

BIOMECHANICAL ASSESSMENT OF THE STRENGTH OF VOLLEYBALL PLAYERS IN DIFFERENT STAGES OF THE TRAINING MACROCYCLE

MARCIN ŚLIWA¹, TOMASZ SACEWICZ²

Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw, Faculty of Physical Education and Sport in Biała Podlaska, Department of Football and Volleyball¹, Department of Biomechanics and Computer Science²

Mailing address: Marcin Śliwa, Faculty of Physical Education and Sport, Department of Football and Volleyball, 2 Akademicka Street, 21-500 Biała Podlaska, tel.: +48 83 3428879, fax: +48 83 3428800, e-mail: marcin.sliwa@awf-bp.edu.pl

Abstract

Introduction. In order to help volleyball players achieve superior results, their coaches are constantly seeking new training methods. One of the methods used to improve the effectiveness of the training that is being implemented is conducting tests which make it possible to assess the player's locomotor system in terms of its motor and biomechanical functions. The aim of the study was to determine the torque of the knee flexor and extensor muscles of volleyball players in three stages of the annual macrocycle. **Material and methods.** The study involved 14 volleyball players. Torque was assessed using the BIODEX System 4 Pro at the angular velocities of 60°/s and 180°/s, in three periods of the annual training macrocycle. **Results.** After the preparatory training period, there was a statistically significant increase in the torque of the flexor and extensor muscles of the lower limbs, both for the lower velocity ($p \leq 0.02$ for the right limb and $p \leq 0.024$ for the left limb) and the higher one ($p \leq 0.03$ for the right limb and $p \leq 0.034$ for the left limb). After the preliminary round, statistically insignificant changes were found for the torque values obtained at both velocities. **Conclusions.** The study showed that frequent monitoring of players can help assess their strength capacity in a more reliable way. The results of such measurements carried out in different periods of the volleyball season can help evaluate the players' strength at a given moment, verify and modify the training methods which are being used, and approach each player individually.

Key words: volleyball, knee joint, muscle torque, annual macrocycle

Introduction

Preparing volleyball players for the game is a responsible task. Coaches need to implement the training in a well thought out and organised way, with due diligence, and without risking the health of the players. In order for the players to accomplish the training goals and tasks, it is necessary to maximise the effectiveness and efficiency of the training. There are two basic sources of knowledge concerning this issue. The first one is scientific research that indicates which training methods and techniques are the most effective. The second source is the coaches and players, who have the opportunity to test the results of research studies, on the one hand, and who develop training programmes, on the other [1]. Verifying the results of research makes it possible both to foster the development of superior skills in a given sports discipline and to minimise the risk of injury [2, 3].

One of the key research methods used is the measurement of strength or speed-strength, which helps assess the locomotor system in terms of its motor and biomechanical functions. Analysing the muscle strength of a given player by comparing it to normative data makes it possible to assess their skills in relation to those of other players with similar somatic features [2, 4, 5] and identify any strength deficit between the two limbs [6].

The players' speed-strength and strength capacities can

be assessed based on measuring the torque of the muscles of their upper or lower limbs. Such measurements are conducted under isometric [2, 5, 7, 8] or isokinetic conditions [6, 9, 10, 11]. The strength capacity of a player can also be evaluated using appropriate biomechanical models [12, 13]. The results of measurements or computer simulations provide substantial quantitative and qualitative data concerning the player's fitness level and the effectiveness of the training methods applied.

An analysis of the literature on the subject reveals that there are many publications which present isokinetic studies involving volleyball players conducted both in Poland and in other countries. The isokinetic method is one of the methods which are used the most frequently to assess the strength capacity of the groups of muscles which act on the knee joint and evaluate the function of the knee joint after injuries have been sustained [14, 15, 16, 17]. Such studies have involved, among others, the members of the national teams of Brazil [8], Spain [18], and Australia [10, 19], as well as league players [5, 20, 21, 22, 23].

Regular isokinetic tests conducted over a longer period of time also make it possible to monitor various types of changes caused by the annual training programme [18, 24]. In the research mentioned above [18, 24] the tests were carried out twice and three times, but only one was performed during the annual competitive macrocycle. Thus, they did not illustrate the changes in the torque of the flexors and extensors of the knee joint in the macrocycle.

Taking the above into consideration, the aim of the current study was to determine the changes in the torque of the knee flexors and extensors in the annual macrocycle in a group of volleyball players.

Material and methods

The study was conducted among 14 volleyball players from a second-league team. Basic anthropometric data (the mean and standard deviation, SD) are shown in table 1. All of the subjects declared that their dominant lower limb was the right one. Before the measurements were performed, the subjects were informed about the aim of the study and consented to participating in it. The study was approved by the Senate Ethics Committee of the University of Physical Education in Warsaw.

Table 1. Anthropometric data of the volleyball players (N = 14)

	Age [years]	Height [cm]	Body mass [kg]	BMI [kg/m ²]
Mean	21.6	190.3	86.1	23.67
SD	2.6	3.64	7.84	1.7

The torque of the knee flexors and extensors was measured using Biodex System Pro 4. The measurements were conducted at the end of three different periods of the annual macrocycle: the transition period (first measurement), the preparatory period (second measurement), and the competitive period (third measurement). During the transition period, the subjects performed recreational exercise (they played football, beach volleyball, and basketball, as well as doing running). In the remaining two periods, the team trained five times a week, and two training sessions were devoted to strength training. Strength training in the preparatory period involved high-intensity exercise, while that in the competitive period focused on high-volume exercise.

Before each measurement was conducted, the subjects were immobilised so that the movement in the knee joint could be isolated. They were instructed and verbally encouraged to flex and extend the muscles acting on the knee joint with as much force as possible. The test consisted of two series of movement. In the first one, the subjects performed 5 cycles of flexing and extending the knee joint muscles at an angular velocity of 60°/s, and in the second one, they performed 10 cycles of flexing and extending their muscles at an angular velocity of 180°/s. The measurement was performed for both lower limbs. Each measurement was preceded with a 10-minute warm-up consisting in running continuously at a pace of the subjects' choice.

The values obtained in the measurement of muscle torque were analysed statistically in order to establish whether the differences between different phases of the macrocycle were statistically significant. First, the data was tested for normality of distribution and homogeneity of variances using the Shapiro-Wilk test and Bartlett's test. As the data was found to be normally distributed and to have equal variances, a one-way ANOVA test with repeated measures was performed. In the final stage of statistical testing, the Bonferroni test was used to interpret the significant differences between the mean values of the variables.

Results

The strength capacity of the volleyball players was assessed based on the maximum values obtained for the torque of the

knee flexors and extensors in isokinetic measurement at the angular velocities of 60°/s and 180°/s (fig. 1).

