

Ocena wybranych parametrów chodu pacjentów przed i 6 miesięcy po zabiegu wcześniejszej rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego

Evaluation of Selected Gait Parameters in Patients Prior to and at 6 Months Following Early Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Joanna Majewska^{1(A,B,C,D,E,F)}, Magdalena Szczepanik^{1(A,B,C,D)}, Daniel Szymczyk^{1(A,B,C,D,E)}, Katarzyna Bazarnik-Mucha^{1(A,B,C,D)}, Mariusz Drużbicki^{1(A,C,D)}, Sławomir Snela^{1(A,D,G)}, Agnieszka Jarmuziewicz^{1(A,B)}, Robert Pyczula^{2(A,D)}

¹ Instytut Fizjoterapii, Wydział Medyczny, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów, Polska

² Szpital Miejski w Rzeszowie, Rzeszów, Polska

¹ Institute of Physiotherapy, Faculty of Medicine, University of Rzeszow, Rzeszow, Poland

² City Hospital in Rzeszow, Rzeszow, Poland

STRESZCZENIE

Wstęp. Uszkodzenie więzadła krzyżowego przedniego (ACL) i jego rekonstrukcja mogą prowadzić do zaburzeń parametrów czasowo-przestrzennych i kinematycznych chodu. Celem pracy była ocena chodu pacjentów po przebytym całkowitym uszkodzeniu ACL i jego endoskopowej rekonstrukcji.

Materiał i metody. Trójpłaszczyznową analizę chodu wykonano przy użyciu systemu optoelektronicznego BTS Smart (6 kamery, 120 Hz). Badaną grupę stanowiło 40 pacjentów z całkowitym przerwaniem ACL i 37 zdrowych osób. W grupie badanej analizę chodu wykonano dwukrotnie, tj. w przeciągu 1-2 tygodni przed rekonstrukcją ACL i 6 miesięcy po zabiegu. W grupie kontrolnej przeprowadzono pojedyncze badanie chodu.

Wyniki. Sześć miesięcy od zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego skróceniu uległy faza podporu dla kończyny nieoperowanej ($p<0,0000$) oraz faza początkowego podwórnego podporu dla kończyny operowanej ($p<0,0000$). Zaobserwowano również istotne statystycznie wydłużenia długości kroku dla obydwu kończyn dolnych. Dodatkowo zwiększała się także częstość kroków pacjentów ($p=0,0003$) oraz średnia prędkość chodu ($p=0,0006$). Pomimo to w badaniu II wartości tych parametrów różniły się wciąż w sposób istotny statystycznie w porównaniu do grupy kontrolnej. Analizując parametry kinematyczne chodu pacjentów po zabiegu operacyjnym wykazano, że w sposób istotny statystycznie zwiększył się zakres ruchu stawów biodrowych i kolanowych w obu kończynach dolnych. Poprawie uległ również zakres ruchu stawu skokowego kończyny operowanej.

Wnioski. 1. W okresie sześciu miesięcy od zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego wystąpiła istotna poprawa i normalizacja wzorca chodu pacjentów, aczkolwiek wciąż można zaobserwować istotne różnice w porównaniu do grupy kontrolnej, co wskazuje na potrzebę dalszej rehabilitacji ukierunkowanej na redukcję wzorca chodu. 2. Wyniki badań wskazują na potrzebę długofalowej obserwacji w grupie pacjentów po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego, w celu określenia czy zaburzenia wzorca chodu wykazują dalszą tendencję do poprawy wraz z upływem czasu.

Słowa kluczowe: rekonstrukcja więzadła krzyżowego przedniego, chód, parametry czasowo-przestrzenne, analiza kinematyczna

SUMMARY

Background. ACL rupture and reconstruction may lead to impairment of spatiotemporal and kinematic gait parameters. The purpose of this study was to evaluate patient's gait following a complete tear of the ACL and its endoscopic reconstruction.

Material and methods. 3D gait analysis was performed using the BTS Smart optoelectronic system (6 IR cameras, 120 Hz). The study group included 40 patients with complete unilateral ACL rupture and 37 healthy matched subjects. In the study group gait analysis was performed twice, within one to two weeks prior to the ACL reconstruction and the follow-up study six months after surgery. In the control group single gait analysis was performed.

