzebna jest maksymalna mobilizacja układu nerwowo mięśniowego badanej osoby. Autor artykułu dopatruje się nieco niższych wyników korelacji uzyskiwanych przez

kobiety z powodu mniejszej ich mobilizacji podczas wykonywania badań. Dla pomiarów siły w warunkach statyki spotyka się często współzawodnictwo wśród studentów w zakresie uzyskiwanego wyników, co stanowiło rzadkość dla pomiarów wśród studentek.

Wnioski

1. Stwierdzono u badanych kobiet wysoką dodatnią korelację pomiędzy sumą sił i momentów sił rozwijanych podczas zginania i prostowania w stawie łokciowym i ramiennym w warunkach statyki z masą mięśniową kończyny górnej.
2. Stwierdzono u badanych kobiet wysoką dodatnią korelację pomiędzy sumą sił i momentów sił podczas zginania i prostowania w stawie biodrowym, kolanowym i zginaniem podszwowy stawu skokowo-goleniowego w warunkach statyki z masą mięśniową kończyny dolnej.
3. Otrzymane wyniki korelacji siły i momentu sił kończyn z ich masą mięśniową potwierdziły przyjęte założenie, że u kobiet, podobnie jak u mężczyzn, większej masie mięśni powinna towarzyszyć ich większa siła rozwijana w warunkach statyki.

Literatura

- BARTOK C., SCHOELLER DALE A. (2004), Estimation of segmental muscle volume by bioelectrical impedance spectroscopy, *J. Appl. Physiol.*, 96(1), s. 161-166.
- BOBER T., ZAWADZKI J. (2003), *Biomechanika układu ruchu człowieka*, Wyd. AWF, Wrocław.
- BUNC V., DLOUHÁ R. (1995), Bioelectrical impedance equation for the determination of body composition in athletes, *J. Sports Sci.*, 13(2), s. 415-415.
- CYGANEK K., KATRA B., SIERADZKI J. (2007), Porównanie pomiarów tkanki tłuszczowej u otyłych pacjentów z zastosowaniem metody bioimpedancji elektrycznej i densytometrii, *„Diabetologia Praktyczna”*, 7(8), s. 473-478.
- FIDELUS K., OSTROWSKA E., URBANIK Cz., WYCHOWAŃSKI M. (1996), *Ćwiczenia laboratoryjne z biomechaniki*, Wydawnictwo AWF, Warszawa.

- KUSHNER R. F., KUNIGK, ALSPAUGH M., ANDRONIS P. T., LEITCH C. A., SCHOELLER D. A. (1990), Validation of bioelectrical – impedance analysis as a measurement of change in body composition in obesity, *Am. J. Clin. Nutr.*, 52(2), s. 219-223.
- LEWITT A., MAĐRO E., KRUPIENICZ A. (2007), Podstawy teoretyczne i zastosowania analizy impedancji bioelektrycznej, „Endokrynologia, Otyłość, Zaburzenia Przemiany Materii”, 3(4), s. 79-84.
- MASTELARZ A. (2008), Reakcja układu mięśniowego na wysiłki o maksymalnej intensywności. Akademia Wychowania Fizycznego Warszawa.
- MROZKOWSKI A., SKRYPKO A. (2011), The Level of Isometric and Dynamic Power of Lower Limb Muscles in Students of Physical Education of the University of Zielona Góra, [w:] *Corrective and Compensating Procedure in Ontogenetic Development Disorders*, red. E. Skorupka, University of Zielona Góra, s. 75-86.
- MROZKOWSKI A., MARUSZCZAK M., WYLEGALSKI S. (2015), Związek siły izometrycznej kończyny górnej z jej masą mięśniową, [w:] *Ontogeneza i promocja zdrowia w aspektach medycyny, antropologii i wychowania fizycznego*, red. nauk. R. Asienkiewicz, E. Skorupka, J. Tatarczuk, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra, s. 339-354.
- MROZKOWSKI A., SPLAWSKI K. (2017), Związek masy mięśniowej kończyny dolnej z jej siłą statyczną, [w:] *Problemy fizičeskoj kul'tury naseleniâ, proživajuščego v usloviâh neblagopriâtnyh faktorov okružajuščej sredy [č. II] : (Materiały XII Międzynarodnoy naučno-praktičeskoj konferencii: Gomel', 5-6 oktâbrâ 2017 goda) / red. O. M. Demidenko . čast' 2 .- Gomel' : Gomel'skij gosudarstvennyj universitet imeni Franciska Skoriny*, s. 48-57.
- MROZOWSKI J., AWREJCEWICZ J. (2004), *Podstawy Biomechaniki*, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź.
- PIETROBELLI A., RUBIANO F., M-P-ST-ONGR AND HEYMSFIELD S. B. (2004), New bioimpedance analis system: improved phenotyping with whole-body analysis, „*European Journal of Clinical Nutrition*”, 58(11), s. 1479-1484.
- PIETROBELLI A., P. MORINI, N. BATTISTINI, G. CHIUMELLO, C. NUNEZ, AND S. B. HEYMSFIELD. (1998), Appendicular skeletal muscle mass: prediction from multiple frequency segmental bioimpedance analysis, „*European Journal of Clinical Nutrition*”, 52(7), s. 507-51.
- RYBAŁKO B. M. (1968), Portatiwnaja ustanowka do izmierienia siły rozlicznych myszecznych grupp, „*Tieoria i Praktika Fizičeskoj Kul'tury*”, 10, s. 8-12.
- SAWICKI F. (1982), *Elementy statystyki dla lekarzy*, PZWL, Warszawa.