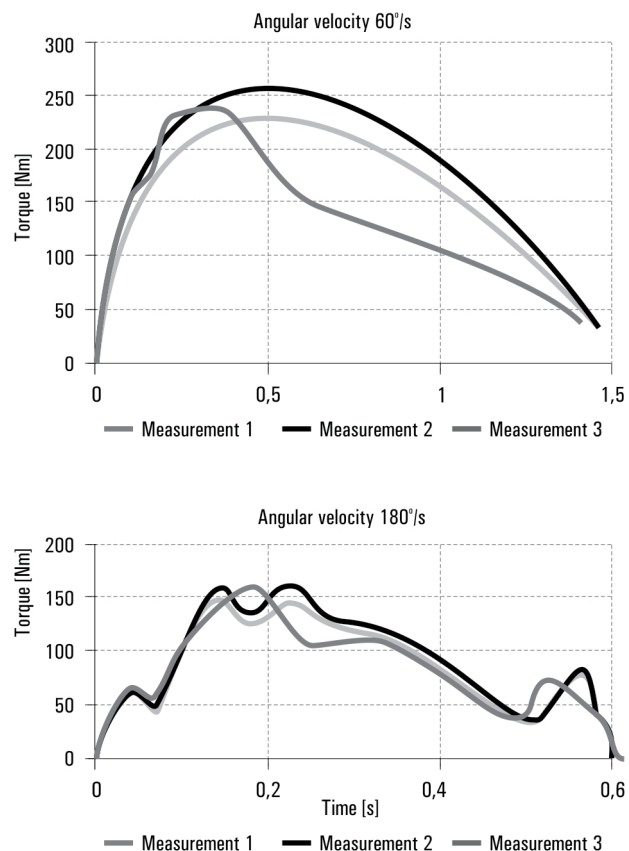


Figure 1. Sample torque-time curve of the knee extensors of a libero player at the velocities of 60°/s and 180°/s

The changes in peak torque values of the knee flexors and extensors in the three phases of the annual macrocycle are presented in figures 2 and 3. As far as the measurements conducted at the velocity of 60°/s are concerned, it was found that after the preparatory period, there was a mean increase of 9.6% in the torque of both the flexors and extensors of both lower limbs (fig. 2). The third measurement, which took place after the preliminary round of the season, revealed a slight decrease in mean peak torque values (of 2.4%), although those obtained for the extensors of the left limb had risen by 1.3%. The only differences which were statistically significant were those between the values of the torque of the extensors between the first and second measurements ($p \leq 0.02$ for the right limb and $p \leq 0.024$ for the left one).

As for the data obtained in the measurement performed at the velocity of 180°/s, it was found that the peak torque of the flexors and extensors of both limbs had increased by 10% between the first and second measurements (fig. 3). Moreover, the analysis revealed that there had been a mean increase in torque values obtained for the flexors and extensors between the second and third measurements (of 2.7%); however, the torque of the flexors had decreased by 1.6% and that of the extensors of the left limb had increased by 8.3%. Similarly as was the case with the velocity of 60°/s, the only differences found for the velocity of 180°/s which were statistically significant were those between the torque values obtained for the extensors of both limbs between the first and second measurements ($p \leq 0.03$ for

the right limb and $p \leq 0.034$ for the left one).

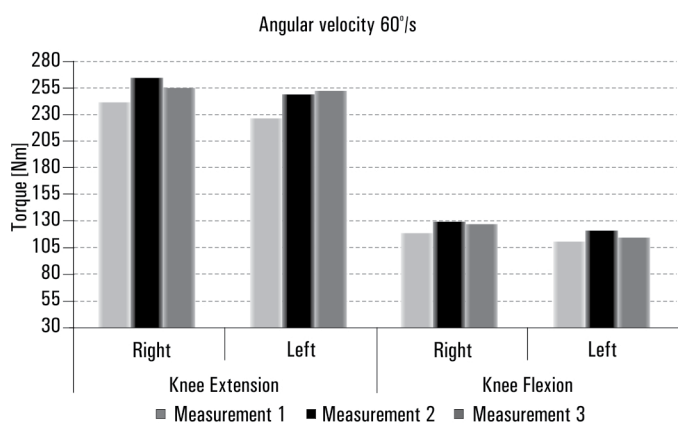


Figure 2. Mean peak torque of the knee flexors and extensors of the right and left limbs in different periods of the macrocycle measured at the velocity of 60°/s

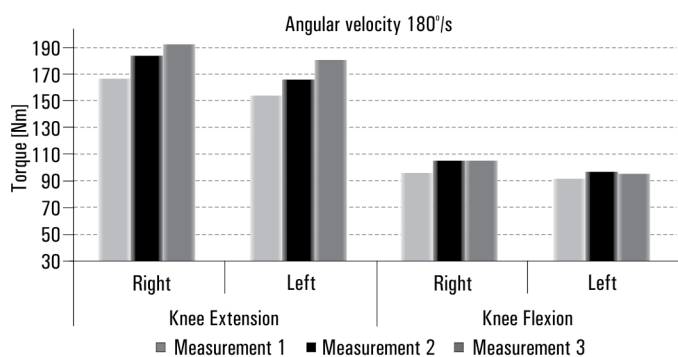


Figure 3. Mean peak torque of the knee flexors and extensors of the right and left limbs in different periods of the macrocycle measured at the velocity of 180°/s

When the peak torque values obtained for the flexors and extensors of both limbs were compared, the muscles of the right limb were found to be stronger at the velocities of both 60°/s and 180°/s. The difference for the velocity of 60°/s ranged from 0.7% to 6.0% for the extensors and 6.5% to 9.7% for the flexors. At the velocity of 180°/s, this difference ranged from 5.1% to 9.3% for the extensors and 4.9% to 6.6% for the flexors.

Table 2. Peak flexor to extensor (H:Q) torque ratio values obtained for the right and left limbs at the velocities of 60°/s and 180°/s

MEASUREMENT	LIMB	60°/s	180°/s
Measurement 1	Right	49.2%	57.4%
	Left	48.9%	60.1%
Measurement 2	Right	49.1%	57.2%
	Left	48.6%	59.8%
Measurement 3	Right	50.1%	55.2%
	Left	45.5%	54.3%

Based on the data obtained in the measurements, it was possible to calculate the peak flexor to extensor torque ratio

(H:Q ratio), which served as an indicator of muscle strength. At the velocity of 60°/s, its mean value was 49.7% for the right limb almost in all of the measurements and 47.7% for the left limb. At the velocity of 180°/s, this ratio amounted to 56.6% for the right limb and 58.1% for the left one (tab. 2).