Results. Six months after the ACL reconstruction the duration of the stance phase for the non-operated limb ($p<0,0000$) and the initial double stance phase for the operated limb ($p<0,0000$) were reduced. A statistically significant increase in the step length for both lower limbs was observed. Additionally patients' gait cadence ($p=0,0003$) and mean gait speed ($p=0,0006$) have also increased. Nevertheless, in the second study, these parameters were still significantly different comparing to the control group. Analysing the kinematic parameters of patients' gait after surgery it was demonstrated, that the hip and knee joints range of motion in both limbs has increased in a statistically significant way. The range of motion of the ankle joint of the operated limb has also improved.

Conclusions. 1. Within six months after the ACL reconstruction there was significant improvement and normalization of the patient's gait pattern, though we may still observe significant differences when compared to the control group, which indicates the need for further rehabilitation focused on the re-education of patients' gait pattern. 2. Results of our study indicate a need of long-term observation in the group of patients after ACL reconstruction to determine, whether the gait pattern impairment demonstrate further tendency to improve in time.

Key words: anterior cruciate ligament reconstruction, gait, spatiotemporal parameters, kinematic analysis

WSTĘP

Więzadła krzyżowe przednie są głównymi biernymi stabilizatorami stawu kolanowego w płaszczyźnie strzałkowej oraz poprzecznej i czołowej [1]. Wraz z prawidłowym ukształtowaniem powierzchni stawowych, działaniem innych więzadł i pracą mięśni zapewniają funkcjonalną stabilność i prawidłową kinematykę stawu kolanowego [2,3]. Więzadło krzyżowe przednie (ACL) jest nie tylko najważniejszym biernym stabilizatorem stawu kolanowego, ale pełni również istotną rolę sensoryczną, ze względu na występujące w jego budowie mechanoreceptory [4,5].

Zerwanie ACL jest jednym z najczęściej występujących urazów stawu kolanowego. Statystycznie, w krajach Europy i w Stanach Zjednoczonych każdego roku wykonuje się jedną rekonstrukcję tego więzadła w przeliczeniu na 1000 mieszkańców [6]. Uszkodzenie ACL najczęściej dotyczy osób znajdujących się w przedziale wiekowym 25-30 lat, co niesie ze sobą poważne konsekwencje społeczno-ekonomiczne [7]. Złotym standardem postępowania w przypadku całkowitego przerwania ACL jest jego rekonstrukcja [8]. Celem zabiegu jest przywrócenie stabilności stawu kolanowego i umożliwienie pacjentom powrotu do poziomu aktywności sprzed urazu, jednak nie u wszystkich rekonstrukcja ACL przyczynia się do jego osiągnięcia [9].

Zmiany wzorca chodu pacjentów po uszkodzeniu i rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego były przedmiotem licznych badań naukowych, z wykorzystaniem różnych narzędzi badawczych i technik. Uszkodzenie oraz rekonstrukcja ACL mogą prowadzić do zaburzeń w zakresie parametrów czasowo-przestrzennych i kinematyki chodu oraz wzrostu wydatku energetycznego związanego z chodem. Zmiany te mają charakter kompensacyjny i mogą być wynikiem adaptacji mięśni oraz zaburzeń kontroli nerwowo-mięśniowej w związku z bólem i brakiem poczucia stabilności kolana, a ich celem jest stabilizacja stawu kolanowego i zapobieganie wystąpieniu ponownego urazu [10-12].

Tradycyjna ocena kliniczna, sprowadzająca się jedynie do badania mechanicznej stabilności stawu w warunkach statycznych, oceny siły mięśniowej czy też zakresów ruchu może być niewystarczająca dla pełnej oceny funkcjonalnej pacjentów po rekonstrukcji ACL. Powinna ona być uzupełniona o badania dotyczące oceny funkcji stawu w warunkach dynamicznych, w czasie chodu czy też różnych form aktywności sportowej. Badanie chodu pacjentów przed i na różnych etapach po rekonstrukcji ACL ma za zadanie wykrycie nieprawidłowych wzorców ruchowych oraz zaburzeń biomechaniki stawu kolanowego. Utrzymu-

BACKGROUND

Anterior cruciate ligaments are the main passive stabilizers of the knee joint in the sagittal plane as well as in the transverse and frontal plane [1]. The anatomical shape of joint surfaces combined with the work of other ligaments and muscles ensure functional stability and normal kinematics of the knee joint [2,3]. The anterior cruciate ligament is not only the main passive stabilizer of the knee joint, but also plays a significant sensory role due to the presence of mechanoreceptors in its structure [4,5].

