

Jarosław KABACIŃSKI¹, Michał MURAWA¹, Tobiasz ŻYŁA¹, Joanna GORWA¹,
Lechosław B. DWORAK²

¹Zakład Biomechaniki, Akademia Wychowania Fizycznego, Poznań

²Katedra Bioniki, Uniwersytet Artystyczny, Poznań

IZOKINETYCZNA OCENA EKSCENTRYCZNEJ SIŁY MIĘŚNI GRUPY TYLNEJ I PRZEDNIEJ UDA SIATKARZY

Streszczenie: W pracy określono wartości wybranych wskaźników ekscentrycznej siły mięśni uda siatkarzy w warunkach izokinetycznych. Ocenie poddano stosunek momentu siły hamstrings do quadriceps (H/Q) oraz bilateralny deficyt maksymalnego momentu siły mięśni (BD) dla prędkości kątowych 30°/s, 60°/s i 90°/s. Wartości maksymalnego H/Q zawierały się od 69.0% (90°/s) do 81.3% (30°/s), natomiast średniego H/Q od 68.6% (90°/s) do 78.7% (30°/s). Ponadto, stwierdzono nieistotny BD (poniżej 7%) dla obu zespołów mięśniowych.

Słowa kluczowe: izokinytyka, siła ekscentryczna, staw kolanowy, piłka siatkowa

1. WSTĘP

Stosunek momentu siły mięśniowej grupy kulszowo-goleniowej (hamstrings) do czworogłowego uda (quadriceps) (H/Q) oraz deficyt bilateralny maksymalnego momentu siły (BD) obu zespołów mięśniowych są uważane za ważne wskaźniki siły zarówno w sporcie jak i w rehabilitacji [7, 8, 14, 15, 18]. Wielkość BD i H/Q mogą determinować specjalne wymagania w sporcie związane z wzorcami ruchowymi podczas biegu czy wyskoku zawodnika [4, 15, 18]. Oprócz przygotowania fizycznego, izokinetyczna ocena BD i H/Q w procesie rehabilitacji okazuje się bardzo przydatna ze względu na istotne znaczenie niewielkiego deficytu siły jednej do drugiej kończyny dolnej (KD) oraz balansu siły mięśniowej pomiędzy zginaczami i prostownikami w ogólnej stabilizacji kolana [5, 13, 20].

U zawodników piłki siatkowej, izokinetyczna ocena siły zginaczy i prostowników stawów kolanowych częściej dotyczyła czynności koncentrycznej, natomiast badaniami ekscentrycznej siły hamstrings i quadriceps zajmowali się nieliczni autorzy [6, 7, 9]. Podczas przeprowadzania izokinetycznego testu dla czynności ekscentrycznej mięśni uda badacze napotykały na wiele trudności takich jak: bardziej złożone wymagania koordynacji, dłuższy czas badania i edukacja badanej osoby [4]. Jednakże ekscentryczny H/Q w porównaniu z wyłącznie koncentrycznym H/Q lepiej odzwierciedla relacje pomiędzy agonistami i antagonistami oraz mechanizm urazu struktur stawowych kolana [1, 4].

Zmniejszenie siły mięśniowej zginaczy z powodu działań kładących nacisk na obciążenia prostowników kolana może prowadzić do dysbalansu mięśniowego pomiędzy hamstrings i quadriceps, który stanowi istotny czynnik ryzyka urazu stawu kolanowego [18]. Skłonność do kontuzji niejednokrotnie wynika z większych obciążeń wewnętrznych struktur więzadłowych stawu kolanowego oraz zmniejszenia koaktywacji hamstrings podczas

obciążeń rozciągających [2, 10, 18]. Co więcej, siły impaktu w fazie lądowania podczas czynności ekscentrycznej mięśni pełniących funkcje prostowania stawów kończyn dolnych mogą niekorzystnie oddziaływać na struktury stawowe kolana.