Discussion

An increase in maximum strength, speed, or both as a result of the training improved the players' muscle power [25, 26, 27]. In a study concerning velocity in strength training [28], it was found that exercise with heavy loads done at a slow pace helps increase maximum strength and power in movement performed at a low velocity, while dynamic exercise with lighter loads causes an increase in strength and power for faster movement. In volleyball, more than 70% of the movement requires speed-strength [29], and for this reason, the players' strength training in the preparatory period focused on strength only, while in the competitive period of the macrocycle, this training was aimed at increasing or maintaining the players' dynamics.

The research described in this article made it possible to measure the torque of the flexors and extensors of the knee joint in isokinetic conditions at the angular velocities of 60°/s and 180°/s. An analysis of peak torque values obtained for muscles acting on the knee joint in various periods of the annual training macrocycle showed that after the preparatory period, there was an increase in the strength of the muscles of both the right and left limbs at both velocities, compared to the measurement conducted after the transition period. The increase in the players' strength was satisfactory, and it amounted to approximately 8% at the velocity of 60°/s and over 9% at that of 180°/s. In a study involving top wrestlers, the sum of peak muscle torque values increased significantly by 4.8% after the preparatory period, and it fell to the initial level after the competitive period [30]. As far as the results of research involving volleyball players are concerned, it was found that after six months of training, the strength of the main muscle groups had improved by 4.8% and that of the upper limbs by 13.9%, while the torque values obtained for the lower limbs and trunk had increased by 3.4% and 1.3%, respectively, though this increase was not statistically significant [31].

After the preliminary round of the season, the results of the measurement changed depending on the velocity of the test. At the velocity of 60°/s, a decrease in strength compared to the second measurement was observed, and at the velocity of 180°/s, the strength of the muscles acting on the knee joint was found to have increased or remained the same. The increase in strength at the velocity of 180°/s was most likely due to the fact that the players had been performing high volume training, that is training involving lighter loads and faster repetitions.

A comparison of the mean peak torque values obtained for the knee flexors and extensors of the right and left limbs showed that in all cases, for both the velocity of 60°/s and that of 180°/s, this difference was less than 10%. This proves that there was no asymmetry between the two limbs, and these results can be seen as satisfactory [6, 14]. However, a lack of asymmetry is not the norm, since in studies involving female gymnasts, the asymmetry between the right and left limbs was as high as 17% in some cases [32].

When one compares the flexor to extensor ratio (H:Q ratio) with the available norm (61% for the velocity of 60°/s and 72% for the velocity of 180°/s) [6, 33, 34], it is visible that the ratio in the study was considerably lower than the norm for both velocities. The results obtained show that there was a deficit of strength in the knee flexors compared to the extensors. This study thus confirms the observations of other authors [21, 22] who found that the extensors tend to dominate over the flexors

of the knee joint in competitive volleyball players and saw this phenomenon as typical of this sports discipline.

Conclusions

The methodology and results of the current study made it possible to perform an objective assessment of the strength of the volleyball players who participated in the study.

In most cases, the results of the measurements which were conducted proved that the training methods used in the macrocycle were appropriate for the players, since there was an increase in torque values obtained for the muscles acting on the knee joint after the preparatory period, while the long and exhausting preliminary round of the season caused a decrease in the strength of the lower limbs at a low velocity.

The results of such measurements carried out in different periods of the volleyball season can help assess the players' strength capacity at a given moment, verify and modify the training methods which are being used, and adopt an individual approach to each player.

Acknowledgements

The research was financed from the research project implemented by Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw, the Faculty of Physical Education and Sport in Biała Podlaska – MN.IV/1 – sponsored by the Polish Ministry of Science and Higher Education. The research was also partially financed from grant number 0045/RS3/2015/53 for the "Development of Sports through Universities" awarded by the Ministry of Science and Higher Education.

Literature

- Superlak E. (1995). *Volleyball. Technical and tactical preparation for the game*. Wrocław: Infovolley. [in Polish]
- Buśko K. (2006). An analysis of the impact of training programmes of different intensity structures on the maximum strength and power of lower limb muscles. *Studia i Monografie* 109. Warsaw: AWF Warszawa. [in Polish]
- Czaplicki A. (2009). *Modelling in natural coordinates in biomechanics*. Biała Podlaska: AWF Warszawa, WWFiS Biała Podlaska. [in Polish]
- Król H. (2007). Speed-strength performance of ski jumpers. In Cz. Urbanik (ed.), *Biomechanics of movement: selected issues* (pp. 115-121). Warsaw: AWF Warszawa. [in Polish]
- Wilkosz P. (2009). *Isokinetic assessment of the knee flexors and extensors in competitive volleyball players*. Doctoral thesis. Uniwersytet Medyczny, Poznań. [in Polish]
- Jarocka M., Czaplicki A. (2013). The influence of therapeutic training on changes in selected biomechanical variables after an anterior cruciate ligament reconstruction. *Polish Journal of Sport and Tourism* 20(1), 13-18.
- Jaszczuk J., Wit A., Trzaskoma Z., Iskra L., Gajewski J. (1988). Biomechanical criteria of muscle force evaluation in the aspect of top-level athletes selection. *Biology of Sport* 5(1), 51-64.
- Trzaskoma Z. (2003). Maximum muscle strength and power in competitive sportsmen and sportswomen. *Studia i Monografie* 94. Warsaw: AWF Warszawa. [in Polish]
- Bittencourt N.F.N., Amaral G.M., Saldanha dos Anjos M.T., D'Alessandro R., Silva A.A., Fonseca S.T. (2005). 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* (11)6, 302-306.
- Sheppard J.M., Chapman W.D., Gough C., McGuigan M., Newton R.U. (2009). Twelve-month training-induced changes in elite international volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(7), 2096-2101.
- Zabka F.F., Valente H.G., Pacheco A.M. (2011). Isokinetic evaluation of knee extensor and flexor muscles in professional soccer players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte* 17(3), 189-192.
- Czaplicki A., Dziewiecki K., Sacewicz T. (2012). Identification of internal loads at the selected joint and validation of a biomechanical model during performance of the hand-spring front somersault. *Acta Mechanica et Automatica* 6(2), 28-32.
- Dziewiecki K., Blajer W., Mazur Z., Czaplicki A. (2013). Contact modeling and inverse dynamics identification of the handspring front somersault in pike position. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-body Dynamics* 227(4), 330-343.
- Ciemińska-Gorzela K. (2010). *Knee joint function after anterior cruciate ligament reconstruction*. Doctoral thesis. Uniwersytet Medyczny, Poznań. [in Polish]
- Hadzic V., Sattler T., Markovic G., Veselko M., Dervisevic E. (2010). The isokinetic strength profile of quadriceps and hamstrings in elite volleyball players. *Isokinetics and Exercise Science* 18, 31-37. DOI:10.3233/IES-2010-0365
- West T., Ng L., Campbell A. (2014). The effect of ankle bracing on knee kinetics and kinematics during volleyball-specific tasks. *Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports* 24, 958-963. DOI:10.1111/sms.12130
- Ribeiro F., Santos F., Goncalves P., Oliveira J. (2014). Effects of volleyball match-induced fatigue on knee joint position sense. *European Journal of Sport Science* 8(6), 397-402. DOI:10.1080/02614360802373060
- Borras X., Balius X., Drobnic F., Galilea P. (2011). Vertical jump assessment on volleyball: a follow-up of three seasons of a high-level volleyball team. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25(6), 1686-1694.
- Sheppard J.M., Nolan E., Newton R.U. (2012). Changes in strength and power qualities over two years in volleyball players transitioning from junior to senior national team. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26(1), 152-157.
- Rodriguez-Ruiz D., Rodriguez-Matoso D., Quiroga M.E., Sarmiento S., Garcia-Manso J.M., Da Silva-Grigoletto M. (2012). Study of mechanical characteristics of the knee extensor and flexor musculature of volleyball players. *European Journal of Sport Science* 12(5), 399-407. DOI:10.1080/17461391.2011.568633
- Markou S., Vagenas G. (2006). Multivariate isokinetic asymmetry of the knee and shoulder in elite volleyball players. *European Journal of Sport Science* 6(1), 71-80. DOI:10.1080/17461390500533147
- Michnik R., Jurkojć J., Czapla K. (2012). Biomechanical assessment of the strength capacity of female volleyball players. *Modelowanie Inżynierskie* 44, 302-306. [in Polish]
- Friedrich H., Vetter K. (2003). The value of strength-diagnostic for the structure of jump training in volleyball. *European Journal of Sport Science* 3, 1-10.
- Sheppard J.M., Newton R.U. (2012). Long-term training adaptations in elite male volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26(8), 2180-2184.
- Häkkinen K., Komi P.V., Alén M., Kauhanen H. (1987). EMG, muscle fiber and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight lifters. *European Journal of Applied Physiology* 56, 419-427.
- Häkkinen K. (2000). Neuromuscular adaptation to strength training in men and women and strength athlete. In C.P.

