

Monika LIPIŃSKA, studentka 1 Roku, Studia 3^o, Koło Naukowe Antropologii, Zakład Antropologii, Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego, Warszawa

Radosław MICHALSKI, student 2 Roku, Studia 3^o, Koło Naukowe Antropologii, Zakład Antropologii, Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego, Warszawa

ZMIANY MOCY I SKOCZNOŚCI U SIATKAREK W OKRESIE PRZYGOTOWAWCZYM

Streszczenie. Celem pracy było określenie zmian mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała mierzonych w wyskokach CMJ i BCMJ na platformie dynamometrycznej u siatkarek w okresie przygotowawczym. W badaniach uczestniczyło 14 siatkarek. Pomiar mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała przeprowadzono na platformie dynamometrycznej. Moc maksymalna uległa nieistotnemu zwiększeniu o 6,3% w CMJ i zmniejszeniu o 4,1% w BCMJ podczas gdy wysokość uniesienia środka masy ciała nie uległa zmianie w CMJ i zwiększyła się istotnie o 4,7% w BCMJ.

1. WSTĘP

W piśmiennictwie piłkę siatkową zalicza się do dyscyplin, w których wykorzystywane są metaboliczne drogi beztlenowe i tlenowe [4, 6, 15, 19, 24]. Od siatkarzy wymaga się doskonałego przygotowania fizycznego i taktycznego [6, 24]. Sprawność fizyczna siatkarzy zależy od siły, mocy i skoczności [19, 24]. Trening ukierunkowany na zwiększanie siły i prędkości, jako składowych mocy, jest często prowadzony oddzielnie. Zwiększenie maksymalnej siły lub prędkości czy obu tych czynników jednocześnie pod wpływem treningu poprawiało maksymalną moc mięśni [8, 9, 11, 17, 21]. W pracy Häkkinena [9] wykazano, że trening zawierający ćwiczenia z dużymi ciężarami, podczas których rozwija się okołomaksymalne wartości siły a relatywnie małe prędkości ruchu, poprawia przede wszystkim część krzywej zależności siła-prędkość ($F-v$), położonej w obszarze małych prędkości, natomiast ćwiczenia wykonywane z dużymi prędkościami i małą siłą wpływają na całą krzywą $F-v$. Natomiast Kanehisa i Miyashita [12] stwierdzili, że trening z dużymi ciężarami podnoszonymi w wolnym tempie prowadzi do zwiększenia siły maksymalnej i mocy w ruchach z małymi prędkościami, natomiast dynamiczne podnoszenie mniejszych ciężarów zwiększa siłę i moc w obszarze dużych prędkości.

Jednym z ważniejszych zagadnień kontroli treningu jest rejestracja obciążeń treningowych oraz diagnozowanie stanu wytrenowania zawodników. W piśmiennictwie jest bardzo dużo prac przedstawiających rejestrację obciążeń treningowych w rocznym cyklu szkoleniowym ale na ogół bez powiązania z kontrolą cech fizycznych [14]. Trening cech motorycznych u siatkarzy ma główne miejsce w okresie przygotowawczym. W okresie startowym główny nacisk położony jest na doskonalenie techniki i taktyki [7]. W literaturze przedmiotu większość prac dotyczy siatkarzy. W piśmiennictwie znaleziono tylko dwie prace opisujące zmiany cech motorycznych u siatkarek w rocznym cyklu treningowym [7, 18].

Celem pracy było określenie zmian mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała mierzonych w maksymalnych wyskokach pionowych z miejsca poprzedzonych

ruchem ciała w dół (CMJ) i z rozbiegu (BCMJ) na platformie dynamometrycznej u siatkarek w okresie przygotowawczym.

2. METODYKA BADAŃ

W badaniach, po uzyskaniu akceptacji Senackiej Komisji Etyki Badań Naukowych Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, udział wzięło 14 siatkarek II ligowego klubu AZS AWF Warszawa. Charakterystyka badanych ($n=14$): wiek $21,8\pm 1,6$ lata, wysokość ciała $177,0\pm 6,0$ cm, masa ciała $72,0\pm 7,5$ kg (I pomiar), $72,8\pm 7,4$ kg (II pomiar), staż $8,9\pm 3,3$ lata). Masa ciała nie zmieniła się istotnie między pierwszym a drugim pomiarem.

Pomiar mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała w wyskokach pionowych: z miejsca, z pozycji wyprostowanej poprzedzony ruchem ciała w dół (CMJ) i z rozbiegu (BCMJ) przeprowadzono na platformie dynamometrycznej ze wzmacniaczem połączonym za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego z komputerem z oprogramowaniem „MVJ v.3.4” („JBA” Zb. Staniak). Zastosowano model fizyczny, w którym układ masy ciała człowieka odbijającego się pionowo od platformy dynamometrycznej zredukowano do punktu materialnego, na który działają składowe pionowe siły zewnętrznych - siła ciężkości ciała i pionowa składowa siła reakcji platformy. Z zarejestrowanej siły reakcji podłoża wyliczono następujące parametry wyskoku: moc maksymalną (P_{max}) maksymalną wysokość uniesienia środka masy ciała (h) [2]. Każda zawodniczka wykonała sześć maksymalnych wyskoków pionowych, trzy z miejsca, z pozycji wyprostowanej poprzedzonej ruchem ciała w dół (CMJ) i trzy pojedyncze z 2-3 kroków rozbiegu (tzw. dojsście lub naskok) (BCMJ) na platformie dynamometrycznej. Czas przerwy między wyskokami z miejsca wynosił 5 sekund a w wyskokach BCMJ ok. 1 minuty. Celem każdego rodzaju skoku było - wyskocz jak najwyżej. Do analizy wybierano wyskok, w którym osiągnięto najwyższą wysokość uniesienia środka masy ciała.

Rejestracja obciążeń treningowych (treningu siły) była oparta na zapisie stosowanym przez trenerów klubowych (liczba serii i powtórzeń). W analizowanym okresie badane wykonywały treningi zgodnie z zaleceniami trenera opracowane na podstawie pracy Trzaskomy i Trzaskomy [22].