Celem pracy było określenie wartości wskaźników ekscentrycznej siły mięśniowej hamstrings i quadriceps siatkarzy w warunkach izokinetycznych.

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

W badaniach udział wzięło 7 siatkarzy I zespołu klubu AZS Politechnika Poznańska, występującego w sezonie 2014/2015 w II lidze kraju (wiek: 21.0 ± 1.2 lat, staż zawodniczy: 8.4 ± 2.3 lat, masa ciała: 82.4 ± 11.6 kg, wysokość ciała: 190.4 ± 6.7 cm, BMI: 22.6 ± 1.8 kg/m², Wszyscy zawodnicy deklarowali lewą KD jako dominującą ze względu na wykonywanie z niej odbić w wyskokach. Siatkarze zostali zaznajomieni z urządzeniem badawczym oraz poinstruowani o specyfice protokołu pomiarowego. Badania izokinetyczne ekscentrycznej siły mięśniowej hamstrings i quadriceps wykonano stosując urządzenie pomiarowe Biodex System 3 (Biodex Medical System, Inc., Shirley, New York). W badaniach zastosowano protokół pomiarowy systemu Biodex (isokinetic bilateral, extension/flexion knee pattern, eccentric contraction). Podczas testu siatkarz wykonywał prostowanie i zginanie kolejno prawej i lewej kończyny dla czynności ekscentrycznej w 3 seriach obejmujących prędkości kątowe: 30°/s (7 powtórzeń), 60°/s (5 powtórzeń) i 90°/s (3 powtórzenia). Badania przeprowadzono na początku okresu startowego tj. I rundy rozgrywek ligowych, w dwóch niezależnych terminach przedzielonych krótką, ok. 2-tygodniową, przerwą. Pierwsza sesja pomiarowa miała charakter edukacyjny, natomiast wyniki badań z drugiego terminu poddano dalszej analizie. Przed obiema sesjami pomiarowymi dokonano kalibracji dynamometru systemu Biodex.

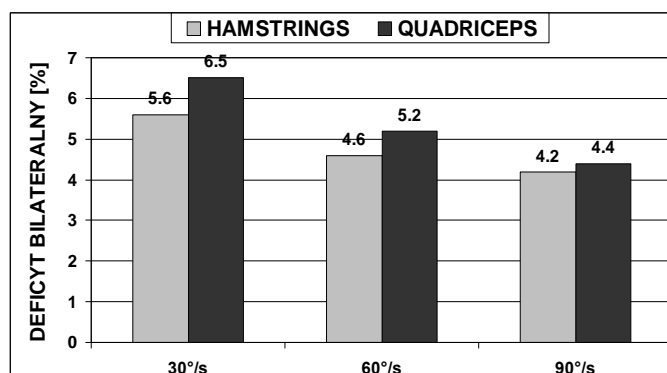
Testy izokinetyczne poprzedzała rozgrzewka, zawierająca marsz i bieg na bieżni oraz ćwiczenia rozciągające dynamicznie zespoły mięśniowe KD badanych. Każdy zawodnik został ustabilizowany w fotelu pomiarowym za pomocą pasów założonych na tułów, biodra oraz udo kończyny wykonującej ruch. Siedzisko stanowiska ustawiono optymalnie do indywidualnych wymagań zawodnika, zapewniając komfort ćwiczeń i bezpieczeństwo osobie badanej. Oś obrotu w stawie kolanowym pokrywała się z osią obrotu dźwigni dynamometru. W pozycji wyjściowej podudzie znajdowało się pionowo względem podłoża i to położenie przyjęto jako 0°. Procedura badań obejmowała również pomiar momentu siły grawitacji przy niepełnym wyproście podudzia w celu skorygowania wartości siły mięśniowej.