- Lee (ed.), *2nd International Conference on "Weightlifting and Strength Training"* (pp. 5-9). Ipoh, Malaysia: Pro Muscle, Department of Education.
27. Jones K., Bishop P., Hunter G., Fleisig G. (2001). The effects of varying resistance-training loads on intermediate- and high-velocity-specific adaptations. *Journal of Strength & Conditioning Research* 15(3), 349-356.
 28. Kanehisa H., Miyashita M. (1983). Specificity of velocity in strength training. *European Journal of Applied Physiology* 52(1), 104-106.
 29. Grządziel G., Ljach W. (2000). *Volleyball*. Warsaw: COS. [in Polish]
 30. Janiak J., Gajewski J. (1999). Changes in maximum muscle strength in wrestlers in the annual training cycle. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 1 (suppl. 1), 203-206. [in Polish]
 31. Trzaskoma Z., Buśko K., Gajewski J. (2004). Assessment of the level of fitness of sportspersons based on selected biomechanical indicators. In R. Będziński (ed.), *Biomechanics and Rehabilitation Engineering* (pp. 663-679). Warsaw: Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit. [in Polish]
 32. Jurkojć J., Michnik R., Skubacz H., Ziółkowska E. (2012). Measuring the muscle torque of gymnasts in isokinetic conditions. *Modelowanie Inżynierskie* 45, 156-160. [in Polish]
 33. Coombs R., Garbutt G. (2002). Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance. *Journal of Sports Science and Medicine* 1(3), 56-62.
 34. Sompong Y., Sirirat H., Thyon C. (2002). Hamstring to quadriceps strength ratio in Mahidol University soccer players. *Journal of Health Science* 11(5), 681-692.

Submitted: June 17, 2015

Accepted: August 31, 2015

BIOMECHANICZNA OCENA ZDOLNOŚCI SIŁOWYCH SIATKARZY W RÓŻNYCH OKRESACH ROCZNEGO MAKROCYKLU TRENINGOWEGO

MARCIN ŚLIWA¹, TOMASZ SACEWICZ²

*Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie,
Wydział Wychowania Fizycznego w Białej Podlaskiej, Zakład Piłki
Nożnej i Siatkowej¹, Zakład Biomechaniki i Informatyki²*

Adres do korespondencji: Marcin Śliwa, Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu,
Zakład Piłki Nożnej i Siatkowej, ul. Akademicka 2, 21-500 Biała Podlaska,
tel.: 83 3428879, fax: 83 3428800, e-mail: marcin.sliwa@awf-bp.edu.pl

Streszczenie

Wprowadzenie. Osiąganie coraz to lepszych wyników przez zawodników grających w piłkę siatkową powoduje, że trenerzy zmuszeni są do poszukiwania nowych metod treningowych. Bardzo często wykorzystuje się badania oceniające układ ruchowy zawodnika pod kątem motorycznym i biomechanicznym. Celem badań było określenie poziomu momentów sił mięśniowych prostowników i zginaczy stawu kolanowego siatkarzy w trzech okresach makrocyklu rocznego. **Materiał i metody.** Badania przeprowadzono na 14 siatkarzach. Pomiaru momentów sił mięśniowych mięśni dokonano na stanowisku BIODEX System 4 Pro przy prędkościach 60°/s i 180°/s w trzech okresach rocznego makrocyklu treningowego. **Wyniki.** Po okresie przygotowawczym nastąpił istotny statystycznie wzrost wartości momentów siły prostowników kończyn dolnych zarówno dla mniejszej ($p \leq 0,02$ dla kończyny prawej oraz $p \leq 0,024$ dla kończyny lewej) jak i większej prędkości ($p \leq 0,03$ dla kończyny prawej oraz $p \leq 0,034$ dla kończyny lewej). Po rundzie zasadniczej sezonu odnotowano nieistotne statystycznie zmiany wartości momentów siły przy obu prędkościach. **Wnioski.** Badania pokazały, że częste monitorowanie zawodników pozwala rzetelnie ocenić ich zdolności siłowe. Wyniki pomiarów w różnych okresach sezonu siatkarskiego pozwalają na bieżącą ocenę zdolności siłowych, a w konsekwencji na weryfikowanie i modyfikowanie metod stosowanych podczas treningu oraz indywidualne podejście do poszczególnych zawodników.