W pierwszym etapie okresu przygotowawczego (16-26.08.2010) zawodniczki realizowały trening siłowy mający na celu wykształcenie lokalnej wytrzymałości siłowej. Każde wejście na siłownię poprzedzone było rozgrzewką w formie aerobiku, mające na celu rozgrzanie i przygotowanie organizmu do wysiłku. Dozowanie ćwiczeń: każda seria zasadnicza była poprzedzona serią rozgrzewkową z mniejszymi obciążeniami, a następnie: pierwszy trening 2 serie po 12 powtórzeń, drugi trening 3 serie po 12 powtórzeń, trzeci trening 4 serie po 12 powtórzeń, czwarty trening 5 serii po 11 powtórzeń i piąty trening 5 serii po 10 powtórzeń. Indywidualne obciążenie treningowe wynosiło 40-70% ciężaru maksymalnego (CM) w zależności od poszczególnych ćwiczeń. Metodą ćwiczeń na siłowni był trening obwodowy, gdzie zawodniczki wykonywały ćwiczenia na kolejnych stacjach. Przerwy pomiędzy stacjami były kilkudziesięciosekundowe, które wykorzystywane były na zmianę stacji, a pomiędzy obwodami przerwa wynosiła ok. 2-3 minuty. W tym etapie wykonywano następujące ćwiczenia:

1. Wyciskanie sztangi w leżeniu tyłem na poziomej ławce.
2. Unoszenie kończyn dolnych do pionu w leżeniu tyłem.
3. Wyciskanie sztangi z tyłu w pozycji siedząc.
4. Wspięcie na palce ze sztangą na barkach.
5. Zginanie kończyn dolnych w leżeniu przodem.

6. Ściąganie drążka w dół.
7. W leżeniu przodem, skłony tułowia w przód ze skrętem tułowia, kończyny dolne ugięte w stawie kolanowym.
8. Unoszenie tułowia w leżeniu przodem (tzw. „grzbiety”).
9. Wypchnięcia kończynami dolnymi na suwnicy.
10. Prostowanie kończyn dolnych w stawach kolanowych.
11. Unoszenie ramion w bok w leżeniu przodem na ławeczce.
12. Uginanie przedramion ze sztangą (biceps).
13. Prostowanie przedramion na wyciągu górnym.
14. Podciąganie sztangi do klatki piersiowej w leżeniu przodem na wysokiej ławce.

W drugim etapie ćwiczeń na siłowni (07-30.09.2010) kształtowano siłę mięśniową. Jak poprzednio każdy trening poprzedzony był rozgrzewką w postaci aerobiku, a każda seria zasadnicza poprzedzona była rozgrzewką z mniejszymi obciążeniami. Następujących 6 ćwiczeń:

1. podciąganie sztangi do klatki piersiowej w leżeniu przodem na wysokiej ławce,
 2. wyciskanie sztangi w leżeniu tyłem na poziomej ławce,
 3. przysiady ze sztangą na barkach,
 4. podciąganie sztangi do brody w wąskim uchwycie w postawie stojącej,
 5. opady tułowia ze sztangą na barkach w postawie stojąc,
 6. mięśnie brzucha na przemian:
 - seria 1, 3, 5: wznos kończyn dolnych w leżeniu tyłem na skośnej ławce,
 - seria 2, 4, 6: w leżeniu tyłem, skłony tułowia w przód ze skrętem,
- wykonywano oddzielnie, w podanej kolejności, a czas przerwy wypoczynkowej wynosił 2-2,5 minuty pomiędzy seriami. Zastosowane obciążenia treningowe przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Obciążenia treningowe (serie x liczba powtórzeń, obciążenie ok. 60% CM) w okresie 07-30.09.2010

Trening (nr)	Ćwiczenie (nr)					
	1	2	3	4	5	6
1-2	3x8	3x8	3x8	3x9	3x9	4x15
3-5	4x7	4x7	4x6	4x8	4x9	6x15
6-8	4x6	4x6	4x5	4x7	4x8	6x14
9-11	4x5	4x5	4x4	4x6	4x8	6x14

Pomiary kontrolne zostały wykonane w godzinach rannych przed rozpoczęciem okresu przygotowawczego (16.08.2010) i tydzień przed zakończeniem okresu przygotowawczego (29.09.2010) z powodu zbliżających się rozgrywek w dn. 09.10.2010.

W celu weryfikacji wyników badań zastosowano analizę wariancji (ANOVA). Istotność różnic między średnimi porównano post hoc – testem NIR Fischera. W przeprowadzonych analizach statystycznych poziom wartości $p < 0,05$ przyjęto jako istotny. Wszystkie obliczenia wykonano programem STATISTICA™ (v. 9.0, StatSoft).

3. WYNIKI BADAŃ

Uzyskane rezultaty średnich wartości wysokości uniesienia środka masy ciała i mocy maksymalnych rozwijanych podczas maksymalnych wyskoków pionowych, z miejsca, z pozycji wyprostowanej poprzedzonej ruchem ciała w dół (CMJ) i z rozbiegu (BCMJ) na platformie dynamometrycznej przedstawiono w tabeli 2. Moc maksymalna kończyn dolnych rozwijana w wyskoku CMJ zwiększyła się nieistotnie między I i II pomiarem o 6,3% podczas gdy wysokość uniesienia środka masy ciała nie uległa zmianie. Moc maksymalna rozwijana w wyskoku BCMJ uległa nieistotnemu zmniejszeniu (4,1%). Zmianom mocy towarzyszyła istotna poprawa skoczności o 4,7%.

Tabela 2. Zmiany średnich wartości (\pm SD) wysokości uniesienia środka ciężkości masy ciała (h) i mocy maksymalnej (P_{\max}) rozwijanej w wyskokach pionowych z miejsca, z pozycji wyprostowanej poprzedzone ruchem ciała w dół (CMJ) i z rozbiegu (BCMJ) u siatkarek

Zmienne,	I pomiar	II pomiar	R [%]
$P_{\max\text{CMJ}}$ [W]	1605,4 \pm 178,3	1701,4 \pm 216,8	6,4
$P_{\max\text{CMJ}}/\text{masa}$ [W/kg]	21,81 \pm 2,87	23,08 \pm 3,29	6,3
h_{CMJ} [m]	0,340 \pm 0,043	0,338 \pm 0,036	-0,1
$P_{\max\text{BCMJ}}$ [W]	2534,6 \pm 458,4	2427,4 \pm 443,3	-3,8
$P_{\max\text{BCMJ}}/\text{masa}$ [W/kg]	34,39 \pm 6,26	33,04 \pm 7,15	-4,1
h_{BCMJ} [m]	0,412 \pm 0,046	0,432 \pm 0,55 ^a	4,7

R – procentowe różnice liczone względem I pomiaru; Pomiar I – przed rozpoczęciem okresu przygotowawczego, Pomiar II - bezpośrednio po zakończeniu okresu przygotowawczego;
^a - średnie różnią się istotnie względem I pomiaru, $p < 0,05$.