Rupture of the ACL is the most common injury of the knee joint. Statistically one surgical ACL reconstruction per 1,000 inhabitants is performed every year in Europe and the USA [6]. The mean age of patients suffering from an ACL lesion is between 25 and 30 years; thus it has a high socioeconomic impact [7]. The current gold standard of treatment in complete ACL rupture is ligament reconstruction [8]. The aim of the surgery is to restore knee stability and allow the patient to return to the pre-injury activity level; however, not all patients who undergo surgical reconstruction of the ACL return to their previous level of activity [9].

Changes in the patient's gait pattern following an injury and reconstruction of the ACL have been the subject of numerous scientific studies using various research tools and techniques. ACL rupture and reconstruction may result in impairment of spatiotemporal parameters and gait kinematics and increased walking-related energy expenditure. These changes are of compensatory nature and may result from adaptation of the muscles and impaired neuromuscular control to pain and lack of a sense of knee stability, their aim being to stabilize the knee joint and prevent new injuries [10-12].

Traditional clinical assessment, which is limited to examining the passive mechanical stability of the joint under static conditions and evaluation of muscle strength or the range of motion, may be insufficient for a complex functional evaluation of subjects following ACL reconstruction. Clinical assessment should be enhanced with a functional assessment of the knee joint under dynamic conditions, during walking or various sports activities. The aim of analysing a patient's gait prior to and at different stages after ACL reconstruction is to detect impaired movement patterns and knee joint biomechanics. Persistent movement asymmetries in both the frontal and sagittal planes during walking, running, and jumping may contribute to the development of degenerative changes in the joint [13-15].

Gait pattern impairment in patients after ACL reconstruction can be observed up to five years after

jąca się asymetria ruchów w płaszczyźnie czołowej i strzałkowej podczas chodu, biegu i skoków może przyczyniać się do rozwoju zmian degeneracyjnych stawu [13-15].

Zaburzenia wzorca chodu pacjentów po rekonstrukcji ACL mogą być obecne nawet do 5 lat po zabiegu operacyjnym [13]. Z kolei wg Leporace i wsp. w ciągu 6 miesięcy od rekonstrukcji ACL dochodzi do normalizacji parametrów kinematycznych chodu w płaszczyźnie strzałkowej tak, że nie występują różnice w porównaniu do kontrolnej grupy zdrowych osób [16].

Celem tej prospektywnej pracy była ocena chodu pacjentów po całkowitym uszkodzeniu ACL i jego rekonstrukcji z wykorzystaniem metody „AperFix”. Założono, że po sześciu miesiącach od zabiegu dochodzi do znaczącej poprawy wzorca chodu, ale jest on wciąż istotnie różny od wzorca chodu osób zdrowych.