Słowa kluczowe: piłka siatkowa, staw kolanowy, momenty sił mięśniowych, makrocykl roczny

Wstęp

Właściwe przygotowanie zawodnika do gry w piłkę siatkową jest odpowiedzialnym zadaniem. Trenerzy zobowiązani są prowadzenia treningu w sposób przemyślany, z należytą starannością, bez szkody dla zdrowia swoich podopiecznych. Do realizacji celów i zadań treningowych niezbędne jest zwiększanie efektywności i skuteczności treningu, a wiedzę o tym można czerpać z dwóch źródeł. Pierwszym z nich są badania naukowe pokazujące kierunki oraz sposoby postępowania treningowego. Drugim źródłem są trenerzy i zawodnicy, którzy z jednej strony weryfikują wyniki badań naukowych zaś z drugiej są twórcami programów treningowych [1]. Weryfikacja wyników pozwala na doskonalenie mistrzostwa sportowego, jak również na minimalizację ryzyka doznania kontuzji [2, 3].

Poczesne miejsce wśród metod badawczych zajmują pomiary zdolności siłowych lub siłowo-szybkościowych, które pozwalają ocenić układ ruchu człowieka pod kątem motorycznym i biomechanicznym. Analizując siłę mięśniową zawodnika w stosunku do przyjętych norm można określić jego poziom względem innych sportowców o zbliżonych parametrach somatycznych [2, 4, 5] oraz wskazać deficyt siły mięśni kończyny prawej do lewej [6].

Zdolności siłowe oraz siłowo-szybkościowe zawodników można ocenić na podstawie pomiarów momentów sił mięśniowych

działających w obrębie stawów kończyn górnych lub dolnych. Tego typu pomiary prowadzi się w warunkach izometrycznych [2, 5, 7, 8], bądź izokinetycznych [6, 9, 10, 11]. Ocenę zdolności siłowych zawodników umożliwia również wykorzystanie stosownych modeli biomechanicznych [12, 13]. Wyniki pomiarów lub symulacji komputerowych dostarczają wiele jakościowych oraz ilościowych informacji odnośnie poziomu wytrenowania zawodnika, a także trafności doboru metod treningowych.

Analizując literaturę napotkać można wiele pozycji zarówno krajowych jak i zagranicznych odwołujących się do badań izokinetycznych, które zostały prowadzone na siatkarzach. Jest to jedna z najczęściej stosowanych metod do oceny możliwości siłowych grup mięśniowych działających na staw kolanowy oraz do badań funkcji stawu kolanowego po przebytych kontuzjach [14, 15, 16, 17]. Badania takie prowadzono na reprezentantach drużyn narodowych Brazylii [8], Hiszpanii [18] Australii [10, 19], jak również na zawodnikach ligowych [5, 20, 21, 22, 23].

Regularne badania izokinetyczne w dłuższym okresie dają również możliwość zaobserwowania zmian wywołanych rocznym programem treningowym [18, 24]. W obu wymienionych pracach badania przeprowadzono dwukrotnie i trzykrotnie, ale tylko raz w trakcie rocznego makrocyklu startowego. Nie dały one zatem obrazu zmian wartości momentów sił mięśniowych

prostowników i zginaczy stawu kolanowego w trakcie makrocyklu.

Biorąc powyższe pod uwagę, celem pracy było określenie zmian wartości momentów sił prostowników i zginaczy stawu kolanowego podczas makrocyklu rocznego siatkarzy.

Materiał i metody

Badania zostały przeprowadzone w grupie 14 zawodników drużyny siatkarskiej grającej w drugiej lidze. Podstawowe dane antropometryczne badanych (średnia, odchylenie standardowe SD) zamieszczono w tabeli 1. Wszyscy badani zadeklarowali, że mają prawą dominującą kończynę dolną. Przed rozpoczęciem pomiarów zawodnicy zostali poinformowani o celu badań i wyrazili na nie zgodę. Program badań został zaaprobowany przez Senacką Komisję Etyki Akademii Wychowania Fizycznego w Warszawie.

Tabela 1. Dane antropometryczne badanych siatkarzy (N = 14)

	Wiek [lata]	Wysokość ciała [cm]	Masa ciała [kg]	Wskaźnik BMI [kg/m ²]
Średnia	21,6	190,3	86,1	23,67
SD	2,6	3,64	7,84	1,7

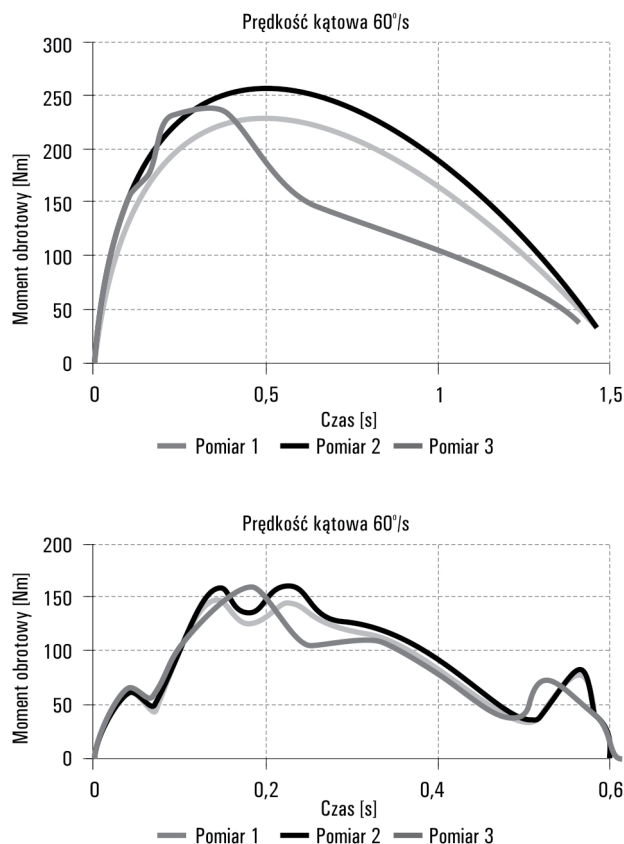
Do pomiarów momentów sił mięśniowych prostowników i zginaczy stawu kolanowego wykorzystano stanowisko pomiarowe Biodex System Pro 4. Pomiary przeprowadzono w trzech okresach rocznego makrocyklu: na zakończenie okresu roztrenowania (pomiar I), okresu przygotowawczego (pomiar II) i okresu startowego (pomiar III). W okresie roztrenowania badani prowadzili rekreacyjny tryb życia (gra w piłkę nożną, piłkę siatkową plażową, koszykówkę, biegi). W dwóch pozostałych okresach zespół trenował pięć razy w tygodniu z czego dwa treningi poświęcone były na kształtowanie siły. Treningi siłowe w okresie przygotowawczym charakteryzowały się ćwiczeniami o dużej intensywności, z kolei w okresie startowym dominowały ćwiczenia o dużej objętości.