4. WNIOSKI

Skoczność i moc maksymalną mięśni kończyn dolnych mierzy się podczas różnego typu wyskoków na platformie dynamometrycznej [2, 3, 20, 23]. W literaturze brak jednoznacznej opinii dotyczącej zmian mocy rozwijanej w wyskokach CMJ, BCMJ, DJ (drop jump) i SJ (squat jump) występujących po różnych typach treningów [1, 5, 13, 16]. W pracy Harrisa i wsp. [10] trening siły nie poprawił skoczności mierzonej w wyskoku CMJ, natomiast trening „mocy” poprawił skoczność w CMJ i w skoku w dal z miejsca. Natomiast w pracy Wilsona i wsp. [25] trening siły z obciążeniem optymalnym (obciążenie, przy którym rozwijano największą moc) spowodował istotnie większy wzrost h_{CMJ} (17,6%) i h_{SJ} (15,2%) w porównaniu z treningiem mocy (wzrost h_{CMJ} o 10,3% i h_{SJ} o 7,2%) podczas gdy trening siły z obciążeniem 90-100% CM spowodował istotny wzrost h_{CMJ} o 5,1% i h_{SJ} o 6,8%. W naszych badaniach trening siły z obciążeniem ok. 60% CM spowodował poprawę skoczności tylko w wyskoku z nabiegu (BCMJ) o 4,7%. W pracy Häkkinena [7] opisano wzrost wszystkich mierzonych cech motorycznych u siatkarek tylko do zakończenia pierwszej fazy rozgrywek. Uzyskane w naszej pracy zmiany skoczności i mocy są niejednoznaczne. Istotnemu zwiększeniu uległa skoczność w wyskoku z rozbiegu (BCMJ) podczas gdy w CMJ skoczność nie uległa zmianie. Odwrotne zmiany obserwowano dla mocy. Po okresie treningu siły moc w CMJ uległa nieistotnemu zwiększeniu a rozwijana w BCMJ nieistotnemu obniżeniu. Brak zmian skoczności w wyskoku CMJ stoi w sprzeczności z wynikami pracy Marques i wsp. [18], w której siatkarki poprawiły skoczność mierzoną w wyskoku CMJ o 3,8% po okresie przygotowawczym.

Podsumowując, w okresie przygotowawczym obserwowano istotną poprawę skoczności tylko w wyskoku z rozbiegu.

5. PODZIĘKOWANIE

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, numer projektu BW 67 i DS-150, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

LITERATURA

- [1] Bruhn S., Kullmann N., Gollhofer A.: The effects of a sensorimotor training and a strength training on postural stabilization, maximum isometric contraction and jump performance. *Int. J. Sports Med.* 25(1), 2004, s. 56-60.
- [2] Buśko K.: Analiza wpływu programów treningu o różnej strukturze intensywności na siłę i moc maksymalną mięśni kończyn dolnych człowieka. *Studia i Monografie nr 109*, Wydawnictwo AWF, Warszawa 2006.
- [3] Buśko K., Rychlik R.: Zmiany mocy maksymalnej kończyn dolnych u kobiet pod wpływem treningu w systemie „power yoga”. W: *Kierunki doskonalenia treningu i walki sportowej – diagnostyka*, A. Kuder, K. Perkowski, D. Śledziewski (Red.), tom 3, biblioteka PTNKF, Warszawa 2006, s. 179-181.
- [4] Conlee R.K., McGrown C.M., Dalsky G.P., Robinson K.C.: Physiological effects of power volleyball. *The Physician and Sportsmedicine*, 10(2), 1982, s. 93-97.
- [5] Fowler N.E., Trzaskoma Z., Wit A., Iskra L., Lees A.: The effectiveness of a pendulum swing for the development of the leg strength and counter-movement jump performance. *J. Sports Sciences*, 13, 1995, s. 101-108.
- [6] Gonzáles C., Ureña A., Llop F., Garcia J.M., Martin A., Navarro F.: Physiological characteristics of libero and central volleyball players. *Biol. Sport*, 22(1), 2005, s. 13-27.
- [7] Häkkinen K.: Changes in physical fitness profile in female volleyball players during the competitive season. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 33, 1993, s. 323-332.
- [8] Häkkinen K., Komi P.V., Alén M., Kauhanen H.: EMG, muscle fiber and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight lifters. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 56, 1987, s.419-427.
- [9] Häkkinen K.: 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, Ipoh, Malyasia. Pro Muscle, Dept. of Education, 2000, s. 5-9.
- [10] Harris G.L., Stone M.H., O'Bryant H.S., Proulch C.M., Johnson R.L.: Short-term performance effects of high power, high force, or combined weight-training methods. *J. Strength Cond. Res.*, 14(1), 2000, s. 14-20.
- [11] Jones K., Bishop P., Hunter G., Fleisig G.: The effects of varying resistance- training loads on intermediate- and high- velocity-specific adaptations. *J. Strength Cond. Res.*, 15(3), 2001, s. 349-356.
- [12] Kanehisa H., Miyashita M.: Specificity of velocity in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 52(1), 1983, s. 104-106.
- [13] Kubo K., Yata H., Kanehisa H., Fukunaga T.: Effects of isometric squat training on the tendon stiffness and jump performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 96, 2006, s. 305-314.
- [14] Kuder A., Perkowski K., Śledziewski D.: *Kierunki doskonalenia treningu i walki sportowej – diagnostyka*, tom 4, Studio AWP, Warszawa 2007, s. 18-50.