Ocenie poddano wartości następujących wskaźników siły mięśniowej: (1) stosunek maksymalnego momentu siły hamstrings do quadriceps (maksymalny H/Q), (2) średni H/Q - wyznaczony na podstawie wartości średnich arytmetycznych maksymalnego momentu siły uda dla każdego powtórzenia w danej serii. Wartości oby dwu stosunków podano w procentach, zgodnie ze wzorem: $(H/Q) \cdot 100\%$, (3) deficyt bilateralny maksymalnego momentu sił mięśniowej (BD) hamstrings i quadriceps. Przy czym $BD = (X_1 - X_2) \cdot 100\% / X_1$, gdzie $X_1 > X_2$ i oznaczają wartości maksymalnego momentu siły uda lewej lub prawej KD.

Analizę statystyczną wartości parametrów charakteryzujących badaną grupę siatkarzy oraz wyników badań izokinetycznych przeprowadzono za pomocą programu Statistica 12.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, USA). Obliczono wartości średnich i ich odchyłeń standardowych wieku, stażu, wysokości i masy ciała, BMI oraz wskaźników ekscentrycznej siły mięśni uda. Do weryfikacji zgodności rozkładów statystycznych analizowanych zmiennych z rozkładem normalnym zastosowano test Shapiro-Wilka ($p < 0.05$). W oparciu o test Wilcoxona ($p < 0.05$) dla zmiennych zależnych, przeprowadzono analizę istotności różnic wartości H/Q pomiędzy prędkościami kątowymi 30°/s i 60°/s oraz 60°/s i 90°/s oraz maksymalnego momentu sił mięśniowej hamstrings i quadriceps pomiędzy lewymi i prawymi KD.

3. WYNIKI BADAŃ

Na rys. 1 przedstawiono wartości BD badanych zawodników, obliczone dla uśrednionych maksymalnych momentów siły mięśni hamstrings i quadriceps.



Rys.1. Wartości BD prawej do lewej KD siatkarzy

W tabeli 1 ujęto wyniki wskaźników ekscentrycznej siły typu maksymalny i średni H/Q siatkarzy dla 3 prędkości kątowych 30°/s, 60°/s i 90°/s.

Tabela 1. Wartości stosunku momentu siły hamstrings do quadriceps (H/Q) siatkarzy

	30°/s		60°/s		90°/s	
	LEWA	PRAWA	LEWA	PRAWA	LEWA	PRAWA
Maksymalny H/Q [%]	79.5±7.8	81.3±16.1	79.0±7.9	80.4±11.7	74.3±9.2	69.0±12.9
Średni H/Q [%]	78.7±8.0	75.4±14.3	76.6±9.0	74.9±17.1	72.4±8.6	68.6±11.0

U badanych siatkarzy stwierdzono nieistotne różnice maksymalnego momentu siły zarówno mięśni hamstrings jak i quadriceps pomiędzy lewymi i prawymi KD (test Wilcoxon, $p < 0.05$). Wartości BD ukształtowały się poniżej 10% (norma systemu Biodex) i wyniosły odpowiednio od 4.2% do 5.6% dla hamstrings oraz od 4.4% do 6.5% dla quadriceps na korzyść lewej KD.

W wyniku izokinetycznej oceny ekscentrycznej siły mięśniowej, otrzymano wartości H/Q w zakresach: od 69.0% (90°/s) do 81.3% (30°/s) (różnica 12.3%) dla szczytowego H/Q oraz od 68.6% (90°/s) do 78.7% (30°/s) (różnica 10.1%) dla średniego H/Q. Wykazano nieistotne różnice H/Q pomiędzy prędkościami kątowymi 30°/s i 60°/s oraz 60°/s i 90°/s (test Wilcoxon, $p < 0.05$).

Biorąc pod uwagę maksymalny H/Q grupa mięśni hamstrings okazała się słabsza od quadriceps o: 20.5% (lewa) i 18.7% (prawa) dla 30°/s, 21.0% (lewa) i 19.6% (prawa) dla 60°/s oraz 25.7% (lewa) i 31.0% (prawa) dla 90°/s. Natomiast w przypadku średniego H/Q zespoły mięśniowe hamstrings były słabsze od quadriceps o: 21.3% (lewa) i 24.6% (prawa) dla 30°/s, 23.4% (prawa) i 25.1% (prawa) dla 60°/s, 27.6% (lewa) i 31.4% (prawa) dla 90°/s.