MATERIAŁ I METODY

Grupę badaną stanowili pacjenci operowani w Oddziale Ortopedii Szpitala Miejskiego w Rzeszowie. Do badania zostały zakwalifikowane osoby po całkowitym, jednostronnym, izolowanym uszkodzeniu ACL potwierdzonym w badaniu rezonansu magnetycznego, u których wykonano zabieg artroskopowej rekonstrukcji ACL metodą „AperFix” z wykorzystaniem autogennego przeszczepu ze ścięgien mięśnia półcięgnistego i smukłego. Poziom bólu w ciągu dwóch dni przed badaniem nie mógł przekraczać 2 wg Analogowej Skali Wizualnej (VAS). Warunkiem kwalifikacji do badania było również przebycie programu fizjoterapii w warunkach ambulatoryjnych. Kwalifikowano jedynie tych pacjentów, u których zabieg rekonstrukcji wykonano w okresie jednego miesiąca od urazu. Zarówno do grupy badanej, jak i kontrolnej kwalifikowano tylko te osoby, które przed wystąpieniem urazu podejmowały regularnie aktywność fizyczną (3-4 razy w tygodniu). Pacjenci z innymi niż ACL, dodatkowymi uszkodzeniami struktur stawu kolanowego oraz pacjenci, u których wystąpił powtórny uraz stawu kolanowego lub inny uraz kończyny dolnej w okresie 6 miesięcy od rekonstrukcji byli wykluczeni z badania. Do badania włączono 40 pacjentów (30 mężczyzn, 10 kobiet). Średni wieku pacjentów wynosił 30,9 lat (odchylenie standardowe 7,1). Do grupy kontrolnej włączono 37 zdrowych osób (20 mężczyzn i 17 kobiet). Średnia wieku w grupie kontrolnej wynosiła 25,6 lat (odchylenie standardowe 5,7).

Wszyscy pacjenci zostali poddani badaniu ortopedycznemu. Badanie kliniczne kończyny operowanej i nieoperowanej obejmowało test Lachmana, test szuflady przedniej, test stabilności więzadła krzyżo-

the surgery [13]. However, according to Leporace et al. the sagittal plane gait kinematics for the reconstructed lower limb normalise within six months after ACL reconstruction and no differences can be detected compared to a healthy control group [16].

The purpose of this prospective study was to evaluate gait in patients following a complete tear of the ACL and its reconstruction using the “AperFix” method. We hypothesized that at six months after the reconstruction of the ACL, the gait pattern would be significantly improved, but would still demonstrate significant differences compared to the gait pattern of healthy subjects.

MATERIAL AND METHODS

The experimental group consisted of patients operated on at the Orthopaedic Ward of the City Hospital in Rzeszow, Poland. The patients had experienced a complete, unilateral, isolated ACL tear confirmed by MRI and had undergone arthroscopic reconstruction using the “AperFix” method with a semitendinosus autograft. Only patients whose pain levels did not exceed 2 in the Visual Analogue Scale within 2 days before the assessment were included. Another inclusion criterion was having completed a physiotherapy program in the out-patient rehabilitation centre. Only patients who had had the ACL reconstruction surgery performed within one month following the injury were included. Yet another inclusion criterion in both the experimental and control groups was regular physical activity (3 to 4 times a week) before the injury. Subjects with additional damage to knee joint structures other than ACL and those who had experienced another knee joint injury or any lower limb injury within six months from ACL reconstruction surgery were excluded from the study. The experimental group ultimately included 40 patients (30 men and 10 women). The mean age of the subjects was 30.9 years (SD 7.1). The control group consisted of 37 healthy matched subjects (20 men and 17 women). The mean age in the control group was 25.6 years (SD 5.7).

All patients underwent a clinical orthopaedic examination. The clinical tests for the operated and non-operated knee included Lachman's test, the anterior drawer test, assessment of the stability of the posterior cruciate ligament and collateral ligaments, as well as meniscus and patellofemoral joint tests. Prior

wego tylnego, więzadeł pobocznych, łykotek i testy dla stawu rzepkowo-udowego. Każdy z uczestników przed rozpoczęciem badania został poinformowany o jego celu i przebiegu oraz wyraził pisemną zgodę na udział w badaniu. Procedura badania uzyskała zgodę Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Rzeszowskiego (10/02/2013). Badanie zostało wykonane dwukrotnie: pierwsze w okresie od 1 do 2 tygodni przed zabiegiem rekonstrukcji ACL (badanie I), drugie badanie – kontrolne, po 6 miesiącach od zabiegu (badanie II). Badanie chodu u osób zakwalifikowanych do grupy kontrolnej zostało przeprowadzone jednokrotnie.

Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium Biomechaniki Instytutu Fizjoterapii Uniwersytetu Rzeszowskiego. Analizę chodu wykonano przy użyciu komputerowego systemu optoelektronicznego BTS Smart (BTS Bioengineering, Włochy). System śledzi położenie i ruch pasywnych, odbijających światło markerów umieszczonych na ciele i na tej podstawie oblicza parametry czasowo – przestrzenne i kinematyczne chodu. Składa się on z 6 kamer na podczerwień rejestrujących ruch z częstotliwością 120 Hz. Procedura badania obejmowała:

- kalibrację systemu
- wykonanie pomiarów antropometrycznych (wysokość i masa ciała, długość kończyn dolnych, szerokość i głębokość miednicy, szerokość stawu kolanowego i stawu skokowego),
- umieszczenie markerów na ciele pacjenta zgodnie z wewnętrznym protokołem systemu (protokół Davies'a)
- gromadzenie danych – test statyczny i 10-12 testów dynamicznych (chód)
- opracowanie i obróbkę danych przy użyciu oprogramowania BTS Tracker i BTS Analyzer (BTS Bioengineering, Włochy).

W czasie badania każdy z pacjentów miał za zadanie przejść 7-metrowy dystans wyznaczony w polu widzenia kamer. Badani chodzili z wybraną przez siebie, komfortową prędkością. Dane uzyskane w czasie badania chodu pochodzily z 6 pełnych cykli chodu dla prawej i lewej kończyny dolnej (operowanej i nieoperowanej), dla każdej badanej osoby.

W analizie wyników wykorzystano wybrane parametry czasowo-przestrzenne chodu (udział procentowy fazy podporu i fazy początkowego podwójnego podporu w cyklu chodu, długość kroków, częstość kroków, prędkość chodu) oraz wybrane parametry kinematyczne chodu, tj. zakres ruchu w płaszczyźnie strzałkowej dla miednicy, stawu biodrowego, kolanowego i skokowego.

Do oceny istotności różnic pomiędzy wybranymi parametrami chodu w grupie badanej i kontrolnej zastosowano nieparametryczny test U Manna–Whitneya.

To participation in the study, each subject received and signed an informed consent form. The study was approved by the Ethical Committee of the University of Rzeszów, Poland (10 Feb 2013). Examinations were performed twice: one to two weeks prior to the ACL reconstruction surgery (Examination I) and a follow-up examination at six months after surgery (Examination II). Gait analysis in subjects from the control group was performed once.

The examinations were conducted in the Laboratory of Biomechanics of the Institute of Physiotherapy at the University of Rzeszow. BTS Smart, a computerized optoelectronic system (BTS Bioengineering, Italy), was used for gait assessment in this study. The system tracks the location and movement of passive reflective markers placed on a subject's body and calculates spatiotemporal and kinematic parameters of the gait. The system comprises of six 120 Hz infrared cameras. The examination procedure covered: calibration of the system

- anthropometric measurements (body height and weight, lower limb length, width and depth of the pelvis, knee and ankle joint width)
- placement of the markers according to the internal protocol of the system (Davis Protocol)
- data acquisition – 1 static test and 10-12 dynamic tests (walking)
- data elaboration and processing using BTS Tracker and BTS Analyzer software (BTS Bioengineering, Italy).

During the gait assessment examination, each subject was asked to walk a distance of seven meters along a pathway covered by the system cameras. The subjects walked at their self-selected, comfortable speed. For every subject in this study, data from six full gait cycles for the right and left lower limb (operated and non-operated limb) were used for further analysis.

Selected spatiotemporal parameters of the gait (percentage share of the stance and the initial double stance phase of the gait cycle, step length, step cadence and gait speed) and selected kinematic parameters of the gait (range of motion in the sagittal plane for the pelvis, the hip joint, knee joint and ankle joint) were analysed.

A non-parametric Mann-Whitney U test was used to evaluate the significance of the differences in selected gait parameters between the experimental and control group. The significance of the differences in the distribution of the gait parameters in the study group between the first and second examination was calculated using a non-parametric Wilcoxon test. The significance of differences between these two examinations was assessed using a non-parametric, precise version of this test for small samples. The level of

Istotność różnic dotyczących rozkładu ocenianych parametrów w grupie badanej pomiędzy pierwszym i drugim badaniem obliczono za pomocą nieparametrycznego testu Wilcoxona. Istotność różnic pomiędzy tymi badaniami oceniono przy użyciu nieparametrycznej precyzyjnej wersji testu dla małych próbek. Poziom istotności statystycznej ustalono jako $\alpha<0.05$. Obliczenia i analizy statystyczne wykonano przy użyciu programu Statistica, wersja 10.0 (StatSoft, Polska).