- [15] Küntslinger U., Ludwig H., Stegeman J.: Metabolic changes during volleyball matches. *Int. J. Sports Med.*, 8, 1987, s. 315-322.
- [16] Kyröläinen H., Avela J., McBride J.M., Koskinen S., Andersen J.L., Sipilä S., Takala T.E., Komi P.V.: Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 15(1), 2005, s. 58-64.
- [17] Linossier M.-T., Denis C., Dormois D., Geysant A., Lacour J.R.: Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 67, 1993, s. 408-414.
- [18] Marques M.C., Tillaar R., Vescovi J.D., González-Badillo J.J.: Changes in strength and power performance in elite senior female professional volleyball players during the in-season: a case study. *J. Strength Cond. Res.*, 22(4), 2008, s. 1147-1155.
- [19] Smith D.J., Roberts D., Watson B.: Physical, physiological and performance differences between Canadian national team and universiade volleyball players. *J. Sports Sci.*, 10(2), 1992, s. 131-138.
- [20] Staniak Z., Buśko K., Sitkowski D., Domaradzki J., Nosarzewski Z., Karpiłowski B.: Zmiany parametrów siłowo-szybkościowych kończyn dolnych u piłkarzy nożnych pod wpływem treningu w okresie przygotowawczym. W: *Kierunki doskonalenia treningu i walki sportowej – diagnostyka*, A. Kuder, K. Perkowski, D. Śledziwski (Red.), tom 2, Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego, Warszawa 2005, s. 118-121.
- [21] Stone M.H., O'Bryant H.S., McRoy L., Coglianese R., Lehmkuhl M., Schilling B.: Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J. Strength Cond. Res.*, 17(1), 2003, s. 140-147.
- [22] Trzaskoma Ł., Trzaskoma Z.: *System Powerball. Kompleksowy trening siłowy w piłce siatkowej*. Polski Związek Piłki Siatkowej, 2000.
- [23] Trzaskoma Z., Buśko K., Gajewski J.: Ocena stanu wytrenowania sportowców na podstawie pomiarów biomechanicznych. W: *Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna 2000*, M. Nałęcz (Red.), *Biomechanika i Inżynieria Rehabilitacyjna*. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, tom, 5, Warszawa 2004, s. 663-679.
- [24] Viitasalo J.T., Rusko H., Pajala O., Rahkila P., Ahila M., Montonen H.: Endurance requirements in volleyball. *Can. J. Appl. Sports Sci.*, 12, 1987, s. 194-201.
- [25] Wilson G.J., Newton R.U., Murphy A.J., Humphries B.J.: The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25(11), 1993, s. 1279-1286.

CHANGES OF POWER AND JUMPING SKILL IN FEMALE VOLLEYBALL PLAYERS DURING PREPARATORY PERIOD

Abstract. The aim of this study was to determine the changes of power of lower limbs and height of rise of the body mass center at CMJ and BCMJ jumps on the dynamometric platform of female volleyball players during preparatory period. Fourteen female volleyball players took part in this study. The measurement of lower limb power and height of rise of the body mass center was carried out on a dynamometric platform. Maximal power has nonsignificantly increased by 6.3% in CMJ, and decreased by 4.1% in BCMJ while height of rise of the body mass centre did not change in the CMJ and increased significantly by 4.7% in BCMJ.

Dorota MACKIEWICZ, inż., student kierunku Inżynieria Biomedyczna, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra

Tomasz KLEKIEL, dr inż. Zakład Inżynierii Biomedycznej, Instytut Budowy i Eksploatacji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra

KONCEPCJA URZĄDZENIA DO REHABILITACJI STAWU BIODROWEGO

Streszczenie Artykuł przedstawia projekt koncepcyjny urządzenia do rehabilitacji stawu biodrowego oraz analizę ruchu układu człowiek-maszyna pod kątem wykonywania wybranych ćwiczeń rehabilitacyjnych. Podstawowym celem stworzenia takiego urządzenia jest kontrola ruchu kończyny podczas ćwiczeń między innymi w zamkniętych łańcuchach izokinetycznych. Koncepcja urządzenia przewiduje kontrolę położenia jak i sił występujących w kolejnych ogniwach układu co w efekcie, przy odpowiednim sterowaniu, daje możliwość realizacji zarówno ćwiczeń biernych, czynnych jak i czynnych z oporem.

1. WPROWADZENIE

Problem niepełnosprawności pojawia się na całym świecie, wszędzie tam gdzie znajdują się ludzie. Na skutek choroby, nieszczęśliwego wypadku czy też nieprawidłowo podjętej decyzji można stracić sprawność i zdolność do samodzielnego życia. Kończyny dolne to elementy naszego ciała, które dźwigają cały jego ciężar i pozwalają na samodzielne poruszanie się człowieka. Funkcje te są spełnione dzięki mocnemu układowi organizmu jakim jest układ kostno-mięśniowy. Występujące zmiany patologiczne, a także różne schorzenia kończyn dolnych sprawiają, że zmniejsza się sprawność oraz zdolność poruszania się, prowadząc niejednokrotnie do trwałych zmian uniemożliwiających swobodne poruszanie się. W takich wypadkach celem usprawnienia kończyn dolnych jest zadbanie o przywrócenie im możliwie największej sprawności, potrzebnej do utrzymania równowagi niezbędnej na każdym etapie podczas chodu. Częstym powodem niepełnosprawności są choroby stawu biodrowego takie jak np. złamanie szyjki kości udowej czy choroba zwyrodnieniowa stawu [1]. Jednym z etapów leczenia takich schorzeń jest rehabilitacja.

Ruch, wysiłek fizyczny i wszystkie jego procesy wywierają korzystne działanie na funkcjonowanie całego organizmu człowieka. Pozytywnie oddziałują na narządy, wzmacniają wytrzymałość mięśni i kości, poprawiają wydolność całego organizmu, a w tym także korzystnie działają na psychikę [2]. Brak ruchu negatywnie wpływa na funkcjonowanie organizmu, prowadząc do wielu niekorzystnych następstw. W wyniku długotrwałego unieruchomienia, często następują zaburzenia w funkcjonowaniu poszczególnych mięśni a także zmian w obrębie stawów. W celu minimalizacji niekorzystnych zjawisk towarzyszących procesowi leczenia, wprowadza się ćwiczenia odpowiednio dobrane do stanu zdrowia pacjenta i stopnia jego dysfunkcji. Wśród ćwiczeń można wyróżnić takie ćwiczenia jak: ćwiczenia bierne oraz czynne, a w tym ruchy czynnego zginania i prostowania stawu biodrowego lub też ćwiczenia w odciążeniu.