4. DYSKUSJA

U badanych siatkarzy stwierdzono nieistotne $BD < 7\%$ oraz nieznacznie silniejsze hamstrings i quadriceps lewej KD. W innych badaniach z udziałem zawodników piłki siatkowej również wykazano nieznaczące różnice siły zginaczy i prostowników stawów

kolanowych pomiędzy KD [3, 4, 15, 16, 18, 21]. Występowanie nieistotnych BD obu zespołów mięśni uda u zawodników wyjaśniono zastosowaniem specjalnych obciążeń treningowych w celu uzyskania podobnej siły mięśniowej dla lewej i prawej KD. Zmniejszenie różnic siły mięśniowej hamstrings i quadriceps pomiędzy obiema KD uważa się za pożądane działanie, w szczególności u zawodników wysokiej klasy. Wielkość tego deficytu siły nie dominującej do dominującej KD w obrębie danych normatywnych (poniżej 10-15%) może podkreślać obustronny wzorzec aktywności ruchowej w wybranych dyscyplinach sportu.

Najniższe wyniki ekscentrycznego H/Q otrzymano dla prędkości kątowej 90°/s (zwłaszcza dla prawej KD) w porównaniu z wynikami tych wskaźników dla prędkości 30°/s i 60°/s. Zbyt niska wartość tego wskaźnika siły (poniżej 40%), często spowodowana redukcją siły zginaczy, związanej z wykonywaniem aktywności zwiększającej obciążenia na prostowniki stawów kolanowych, wskazuje na dysbalans siły pomiędzy hamstrings i quadriceps [18]. Co więcej, nieprawidłowy H/Q może zwiększyć ryzyko urazu więzadła krzyżowego przedniego (ACL) podczas lądowań. Niektórzy autorzy predyspozycję do urazu ACL przypisali zmniejszonej koaktywacji hamstrings podczas obciążeń prostowników stawów kolanowych oraz zwiększonym napięciom na ACL [2, 10, 18]. Inni badacze zasugerowali, że osłabione hamstrings wymagają dodatkowych ćwiczeń wzmacniających do ochrony przed nadmiernymi obciążeniami ACL [11, 19].

W przypadku występowania dysbalansu mięśniowego hamstrings do quadriceps, to stabilizatory bierne stawu kolanowego (w tym ACL) w znacznym stopniu są poddawane niekorzystnym obciążeniom zewnętrznym. Szczególnie czynności takie jak lądowania, powtarzające się cyklicznie i przez długi okres czasu oraz wywołujące działanie dużych sił reakcji podłoża, poprzez powstawanie urazów aparatu więzadłowego mogą doprowadzić do jego naderwania lub zerwania. Biorąc pod uwagę piłkę siatkową, podczas lądowań po blokach i zbiciach na układ ruchu zawodnika oddziałują wysokie siły zewnętrzne, równoważone głównie przez grupę quadriceps. Dlatego też, wzmocnienie mięśni uda oraz zrównoważenie H/Q stanowią istotne działania zmierzające do ochrony stawów kolanowych przed bardzo dużymi obciążeniami zewnętrznymi podczas lądowań, kiedy występuje czynność ekscentryczna prostowników do oporujących zginaczy.