Każdy zawodnik przed przystąpieniem do pomiarów został unieruchomiony aby wyizolować ruch w badanym stawie. Badanych poinstruowano i zachęcano werbalnie do wykonywania ruchów zginania i prostowania w stawie kolanowym z możliwie maksymalną siłą. Próba składała się z dwóch serii. W pierwszej należało wykonać 5 cykli prostowania/zginania w stawie kolanowym przy prędkości 60°/s, w drugiej 10 cykli prostowanie/zginanie w stawie kolanowym przy prędkości 180°/s. Badanie przeprowadzone zostało dla obydwu kończyn. Wszystkie pomiary zostały poprzedzone 10-cio minutową rozgrzewką polegającą na biegu ciągłym w dowolnym tempie.

Empiryczne wartości momentów sił mięśniowych zostały poddane analizie statystycznej w celu stwierdzenia występowania istotnych różnic pomiędzy nimi w różnych fazach makrocyklu. W pierwszej kolejności sprawdzono normalność rozkładu i jednorodność wariancji danych pomiarowych wykorzystując testy Shapiro-Wilka i Bartletta. Wobec normalności rozkładów i jednorodności wariancji danych pomiarowych w dalszej kolejności zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA) z powtarzanymi pomiarami. W ostatnim etapie analizy statystycznej zastosowano test Bonferroniego umożliwiający szczegółową interpretację istotnych różnic pomiędzy średnimi wartościami badanych zmiennych.

Wyniki

Oceny zdolności siłowych siatkarzy dokonano na podstawie uzyskanych wartości maksymalnych momentów sił mięśniowych prostowników i zginaczy podczas próby izokinetycznej przy prędkości 60°/s i 180°/s (ryc. 1).

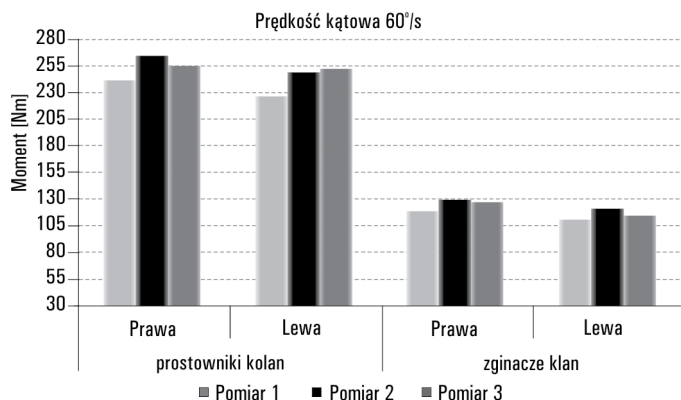


Rycina 1. Przykładowy przebieg momentów sił mięśniowych prostujących staw kolanowy prawy zawodnika grającego na pozycji libero przy prędkości 60°/s i 180°/s

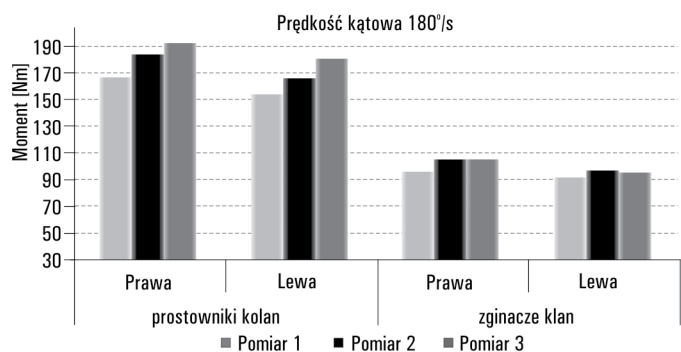
Zmiany maksymalnych wartości momentów sił mięśniowych zginaczy i prostowników stawu kolanowego w trzech fazach makrocyklu rocznego zostały zaprezentowane na rycinach 2 i 3. Przy prędkości 60°/s po okresie przygotowawczym odnotowano średni wzrost siły zarówno prostowników jak i zginaczy obu kończyn o około 9,6% (ryc. 2). Trzeci pomiar, który miał miejsce po zakończeniu rundy zasadniczej przyniósł niewielki spadek średnich maksymalnych wartości badanych momentów rzędu 2,4%, choć w przypadku prostowników lewej kończyny odnotowano wzrost o 1,3%. Istotnie statystycznie okazały się dla obu kończyn jedynie różnice wartości momentu prostowników pomiędzy pierwszym a drugim pomiarem, $p \leq 0,02$ dla prawej kończyny oraz $p \leq 0,024$ dla lewej.

Analiza danych z badania przy prędkości 180°/s wykazała, że w przypadku prostowników i zginaczy obu kończyn nastąpił średni wzrost maksymalnego momentu o 10% pomiędzy pierwszym a drugim pomiarem (ryc. 3). Odnotowano również średni wzrost wartości momentu badanych prostowników i zginaczy pomiędzy drugim a trzecim pomiarem w wysokości

2,7%, choć w przypadku momentu zginaczy nastąpił spadek wartości o 1,6%, zaś dla prostowników lewej kończyny wzrost o 8,3%. Ponownie statystycznie istotne okazały się jedynie różnice wartości momentu pomiędzy pierwszym a drugim pomiarem dla prostowników obu kończyn, $p \leq 0,03$ dla prawej kończyny oraz $p \leq 0,034$ dla lewej.



Rycina 2. Średnie wartości maksymalnych momentów sił mięśniowych prostowników i zginaczy stawu kolanowego dla kończyny prawej i lewej w różnych okresach makrocyklu dla prędkości 60°/s



Rycina 3. Średnie wartości maksymalnych momentów sił mięśniowych prostowników i zginaczy stawu kolanowego dla kończyny prawej i lewej w różnych okresach makrocyklu dla prędkości 180°/s

Porównując wartości maksymalnych momentów prostowników i zginaczy obu kończyn silniejsze okazały się mięśnie kończyny prawej zarówno przy prędkości 60°/s jak i 180°/s. Różnica przy prędkości 60°/s wahała się od 0,7% do 6,0% w przypadku prostowników oraz od 6,5% do 9,7% w przypadku zginaczy. Przy prędkości 180°/s różnica wynosiła od 5,1% do 9,3% w grupie prostowników oraz od 4,9% do 6,6% w grupie zginaczy stawu kolanowego.