W przebiegu rehabilitacji medycznej w celach pomocniczych używane są inżynierskie pomoce techniczne. Stosuje się je do usprawniania leczniczego. W usprawnieniu ruchowym pomoce te mają bardzo różne funkcje. Stosowane są jako urządzenia odciążające czy też stabilizujące. W ich skład wchodzi bardzo szeroko zróżnicowane maszyny od bardzo prostych mechanizmów, aż po bardzo skomplikowane maszyny, nawet ze sterowaniem komputerowym i różno wariantowym oprogramowaniem [3].

Współczesny rozwój mechatroniki daje możliwość zwiększenia funkcjonalności już istniejących urządzeń oraz tworzenia nowych rozwiązań, dzięki czemu stało się możliwe wykorzystanie manipulatorów technicznych oraz robotów w rehabilitacji pacjentów z różnym stopniem uszkodzenia narządu ruchu [4].

W niniejszej pracy przedstawiono koncepcję urządzenia do rehabilitacji stawu biodrowego wskazując na korzyści wynikające z faktu stosowania tego rodzaju rozwiązania.

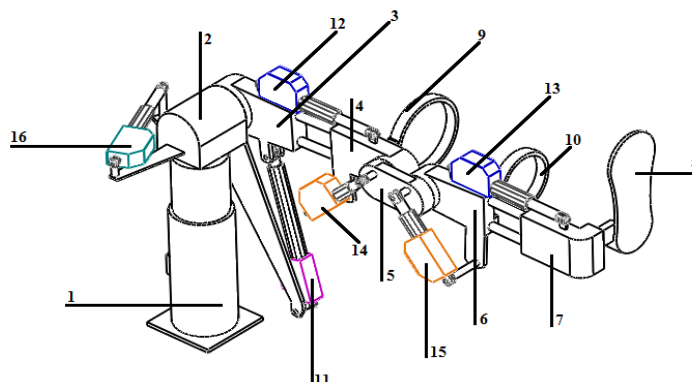
2. PROJEKT URZĄDZENIA

2.1 Założenia projektowe

Podstawowym założeniem do budowy urządzenia wspomagającego proces rehabilitacji jest to, że powinno ono umożliwiać uzyskanie zakresu ruchu kończyny zgodnego z ruchomością wynikającą z biomechaniki układu kostno-mięśniowego. Założono, że ćwiczenia realizowane przy użyciu manipulatora, powinny pozwolić na realizację ćwiczeń analogicznych do znanych ćwiczeń terapeutycznych stosowanych w rehabilitacji stawu biodrowego. Jedną z ważniejszych cech tego typu urządzeń powinna być uniwersalność, pod kątem zarówno realizowanych algorytmów ćwiczeń jak również pod kątem możliwości dostosowania aparatu do indywidualnych właściwości antropometrycznych pacjentów.

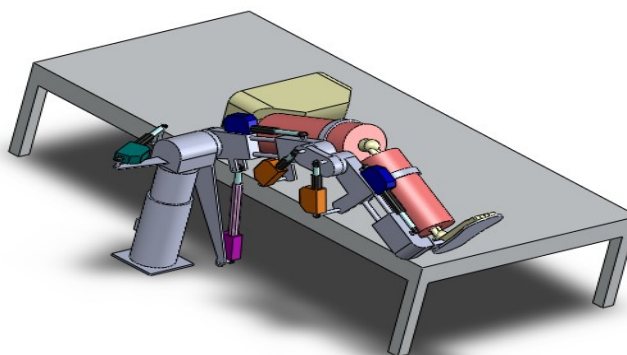
2.2 Budowa urządzenia

Wyniku szczegółowej analizy biomechaniki stawu biodrowego zaproponowano koncepcję urządzenia przedstawioną na rys. 1. Układ składa się z kolumny (1), która utrzymuje całą konstrukcję urządzenia oraz posiada możliwość regulacji wysokości. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest dopasowanie wysokości manipulatora tak, aby główna oś obrotu pokrywała się z osią stawu biodrowego. Głowica skrętna (2) to kolejny element urządzenia, który służy do wykonywania ruchów obrotowych wokół osi kolumny. Ramię główne uda (3) posiada jeden stopień swobody w postaci ruchu obrotowego, który to ruch jest zgodny z ruchem zgięcia kończyny. Element (3) łączy pozostałą część urządzenia z podstawą. Elementy (4), (5), (6) stanowią przegub „sztucznego kolana” umożliwiając ruch zgodny z ruchem kończyny w stawie kolanowym. Ramię końcowe (7) tworzy uchwyt dla sandała, którego zadaniem jest podtrzymanie stopy pacjenta podczas ćwiczeń. Opaski, udowa (9) i łydkowa (10), łączą nogę pacjenta z ramieniem manipulatora, zapewniając stabilność i gwarantując prawidłowe wykonywanie ćwiczeń. W proponowanym rozwiązaniu zastosowano napęd w postaci siłowników elektrycznych, które zapewniają ruch poszczególnych członów.



Rys. 1. Manipulator do rehabilitacji stawu biodrowego: 1-kolumna, 2-głowica skrętna, 3-ramię główne uda, 4-przegub udowy, 5-łącznik przegubów, 6-przegub łydkowy, 7-ramię końcowe, 8-sandał, 9-opaska udowa, 10-opaska łydkowa, 11- siłownik I, 12- siłownik II, 13- siłownik III, 14- siłownik IV, 15- siłownik V, 16- siłownik VI

Punkty mocowania siłowników oraz ich skok dobrano tak, aby zapewnić ruch zgodny z przyjętą w literaturze ruchomością stawów, dzięki czemu zabezpieczono układ przed niedopuszczalnymi, z anatomicznego punktu widzenia, położeniami kończyny.



Rys. 2. Stanowisko do rehabilitacji stawu biodrowego

Na potrzeby przeprowadzenia analiz dotyczących funkcjonalności urządzenia, stworzono fantom kończyny dolnej odzwierciedlając anatomiczne ruchy w stawach: biodrowym, kolanowym i skokowym. Dzięki temu uzyskano model współpracy pacjenta z maszyną. Ostateczny model stanowiska do rehabilitacji stawu biodrowego przedstawiono na rys. 2. Składa się z manipulatora oraz stołu lub ławki rehabilitacyjnej, na której leży pacjent (fantom).