WYNIKI

Przed zabiegiem operacyjnym w porównaniu z grupą kontrolną

W pierwszym badaniu, przed zabiegiem operacyjnym, nie wykazano występowania istotnych statystycznie różnic tylko dla długości fazy podporu kończyny operowanej ($p=0,5805$) oraz fazy początkowego podwójnego podporu dla kończyny nieoperowanej ($p=0,1409$). Dla pozostałych analizowanych parametrów chodu różnice były istotne statystycznie. Długość kroku dla kończyny operowanej i nieoperowanej oraz częstotliwość kroków i prędkość chodu w grupie badanej były w sposób istotny statystycznie niższe w porównaniu do grupy kontrolnej (Tab. 1).

Przed zabiegiem operacyjnym średni zakres ruchu w stawie biodrowym, kolanowym i skokowym był istotnie niższy w grupie badanej w porównaniu do grupy kontrolnej, zarówno dla kończyny operowanej, jak i nieoperowanej. Średni zakres ruchu miednicy w grupie badanej był wyższy w porównaniu z grupą kontrolną, ale tylko po stronie kończyny operowanej różnica ta była istotna statystycznie (Tab. 2).

significance was assumed at $\alpha<0.05$. All calculations and statistical analyses were performed using STATISTICA ver. 10.0 (StatSoft, Poland).

RESULTS

Comparison of the results of the examination of ACL patients prior to surgery and the examination in the control group

In the first examination, prior to the surgery, there were no statistically significant differences only for the duration of the stance phase for the operated limb ($p=0.5805$) and the initial double stance phase for the non-operated limb ($p=0.1409$), compared to the control group. For all other gait parameters analysed, the differences were statistically significant. The step length for the operated and non-operated limb as well as gait cadence and mean gait speed were significantly lower in the experimental group compared to the control group (Tab. 1).

Prior to the surgery, mean ranges of motion at the hip, knee and ankle joints were significantly lower in the experimental group as compared to the control group, both for the operated and non-operated limb. The average pelvic range of motion was higher in the experimental group compared to the control group, but the difference was statistically significant only for the operated side (Tab. 2).

Tab. 1. Parametry czasowo-przestrzenne chodu w grupie badanej i kontrolnej – badanie 1

Tab. 1. Spatiotemporal gait parameters in the experimental and control group – examination 1

Parametry czasowo-przestrzenne/ Spatiotemporal parameters	Grupa badana (n=40)/ Experimental group (n=40)	Grupa kontrolna (n=37)/ Control group (n=37)	<i>p</i>
ST op (%)	60.5±1.8	60.4±1	0.5805
ST non-op (%)	62.6±2.2	60.4±1	0.0000
iDST op (%)	12.6±2	10.5±1	0.0000
iDST non-op (%)	11.0±1.7	10.5±1	0.1409
SL op (m)	0.57±0.07	0.62±0.05	0.0036
SL non-op (m)	0.57±0.07	0.62±0.05	0.0016
SL/bh op (m)	0.33±0.04	0.36±0.02	0.0000
SL/bh non-op (m)	0.33±0.04	0.36±0.02	0.0000
SL/ll op (m)	0.63±0.08	0.69±0.04	0.0000
SL/ll non-op (m)	0.63±0.08	0.69±0.04	0.0000
Częstość kroków (kroki/min.)/Cadence (steps/min)	102±10.2	114.9±6.1	0.0000
V (m/s)	1.03±0.19	1.25±0.7	0.0000

ST – faza podporu; iDST – faza początkowego podwójnego podporu; SL – długość kroku; op – kończyna operowana; non-op – kończyna nieoperowana; bh – wysokość ciała; ll – długość kończyny; V – prędkość chodu; p – test U Mann-Whitneya

ST – stance phase; iDST – initial double stance phase; SL – step length; op – operated limb; non-op – non-operated limb; bh – body height; ll – limb length; V – gait speed; p – Mann-Whitney U test