TRZASKOMA Z, TRZASKOMA Ł. (2001), Kompleksowe zwiększanie siły mięśniowej sportowców, Wyd. Centralny Ośrodek Sportu, Warszawa.

TRZASKOMA Z. (2003), Maksymalna siła mięśniowa i moc maksymalna kobiet i mężczyzn uprawiających sport wyczynowo, AWF, Warszawa.

Andrzej Mroczkowski

**THE RELATIONSHIP BETWEEN LIMBS STRENGTH DEVELOPED
IN STATIC CONDITIONS AND THEIR MUSCLE MASS IN WOMEN
STUDENTS OF PHYSIOTHERAPY**

Keywords: biomechanics, body composition, moment strength.

The aim of the article was to determine the relationship between the sums of strengths and of bending and straightening moment strengths of the upper and lower limbs in static conditions and their muscle mass in women. The study involved 27 women students of physiotherapy, day-course, at Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa (State Higher Vocational School) in Konin. Strength measurements were performed using a tensometric dynamometer mounted on the supporting frame. The quantitative measurements of body composition were performed with the Tanita BC-148 Segmental Body Composition Analyzer. Taking into consideration the aim of this study, the authors carried out a detailed quantitative analysis of limb muscle mass. The results revealed a high positive, significant correlation between lower limb muscle mass and the sum of strengths and of bending and straightening moment strengths of the knee and hip joints as well as of the plantar flexion of the ankle joint in static conditions. For the upper limb, equally high positive and significant correlation was revealed between its muscle mass and the sum of strengths and bending and straightening moment strengths of the elbow and arm joints.

Andrzej Mroczkowski

ZWIĄZEK SIŁY KOŃCZYN ROZWIJANEJ W WARUNKACH STATYKI Z ICH MASĄ MIĘŚNIOWĄ U STUDENTEK FIZJOTERAPII

Słowa kluczowe: biomechanika, skład ciała, moment siły.

Celem pracy było określenie związku u kobiet sumy sił i momentów sił rozwijanych podczas zginania i prostowania kończyny dolnej i górnej w warunkach statyki z ich masą mięśniową. Badania przeprowadzono na 27-osobowej grupie kobiet studiujących fizjoterapię systemem stacjonarnym w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Koninie. Pomiary siły dokonano dynamometrem tensometrycznym montowanym do ramy stabilizacyjnej. Przeprowadzone pomiary ilościowe komponentów składu ciała zostały wykonane przy użyciu analizatora składu ciała BC-418 firmy „Tanita”. Uwzględniając przedstawiony cel badań, dokonano szczegółowej analizy ilościowej masy mięśniowej kończyn. Otrzymane wyniki wykazały wysoką dodatnią istotną korelację pomiędzy sumą sił i momentów sił rozwijanych podczas zginania i prostowania w stawie kolanowym i biodrowym oraz zginania podszwowego w stawie skokowo-goleniowym w warunkach statyki z masą mięśniową kończyny dolnej. Podobnie dla kończyny górnej otrzymano dodatnią wysoką istotną korelację pomiędzy sumą sił i momentów sił rozwijanych podczas zginania i prostowania w stawie łokciowym i ramiennym z jej masą mięśniową.