3. ĆWICZENIA REALIZOWANE ZA POMOCĄ URZĄDZENIA

W celu dokonania analizy funkcjonalności urządzenia, zostały przeprowadzone symulacje wybranych ćwiczeń rehabilitacyjnych. Do analizy wybrano cztery przykładowe ćwiczenia, których przebieg, jest możliwy do wykonania na tym urządzeniu. Są to takie ćwiczenia jak:

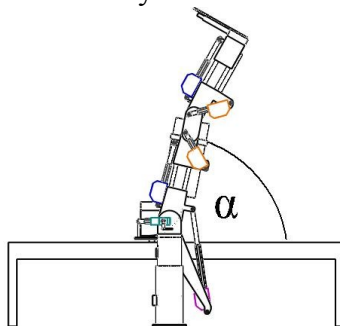
- zgięcie i wyprost w stawie biodrowym przy wyproście w stawie kolanowym – C1,
- przywodzenie stawu biodrowego– C2,
- odwodzenie stawu biodrowego– C3,
- zgięcie i wyprost stawu biodrowego przy zgięciu w stawie kolanowym– C4,

Założono, że ćwiczenia te są przeprowadzane w pozycji leżącej pacjenta. Taka pozycja zapewnia odpowiednie ułożenie oraz wygodę dla pacjenta, jak również daje możliwość wykonywania założonych zakresów ruchu.

W trakcie symulacji ćwiczeń odnotowywano położenia siłowników. Dokonano analizy funkcji każdego z siłowników, podczas ćwiczeń. Badanie ruchów w stawie biodrowym, odbywało się za pomocą sterowania jednym z sześciu siłowników w każdym z ćwiczeń. Pozostałe siłowniki miały możliwość swobodnego dopasowania się do aktualnego położenia kończyny. Ponieważ model kończyny nie przewidywał dyslokacji w stawach, można było założyć, że ruch wykonywany był poprawnie w osiach poszczególnych stawów. Symulacja ćwiczeń rozpoczynała się od pozycji wyjściowej, w której kończyna pacjenta była wyprostowana, a jej oś pionowa była równoległa do górnej płaszczyzny stołu.

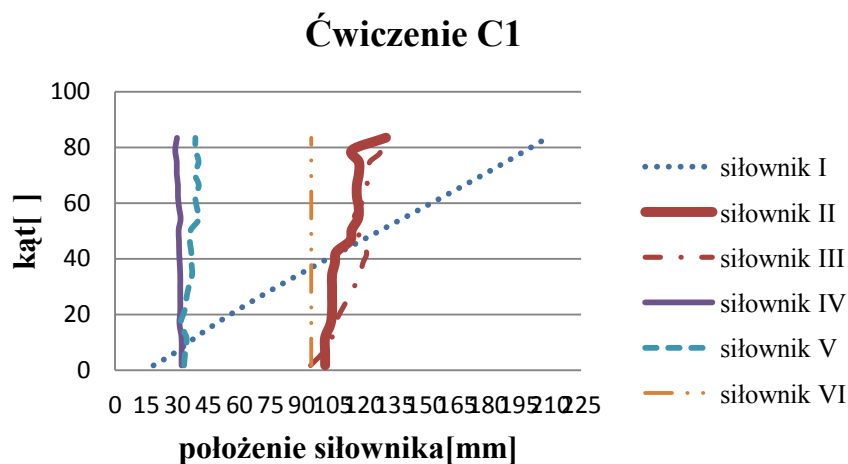
3.1 Zgięcie i wyprost w stawie biodrowym przy wyproście w stawie kolanowym – C1

Ćwiczenie C1 polega na podnoszeniu i opuszczaniu kończyny dolnej w płaszczyźnie strzałkowej. Ruch ten wykonywany jest dookoła osi poziomej ciała. Podczas wykonywania ćwiczeń, kończyna dolna pozostaje w pozycji wyprostowanej. Rys. 3. przedstawia położenie kończyny podczas wykonywania tego ćwiczenia. Kąt α oznaczony na rys. 3. oznacza kąt o jaki obraca się kończyna w stawie biodrowym w trakcie ćwiczeń.



Rys. 3. Ćwiczenie C1: Zgięcie i wyprost stawu biodrowego wyproście w stawie kolanowym

Na podstawie wyników symulacji stwierdzono, że podczas wykonywania tego ćwiczenia, osiągnięto zgięcie kończyny o kąt 83° . Jest to kąt odpowiadający zakresowi ruchów w stawie biodrowym (ok. 80°).



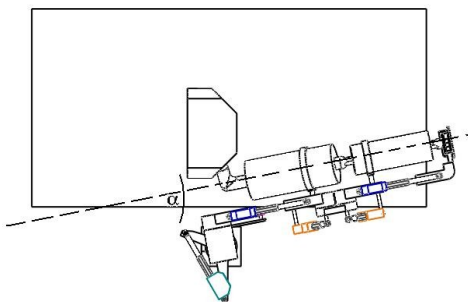
Rys. 4. Ruch siłowników podczas wykonywania ćwiczenia C1

Na wykresie (rys. 4) przedstawiono ruchy poszczególnych siłowników. Na podstawie analizy wykresu można stwierdzić, który siłownik odgrywa podstawową rolę w ruchu

wykonywanym podczas ćwiczenia. W tym przypadku jest to siłownik I odpowiedzialny za zgięcie i wyprost w stawie biodrowym. Należy zwrócić uwagę na pozostałe siłowniki (II i III) odpowiedzialne za dopasowanie manipulatora do długości kończyny w części uda (siłownik II) oraz podudzia (siłownik III). Wykonywane za ich pomocą przemieszczenia wskazują na to, że aby uzyskać ruchy w osi stawu biodrowego, musi nastąpić dopasowanie całego układu do kończyny podczas ruchu. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwa jest eliminacja efektów niedokładności pozycjonowania pacjenta względem manipulatora co w znaczny sposób uprasza procedurę przygotowania pacjenta do ćwiczeń.