**Porównanie wyników
dla kończyny operowanej i nieoperowanej
przed i 6 miesięcy po zabiegu**

Wyniki badania chodu sześć miesięcy po zabiegu rekonstrukcji ACL wykazały istotne statystycznie zwiększenie wartości większości analizowanych parametrów czasowo-przestrzennych, z wyjątkiem fazy podporu na kończynie operowanej ($p=0,2142$) oraz fazy początkowego podwójnego podporu dla kończyny nieoperowanej ($p=0,0996$). W badanej grupie w sposób istotny statystycznie wzrosła długość oraz częstotliwość kroków, co miało wpływ na zwiększenie średniej prędkości chodu pacjentów (Tab. 3).

Sześć miesięcy po zabiegu operacyjnym zaobserwowało istotną statystycznie poprawę zakresu ruchu stawu biodrowego i stawu kolanowego w obu kończynach dolnych oraz zakresu ruchu stawu skokowego kończyny operowanej. Zakres ruchu miednicy zmniejszył się zarówno dla strony operowanej, jak i nieoperowanej, ale różnice te nie były istotne statystycznie (Tab. 4).

Comparison of results for the operated and non-operated limb prior to vs. at 6 months following surgery

The gait analysis at six months following ACL reconstruction revealed statistically significant increases in most spatiotemporal parameters analysed, except for the stance phase for the operated limb ($p=0.2142$) and the initial double stance phase for the non-operated limb ($p=0.0996$). There was a statistically significant increase in step length and step cadence in the experimental group, which contributed to an increase in mean gait speed of the patients (Tab. 3).

At six months after the surgery, statistically significant improvement was noted in the range of motion at the hip joint and the knee joint for both lower limbs as well as in the range of ankle motion for the operated lower limb. The pelvic range of motion was reduced for both the operated and non-operated lower limb, though the differences were not statistically significant (Tab. 4).

Tab. 2. Parametry kinematyczne chodu w grupie badanej i kontrolnej – badanie 1

Tab. 2. Kinematic gait parameters in the experimental and control group – examination 1

Parametry kinematyczne/ Kinematic parameters	Grupa badana (n=40)/ Experimental group (n=40)	Grupa kontrolna (n=37)/ Control group (n=37)	<i>p</i>
pelvis ROM op	3.54±1.61	2.74±0.72	0.0187
pelvis ROM non-op	3.39±1.57	2.74±0.72	0.2168
hip ROM op	41.1±5.3	46.1±2.4	0.0000
hip ROM non-op	43.7±5.1	46.1±2.4	0.0014
knee ROM op	45.5±10.9	59.8±3.9	0.0000
knee ROM non-op	54.3±7.9	59.8±3.9	0.0006
ankle ROM op	24.6±5.2	28.9±4.5	0.0003
ankle ROM non-op	26.3±4.8	28.9±4.5	0.0227

pelvis ROM- zakres ruchu miednicy; op – kończyna operowana; non-op – kończyna nieoperowana; hip ROM- zakres ruchu w stawie biodrowym; knee ROM- zakres ruchu w stawie kolanowym; ankle ROM- zakres ruchu w stawie skokowym; p – test U Manna-Whitneya ROM-range of motion; op – operated limb; non-op – non-operated limb; p – Mann-Whitney U test

Tab. 3. Porównanie parametrów czasowo-przestrzennych chodu w badaniu 1 i 2

Tab. 3. Comparison of spatiotemporal gait parameters between examination 1 and 2

Parametry czasowo-przestrzenne/ Spatiotemporal parameters	Badanie 1/ Examination 1	Badanie 2/ Examination 2	<i>p</i>
ST op (%)	60.5±1.8	60.1±1.4	0.2142
ST non-op (%)	62.6±2.2	60.8±1.2	0.0000
iDST op (%)	12.6±2	10.5±1.1	0.0000
iDST non-op (%)	11.0±1.7	10.5±1.4	0.0996
SL op (m)	0.57±0.07	0.60±0.08	0.0041
SL non-op (m)	0.57±0.07	0.60±0.07	0.003
SL/bh op (m)	0.33±0.04	0.35±0.04	0.0026
SL/bh non-op (m)	0.33±0.04	0.35±0.03	0.003
SL/ll op (m)	0.63±0.08	0.66±0.08	0.0025
SL/ll non-op (m)	0.63±0.08	0.67±0.08	0.0028
Częstość kroków (kroki/min.)/Cadence (steps/min)	102±10.2	108.2±7.6	0.0003
V (m/s)	1.03±0.19	1.16±0.21	0.0006