Jednym z czynników prewencyjnych w celu zredukowania skali urazów ACL, okazują się bardzo przydatne w procesie szkoleniowym ćwiczenia ekscentryczne, wzmacniające zespoły mięśniowe quadriceps i hamstrings. Wyniki badań ukazują zmniejszoną częstość urazów i zmian przeciążeniowych po wprowadzeniu w plany treningowe ćwiczeń zwiększających siłę, bazujących na czynności ekscentrycznej mięśni. Na przykład trening plyometryczny zawierający zeskoki w głąb przyczynia się do poprawy siły mięśni uda i może wpłynąć na zmniejszenie wysokich sił reakcji podłoża podczas lądowania [11]. Z kolei Nosaka i Clarkson donieśli, że ćwiczenia ekscentryczne wywołują pewien rodzaj adaptacji nerwowo-mięśniowej, który redukuje prawdopodobieństwo uszkodzeń tkanek podczas ćwiczeń [17]. Zwłaszcza trening ekscentryczny, w którym dochodzi do niewielkiego skrócenia włókien, prowadzi do redukcji urazów struktur mięśniowo-stawowych ze względu na niższą siłę generowaną podczas czynności ekscentrycznej. Zastosowanie takiej formy ćwiczeń ekscentrycznych powoduje także powstawanie silniejszego efektu ochronnego i zmniejszenie prawdopodobieństwa doznania urazu.

5. PODSUMOWANIE

Wyniki testów izokinetycznych ekscentrycznej siły hamstrings i quadriceps siatkarzy ujawniły nie znaczące BD uda oraz nie istotnie zróżnicowane wartości maksymalnego i średniego H/Q dla trzech prędkości kątowych 30°/s, 60°/s i 90°/s. Wzmocnienie mięśni

hamstrings i quadriceps, zmniejszenie BD i zrównoważenie izokinetycznego H/Q a także redukcja sił impaktu podczas lądowań po zbiciach i blokach stanowią ważne strategie zapobiegania urazom stawów kolanowych zawodników.

Źródło finansowania: Projekt „Rozwój Sportu Akademickiego” nr RSA2 042 52 MNiSW.

LITERATURA

- [1] Aagaard P., Simonsen E.B., Trolle M., Bangsbo J., Klausen K.: Isokinetic hamstring/quadriceps strength ratio: influence from joint angular velocity, gravity correction and contraction mode, *Acta Physiologica Scandinavica*, vol. 154, no. 4, 1995, p.421-427.
- [2] Baratta R., Solomonow M., Zhou B.H., Letson D., Chuinard R., D'Ambrosia R.: Muscular coactivation. The role of the antagonist musculature in maintaining knee stability, *American Journal of Sports Medicine*, vol. 16, no. 2, 1988, p.113-122.
- [3] Bittencourt N., Amaral G.M., Saldanha dos Anjos M.T., D'Allessandro R., Silva A.A., Fonseca S.T.: Isokinetic muscle evaluation of the knee joint in athletes of the Under-19 and Under-21 Male Brazilian National Volleyball Team, *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, vol. 11, no. 6, 2005, p.331-336.
- [4] Cheung R.T., Smith A.W., Wong D.P.: H:Q ratios and bilateral leg strength in college field and court sports players, *Journal of Human Kinetics*, vol. 33, 2012, p.63-71.
- [5] Croisier J.L., Ganteaume S., Binet J., Genty M., Ferret J.M.: Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study, *American Journal of Sports Medicine*, vol. 36, no. 8, 2008, p.1469-1475.
- [6] D'Alessandro R.L., Paolinelli Silveira E.A., Saldanha dos Anjos M.T., Aurelio da Silva A., Teixeira da Fonseca S.: Analysis on the association between isokinetic dynamometry of the knee's articulation and one-leg horizontal jump, hop test, in volleyball athletes, *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, vol. 11, no. 5, 2005, p.255-258.
- [7] Dauty M., Rochcongar P.: Reproducibility of concentric and eccentric isokinetic strength of the knee flexors in elite volleyball players, *Isokinetic and Exercise Science*, vol. 9, no. 2, 2001, p.129-132.
- [8] Dvir Z.: *Isokinetics. Muscle testing, interpretation and clinical applications*. 2nd Edition. Churchill Livingstone, London, 2004
- [9] Hadzic V., Sattler T., Markovic G., Veselko M., Dervisevic E.: The isokinetic strength profile of quadriceps and hamstrings in elite volleyball players, *Isokinetics and Exercise Science*, vol. 18, no. 1, 2010, p.31-37.
- [10] Hewett T.E., Lindenfeld T.N., Riccobene J.V., Noyes F.R.: The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes: a prospective study, *American Journal of Sports Medicine*, vol. 27, no. 6, 1999, p.699-705.
- [11] Hewett T.E., Stroupe A.L., Nance T.A., Noyes F.R.: Plyometric training in female athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *American Journal of Sports Medicine*, vol. 24, no. 6, 1996, p.765-773.
- [12] Holmes J.R., Alderink G.J.: Isokinetic strength characteristics of the quadriceps femoris and hamstrings muscles in high school students, *Physical Therapy*, vol. 64, no. 6, 1984, p.914-918.
- [13] Kannus P.: Ratio of hamstrings to quadriceps femoris muscles' strength in the anterior cruciate ligament insufficient knee: relationship to long-term recovery, *Physical Therapy*, vol. 68, no. 6, 1988, p.961-965.
- [14] Kong P.W., Burns S.F.: Bilateral difference in hamstrings to quadriceps ratio in healthy males and females. *Physical Therapy in Sport*, vol. 11, no. 1, 2010, p.12-17.