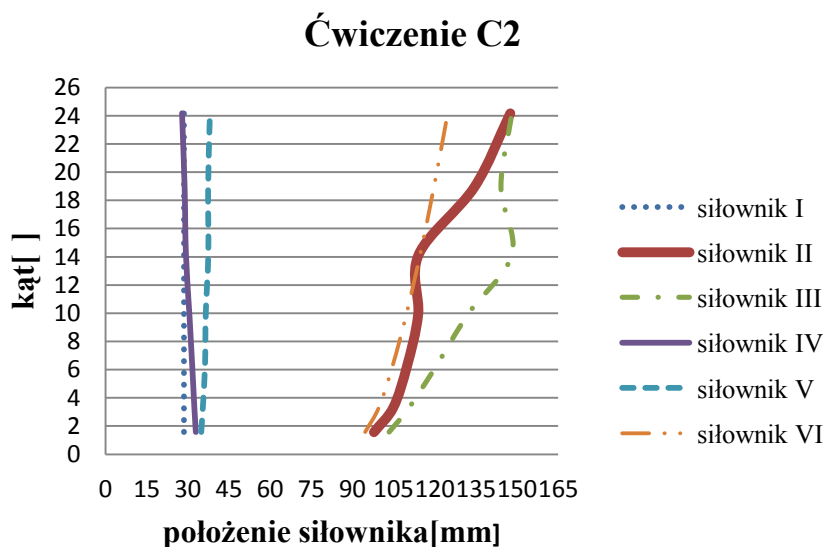
3.2 Przywodzenie stawu biodrowego – C2

Ćwiczenie C2 polega na przybliżaniu kończyny dolnej od osi pionowej ciała człowieka. Ruch ten wykonywany jest w płaszczyźnie czołowej dookoła osi strzałkowej ciała. Podczas wykonywania ćwiczeń kończyna dolna pozostaje w pozycji wyprostowanej. Rys. 5 przedstawia położenie kończyny podczas wykonywania tego ćwiczenia. Kąt α oznacza kąt jaki pokonuje staw biodrowy.



Rys. 5. Ćwiczenie C2: Przywodzenie w stawie biodrowym

Podczas analizy ćwiczenia C2 urządzenie sterowane było siłownikiem VI. Maksymalny kąt podczas ruchu przywodzenia (ok. 24°), osiągnięty podczas testu, okazał się nieco mniejszy od maksymalnego kąta jaki może wystąpić podczas przywodzenia w stawie biodrowym. Wynika to przede wszystkim z faktu, że oś obrotu manipulatora jest znacznie oddalona od osi obrotu w stawie biodrowym.

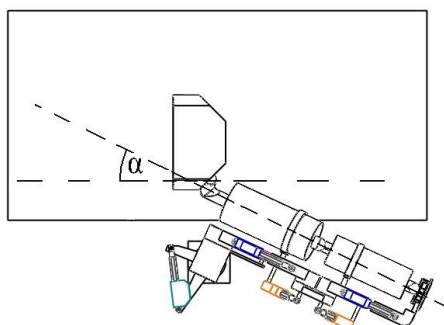


Rys. 6. Ruch siłowników podczas wykonywania ćwiczenia C2

Na rys. 6. przedstawiono wykres z którego wynika, który siłownik wykonuje podstawowy ruch w tym ćwiczeniu. Z oczywistych powodów jest to siłownik VI, odpowiadający za obrotowy w osi kolumny.

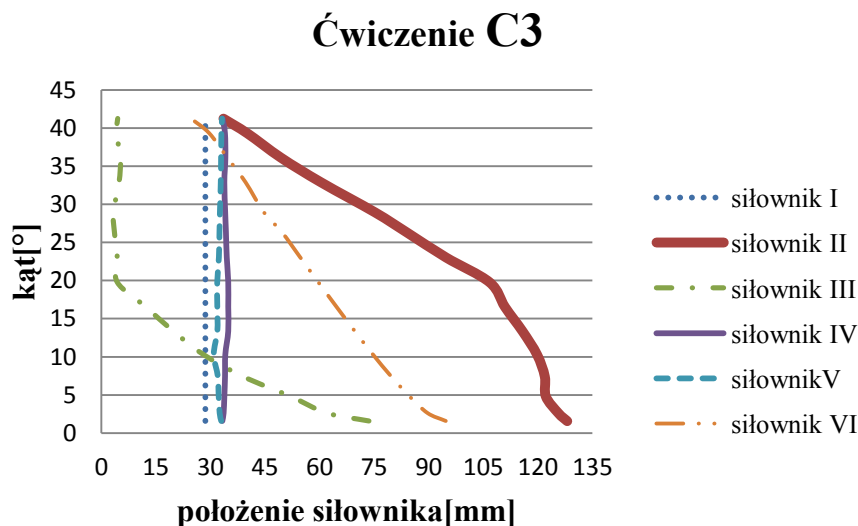
3.3 Odwodzenie stawu biodrowego – C3

Ćwiczenie C3 polega na oddalaniu kończyny dolnej od osi pionowej ciała człowieka. Ruch ten wykonywany jest w płaszczyźnie czołowej oraz dookoła osi strzałkowej stawu biodrowego. Podczas wykonywania ćwiczeń kończyna dolna pozostaje w pozycji wyprostowanej. Rys. 7 przedstawia ruch wykonywany podczas tego ćwiczenia. Kąt α oznacza kąt pomiędzy osią kończyny a osią pionową.



Rys. 7. Ćwiczenie C3: Odwodzenie w stawie biodrowym

W wyniku analizy danych otrzymanych podczas symulacji ćwiczenia C3 stwierdzono, że ruch odwodzenia wykonany został w pełnym zakresie ruchomości stawu (ok.41°). Podobnie jak w poprzednim ćwiczeniu, ruchowi głównemu - obrót wokół osi strzałkowej za pomocą siłownika VI, towarzyszyły ruchy pozostałych siłowników.

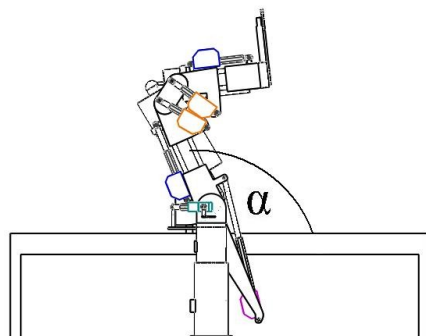


Rys. 8. Ruch siłowników podczas wykonywania ćwiczenia C3

Z analizy wykresu (rys. 8.) wynika, że siłownik VI, odpowiada w tym ćwiczeniu za ruch główny odwodzenia. Siłowniki II i III zmieniają swoją długość wskutek dopasowywania się manipulatora do ruchów kończyny.