Na podstawie danych pomiarowych wyliczono również wskaźnik siły mięśni w postaci ilorazu maksymalnego momentu zginaczy do prostowników (H/Q ratio), którego średnia wartość przy prędkości 60°/s wyniosła 49,7% dla kończyny prawej we wszystkich pomiarach, natomiast w kończynie lewej stosunek ten kształtował się na poziomie 47,7%. Stosunek ten przy prędkości 180°/s dla kończyny prawej osiągnął wartość 56,6%, zaś dla kończyny lewej 58,1% (tab. 2).

Tabela 2. Wartości stosunku maksymalnego momentu sił mięśniowych zginaczy do prostowników stawu kolanowego dla kończyny prawej do lewej przy prędkościach 60°/s i 180°/s

OKRES	KOŃCZYNA	60°/s	180°/s
Pomiar I	Prawa	49,2%	57,4%
	Lewa	48,9%	60,1%
Pomiar II	Prawa	49,1%	57,2%
	Lewa	48,6%	59,8%
Pomiar III	Prawa	50,1%	55,2%
	Lewa	45,5%	54,3%

Dyskusja

Zwiększenie maksymalnej siły lub prędkości czy obu tych czynników jednocześnie pod wpływem treningu poprawiało moc mięśni zawodników [25, 26, 27]. W pracy [28] stwierdzono, że ćwiczenia z dużymi ciężarami wykonywane w wolnym tempie prowadzą do zwiększenia siły maksymalnej i mocy w ruchach przy małych prędkościach natomiast ćwiczenia dynamiczne z mniejszymi ciężarami zwiększają siłę i moc w obszarze dużych prędkości. W piłce siatkowej ponad 70% ruchów ma charakter szybkościowo-siłowy [29] dlatego u badanych siatkarzy w okresie przygotowawczym trening siły ukierunkowany był na zdolności czysto siłowe, z kolei w okresie startowym makrocyklu trening siłowy został nastawiony na zwiększenie bądź utrzymanie dynamiki zawodnika.

Przeprowadzone badania w sposób bezpośredni umożliwiły pomiar przebiegu wartości momentów sił mięśniowych prostowników i zginaczy stawu kolanowego podczas próby izokinetycznej przy prędkości 60°/s i 180°/s. Analiza otrzymanych wartości maksymalnych momentów sił mięśni działających na staw kolanowy w różnych okresach rocznego makrocyklu treningowego pokazała, że po okresie przygotowawczym nastąpił wzrost siły mięśni zarówno w prawej jak i lewej kończynie przy obu prędkościach w stosunku do badania wykonanego po okresie roztrebowania. Wzrost siły zawodników był zadawalający i wyniósł około 8% przy prędkości 60°/s i ponad 9% przy prędkości 180°/s. W badaniach na wysokiej klasy zapasnikach suma momentów maksymalnych momentów sił mięśniowych wzrosła istotnie po okresie przygotowawczym o 4,8% aby później po okresie startowym wrócić do poziomu wyjściowego [30]. W badaniach na siatkarzach po sześciu miesiącach treningu wykazano istotny wzrost siły głównych grup mięśni o 4,8% oraz kończyn górnych o 13,9%, natomiast wartości momentów grup mięśniowych kończyn dolnych wzrósł o 3,4% i tułowia o 1,3%, a wynik nie był istotny statystycznie [31].

Po rundzie zasadniczej sezonu sytuacja zmieniała się w zależności od prędkości wykonywanej próby. Przy prędkości 60°/s nastąpił spadek siły w stosunku do drugiego pomiaru zaś przy prędkości 180°/s siła mięśni działających na staw kolanowy wzrosła bądź utrzymywała się na podobnym poziomie. Powodem dalszego wzrostu siły przy prędkości 180°/s miał prawdopodobnie wpływ treningu siatkarzy w którym ćwiczenia miały charakter objętościowy czyli mniejszy ciężar przy szybkich powtórzeniach.

Zestawienie średnich wartości maksymalnych sił mięśniowych prostowników i zginaczy stawu kolanowego dla kończyny prawej i lewej do skali oceny różnic pokazuje, że we wszystkich przypadkach zarówno dla prędkości 60°/s i 180°/s różnica była poniżej 10%. Pozwala określić wynik jako dobry [6, 14] świadczący o braku asymetrii pomiędzy badanymi kończynami. Brak asymetrii kończyn nie jest bynajmniej normą,

ponieważ w badaniach na grupie gimnastyczek różnica w sile kończyn prawej i lewej w niektórych przypadkach odnotowano asymetrię rzędu – 17%.

Porównując stosunek sił mięśni zginaczy do prostowników stawu kolanowego z przyjętymi normami (61% dla prędkości 60°/s oraz 72% dla prędkości 180°/s) [6, 33, 34] zauważyć można, że wskaźnik ten jest znacząco obniżony przy obu prędkościach. Uzyskane rezultaty pokazują deficyt siły mięśni zginających staw kolanowy w stosunku do mięśni prostujących. Potwierdzają tym samym spostrzeżenia innych autorów [21, 22], którzy zaobserwowali u zawodników grających wyczynowo w piłkę siatkową dominację prostowników nad zginaczami stawu kolanowego i uznali ten fakt za charakterystyczny dla tej dyscypliny sportu.

Wnioski

Przedstawiona w pracy metodologia badań oraz uzyskane wyniki pozwalają na obiektywną ocenę zdolności siłowych badanych siatkarzy.

Wyniki niniejszych badań świadczą w większości przypadków o prawidłowym zarysie obciążenia makrocyklu na siatkarzach, gdzie w okresie przygotowawczym następuje wzrost sił momentów mięśniowych działających na staw kolanowy, a długa i wyczerpująca runda zasadnicza sezonu spowodowała spadek siły kończyn dolnych przy małych prędkościach. Otrzymane wyniki w różnych okresach sezonu siatkarskiego pozwalają na bieżącą ocenę zdolności siłowych, a w konsekwencji na weryfikowanie i modyfikowanie metod stosowanych podczas treningu oraz indywidualne podejście do poszczególnych zawodników.

PODZIĘKOWANIE

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydziału Wychowania Fizycznego i Sportu w Białej Podlaskiej – MN.IV/1 – finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Badania zostały również częściowo sfinansowane z grantu MNiSW „Rozwój Sportu Akademickiego” – Nr 0045/RS3/2015/53.