- [15] Magalhães J., Oliveira J., Ascensão A., Soares J.: Concentric quadriceps and hamstrings isokinetic strength in volleyball and soccer players, *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, vol. 44, no. 2, 2004, p.119-125.
- [16] Michnik R., Jurkojć J., Guzik-Kopyto A., Czapla K.: Biomechanical evaluation of volleyball players force and velocity skills, In: *Recent advances in integrity-reliability-failure. Proceedings of the 4th International Conference on Integrity, Reliability and Failure*, Funchal, Portugal, 23-27 June 2013. Eds. J.F. Silva Gomes and Shaker A. Meguid. Porto: INEGI - Instituto de Engenharia Mecanica e Gestao Industrial, 2013, p.339-340.
- [17] Nosaka K., Clarkson P.M.: Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 27, no. 9, 1995, p.1263-1269.
- [18] Rosene J.M., Fogarty T.D., Mahaffey B.L.: Isokinetic hamstrings: quadriceps ratios in intercollegiate athletes, *Journal of Athletic Training*, vol. 36, no. 4, 2001, p.378-383.
- [19] Salci Y., Kentel B.B., Heycan C., Akin S., Korkusuz F.: Comparison of landing maneuvers between male and female college volleyball players, *Clinical Biomechanics*, vol. 19, no. 6, 2004, p.622-628.
- [20] Strover A., Dvir Z.: Quadriceps strength and pain during isokinetic concentric and eccentric contractions before and after arthroscopic of synovial plicae, *Isokinetics and Exercise Science*, vol. 5, no. 2, 1995, p.99-102.
- [21] Teixeira J., Carvalho P., Moreira C., Santos R.: Isokinetic assessment of muscle imbalances and bilateral differences between knee extensores and flexores' strength in basketball, football, handball and volleyball athletes, *International Journal of Sports Science*, vol. 4, no. 1, 2014, p.1-6.

ISOKINETIC EVALUATION OF HAMSTRINGS AND QUADRICEPS ECCENTRIC MUSCLES STRENGTH IN VOLLEYBALL PLAYERS

Abstract: In the study the values of selected indicators of thigh eccentric isokinetic strength in volleyball athletes at angular velocities 30°/s, 60°/s and 90°/s was determined. The evaluation included the hamstrings to quadriceps torque ratio (H/Q) and peak torque bilateral deficit (BD). The peak H/Q values ranged from 69.0% (90°/s) to 81.3% (30°/s), whereas average H/Q values ranged from 68.6% (90°/s) to 78.7% (30°/s). Moreover, no significant BD values (less than 7%) were found for both muscle groups.