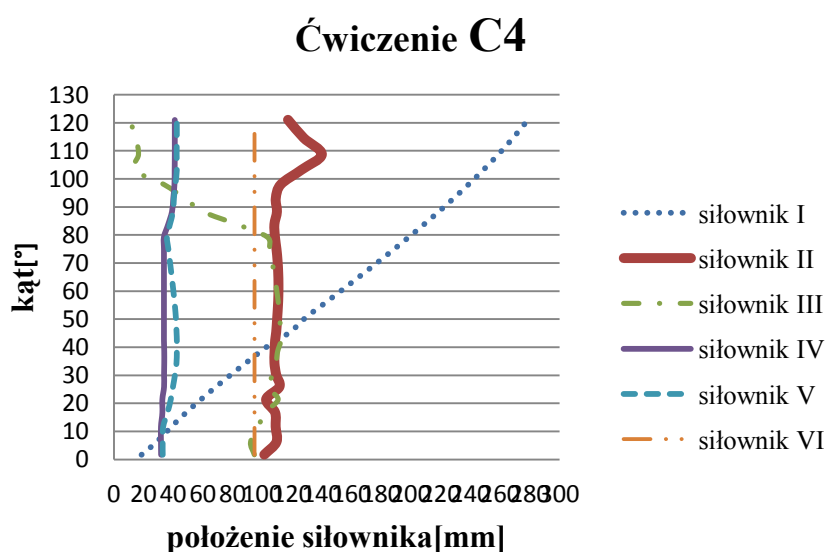
3.4 Zgięcie i wyprost stawu biodrowego przy zgiętym kolanie-C4

Ćwiczenie C4 polega na podnoszeniu i opuszczaniu kończyny dolnej w płaszczyźnie strzałkowej. Ruch ten wykonywany jest dookoła osi poziomej ciała. Podczas wykonywania tego ćwiczenia kończyna jest w pozycji zgiętej. Dzięki takiej pozycji zakres ruchu w stawie biodrowym zwiększa się, w porównaniu z ruchem kończyny dolnej w pozycji wyprostowanej. Rys. 9 przedstawia ruch wykonywany podczas tego ćwiczenia. Kąt α oznacza kąt jaki pokonuje staw biodrowy, podczas realizacji ćwiczenia.



Rys. 9. Ćwiczenie C4: Zgięcie i wyprost w stawie biodrowym przy zgięciu w stawie kolanowym

Symulację ćwiczenia C4 przeprowadzono poprzez zmianę długości siłownika I. Podczas testu osiągnięty kąt zgięcia w stawie biodrowym był na poziomie ok. 121°. Jest to kąt odpowiadający anatomicznemu zakresowi ruchów w stawie wynoszącym 120°.



Rys. 10. Ruch siłowników podczas wykonywania ćwiczenia C4

Na Rys. 10. przedstawiono wykres obrazujący ruchy poszczególnych siłowników. Siłownikiem który odgrywa podstawową rolę w ruchu wykonywanym podczas ćwiczenia C4, jest siłownik I. Siłownik ten umożliwia ruch kończyny w obu kierunkach co odpowiada zgięciu i wyprostowi w stawie biodrowym.

Z przebiegu symulacji tych czterech ćwiczeń wynikało, które spośród siłowników odgrywają podstawową rolę w ruchu. Zauważalny był również udział pozostałych członów łańcucha kinematycznego manipulatora, których napędy spełniały bardzo ważną rolę. Jak wynika z przeprowadzonych symulacji, ruch tych siłowników umożliwiał takie dopasowanie się manipulatora, aby uzyskać ruch w osi stawu.

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych symulacji ćwiczeń stwierdzono, że zaproponowana koncepcja urządzenia spełnia założenia projektowe. Ruchy wykonywane w czasie ćwiczeń w trzech przypadkach w 100% pokrywają się z zakresem ruchów autonomicznych w stawie biodrowym. Ten fakt świadczy o tym, iż za pomocą urządzenia wykonanego na podstawie przedstawionego projektu jest możliwość przeprowadzenia ćwiczeń rehabilitacyjnych.

W wyniku analizy danych otrzymanych dzięki symulacji ruchu podczas ćwiczeń stwierdzono, że istotnym, z punktu widzenia działania całego układu urządzenie-człowiek, jest opracowanie metody sterowania ruchem. Uwzględnić tu należy kinematykę poszczególnych stawów tak aby manipulator powodował wykonanie zadanych ruchów w odpowiednich osiach stawu biodrowego. Dzięki temu możliwe będzie przeprowadzanie ćwiczeń osiowych, nie pozwalając na wykonywanie niebezpiecznych dla biomechaniki stawu biodrowego ruchów.

Na podstawie otrzymanych wyników na drodze symulacji można stwierdzić poprawne działanie urządzenia oraz spełnienie założeń projektowych. Jest to zatem koncepcja, która jest początkiem do stworzenia prototypu, dzięki któremu możliwe stanie się uzyskanie nowych możliwości dla osób wymagających rehabilitacji.

LITERATURA

- [1] Malinowska K.: Kinezyterapia. gimnastyka lecznicza, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa, 1970.
- [2] Kiwerski J.: Rehabilitacja medyczna, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 2007.
- [3] Dąbrowski J.R.: Inżynieria ortopedyczna i rehabilitacyjna. Wrocław :Wydawnictwo Politechniki Białostockiej.
- [4] R. Będziński, K. Kędzior, J. Kiwerski, A. Morecki, K. Skalski, A. Wall, A. Wit: Biomechanika i Inżynieria Rehabilitacji Tom. Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, 2000.
- [5] Będziński R.: Biomechanika Inżynierska. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1997.

CONCEPTUAL DESIGN OF DEVICE FOR THE HIP JOINT REHABILITATION

Summary. The article presents conceptual design facilities for the rehabilitation of the hip and the analysis of possible exercises to do with it. The primary objective of creating such a device is to control the movement of limbs during exercise, including exercises in isokinetic closed-chain. The concept of the device provides control of both position and forces acting in the downstream system in effect, with proper control, gives the possibility of implementing both passive and active exercises.