Piśmiennictwo

- Superlak E. (1995). *Piłka Siatkowa. Techniczno-taktyczne przygotowanie do gry*. Wrocław: Infovolley.
- Buśko K. (2006). Analiza wpływu programów treningu o różnej strukturze intensywności na siłę i moc maksymalną mięśni kończyn dolnych człowieka. *Studia i Monografie* 109. Warszawa: AWF Warszawa.
- Czaplicki A. (2009). *Modelling in natural coordinates in biomechanics*. Biała Podlaska: AWF Warszawa, WWFIS Biała Podlaska. [in Polish]
- Król H. (2007). Poziom przygotowania siłowo-szybkościowego skoczków narciarskich. W Cz. Urbanik (ed.), *Biomechanika ruchu: wybrane zagadnienia* (s. 115-121). Warszawa: AWF Warszawa.
- Wilkosz P. (2009). *Izokinetyczna ocena prostowników i zginaczy stawów kolanowych u zawodników grających wyczynowo w piłkę siatkową*. Praca doktorska. Uniwersytet Medyczny, Poznań.
- Jarocka M., Czaplicki A. (2013). The influence of therapeutic training on changes in selected biomechanical variables after an anterior cruciate ligament reconstruction. *Polish Journal of Sport and Tourism* 20(1), 13-18.
- Jaszczuk J., Wit A., Trzaskoma Z., Iskra L., Gajewski J. (1988). Biomechanical criteria of muscle force evaluation in the aspect of top-level athletes selection. *Biology of Sport* 5(1), 51-64.
- Trzaskoma Z. (2003). Maksymalna siła mięśniowa i moc maksymalna kobiet i mężczyzn uprawiających sport wyczynowo. *Studia i Monografie* 94. Warszawa: AWF Warszawa.
- Bittencourt N.F.N., Amaral G.M., Saldanha dos Anjos M.T., D'Alessandro R., Silva A.A., Fonseca S.T. (2005). 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* (11)6, 302-306.
- Sheppard J.M., Chapman W.D., Gough C., McGuigan M., Newton R.U. (2009). Twelve-month training-induced changes in elite international volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(7), 2096-2101.
- Zabka F.F., Valente H.G., Pacheco A.M. (2011). Isokinetic evaluation of knee extensor and flexor muscles in professional soccer players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte* 17(3), 189-192.
- Czaplicki A., Dziewiecki K., Sacewicz T. (2012). Identification of internal loads at the selected joint and validation of a biomechanical model during performance of the hand-spring front somersault. *Acta Mechanica et Automatica* 6(2), 28-32.
- Dziewiecki K., Blajer W., Mazur Z., Czaplicki A. (2013). Contact modeling and inverse dynamics identification of the hand-spring front somersault in pike position. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-body Dynamics*, 227(4), 330-343.
- Ciemniewska-Gorzela K. (2010). *Funkcja stawu kolanowego po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego*. Praca doktorska, Uniwersytet Medyczny, Poznań.
- Hadzic V., Sattler T., Markovic G., Veselko M., Dervisevic E. (2010). The isokinetic strength profile of quadriceps and hamstrings in elite volleyball players. *Isokinetics and Exercise Science* 18, 31-37. DOI:10.3233/IES-2010-0365
- West T., Ng L., Campbell A. (2014). The effect of ankle bracing on knee kinetics and kinematics during volleyball-specific tasks. *Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports* 24, 958-963. DOI:10.1111/sms.12130
- Ribeiro F., Santos F., Goncalves P., Oliveira J. (2014). Effects of volleyball match-induced fatigue on knee joint position sense. *European Journal of Sport Science* 8(6), 397-402. DOI:10.1080/02614360802373060
- Borras X., Balius X., Drobnic F., Galilea P. (2011). Vertical jump assessment on volleyball: a follow-up of three seasons of a high-level volleyball team. *Journal of Strength and Conditioning Research* 25(6), 1686-1694.
- Sheppard J.M., Nolan E., Newton R.U. (2012). Changes in strength and power qualities over two years in volleyball players transitioning from junior to senior national team. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26(1), 152-157.
- Rodríguez-Ruiz D., Rodríguez-Matoso D., Quiroga M.E., Sarmiento S., García-Manso J.M., Da Silva-Grigoletto M. (2012). Study of mechanical characteristics of the knee extensor and flexor musculature of volleyball players. *European Journal of Sport Science* 12(5), 399-407. DOI:10.1080/17461391.2011.568633
- Markou S., Vagenas G. (2006). Multivariate isokinetic asymmetry of the knee and shoulder in elite volleyball players. *European Journal of Sport Science* 6(1), 71-80. DOI:10.1080/17461390500533147
- Michnik R., Jurkojć J., Czapla K. (2012). Biomechaniczna ocena zdolności siłowych siatkarzy. *Modelowanie Inżynierii*

- nierskie 44, 302-306.
23. Friedrich H., Vetter K. (2003). The value of strength-diagnostic for the structure of jump training in volleyball. *European Journal of Sport Science* 3, 1-10.
 24. Sheppard J.M., Newton R.U. (2012). Long-term training adaptations in elite male volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 26(8), 2180-2184.
 25. Häkkinen K., Komi P.V., Alén M., Kauhanen H. (1987). EMG, muscle fiber and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight lifters. *European Journal of Applied Physiology* 56, 419-427.
 26. Häkkinen K. (2000). Neuromuscular adaptation to strength training in men and women and strength athlete. W C.P. Lee (ed.), *2nd International Conference on „Weightlifting and Strength Training”* (pp. 5-9). Ipoh, Malaysia: Pro Muscle, Department of Education.
 27. Jones K., Bishop P., Hunter G., Fleisig G. (2001). The effects of varying resistance- training loads on intermediate- and high-velocity-specific adaptations. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 15(3), 349-356.
 28. Kanehisa H., Miyashita M. (1983). Specificity of velocity in strength training. *European Journal of Applied Physiology* 52(1), 104-106.
 29. Grządziel G., Ljach W. (2000). *Piłka siatkowa*. Warszawa: COS.
 30. Janiak J., Gajewski J. (1999). Zmiany maksymalnej siły mięśniowej zapaśników w rocznym cyklu treningowym. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 1 (suppl. 1), 203-206.
 31. Trzaskoma Z., Buśko K., Gajewski J. (2004). Ocena stanu wytrenowania sportowców na podstawie wybranych wskaźników biomechanicznych. W R. Będziński (ed.), *Biomechanika i Inżynieria Rehabilitacyjna* (pp. 663-679). Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit.
 32. Jurkojć J., Michnik R., Skubacz H., Ziółkowska E. (2012). Pomiary momentów sił mięśniowych w warunkach izokinetycznych w gimnastyków sportowych. *Modelowanie Inżynierskie* 45(14), 156-160.
 33. Coombs R., Garbutt G. (2002). Developments in the use of the hamstring/quadriceps ratio for the assessment of muscle balance. *Journal of Sports Science and Medicine* 1(3), 56-62.
 34. Sompong Y., Sirirat H., Thyon C. (2002). Hamstring to quadriceps strength ratio in Mahidol University soccer players. *Journal of Healty Science* 11(5), 681-692.

Otrzymano: 17.06.2015

Przyjęto: 31.08.2015