ST – faza podporu; iDST – faza początkowego podwójnego podporu; SL – długość kroku; op – kończyna operowana; non-op – kończyna nieoperowana; bh – wysokość ciała; ll – długość kończyny; V – prędkość chodu; p – test Wilcoxona

ST – stance phase; iDST – initial double stance phase; SL – step length; op – operated limb; non-op – non-operated limb; bh – body height; ll – limb length; V – gait speed; p – Wilcoxon test

Porównanie wyników badania 6 miesięcy po zabiegu operacyjnym do grupy kontrolnej

W badaniu przeprowadzonym sześć miesięcy po zabiegu rekonstrukcji ACL nie stwierdzono występowania istotnych statystycznie różnic w zakresie większości analizowanych parametrów czasowo-przestrzennych chodu. Pomimo poprawy chodu pacjentów, długość kroku kończyny nieoperowanej (znormalizowana do wysokości ciała i długości kończyny) oraz częstość kroków i średnia prędkość chodu wciąż pozostały istotnie niższe w porównaniu z grupą kontrolną (Tab. 5).

W odniesieniu do parametrów kinematycznych istotne statystycznie różnice, w porównaniu z grupą kontrolną, zostały stwierdzone jedynie w przypadku zakresu ruchu w stawie kolanowym w obu kończynach dolnych. W grupie kontrolnej średni zakres ruchu stawu kolanowego był wciąż wyższy niż w grupie badanej. W badaniu II nie zaobserwowano już jednak istotnych statystycznie różnic w odniesieniu do zakresu ruchu miednicy oraz zakresu ruchu w stawie biodrowym i w stawie skokowym, w porównaniu do grupy kontrolnej (Tab. 6).

Tab. 4. Porównanie parametrów kinematycznych chodu w badaniu 1 i 2

Tab. 4. Comparison of kinematic gait parameters in examination 1 and 2

Parametry kinematyczne/ Kinematic parameters	Badanie 1/ Examination 1	Badanie 2/ Examination 2	p
pelvis ROM op	3.54±1.61	3.04±0.95	0.0688
pelvis ROM non-op	3.39±1.57	2.85±0.04	0.0801
hip ROM op	41.1±5.3	44.4±7.9	0.0001
hip ROM non-op	43.7±5.1	45.6±4.5	0.0328
knee ROM op	45.5±10.9	53.8±5.2	0.0000
knee ROM non-op	54.3±7.9	55.9±6.8	0.0388
ankle ROM op	24.6±5.2	28.3±5.2	0.0011
ankle ROM non-op	26.3±4.8	28.2±5.2	0.1553

pelvis ROM- zakres ruchu miednicy; op – kończyna operowana; non-op – kończyna nieoperowana; hip ROM- zakres ruchu w stawie biodrowym; knee ROM- zakres ruchu w stawie kolanowym; ankle ROM- zakres ruchu w stawie skokowym; p – test Wilcoxonu
ROM – range of motion; op – operated limb; non-op – non-operated limb; p – Wilcoxon test

Tab. 5. Porównanie parametrów czasowo-przestrzennych chodu w badaniu 2 i w grupie kontrolnej

Tab. 5. Comparison of spatiotemporal gait parameters in examination 2 and the control group

Parametry czasowo-przestrzenne/ Spatiotemporal parameters	Badanie 2/ examination 2	Grupa kontrolna/ control group	p
ST op (%)	60.1±1.4	60.4±1	0.4558
ST non-op (%)	60.8±1.2	60.4±1	0.1332
iDST op (%)	10.5±1.1	10.5±1	0.9762
iDST non-op (%)	10.5±1.4	10.5±1	0.9227
SL op (m)	0.60±0.08	0.62±0.05	0.6157
SL non-op (m)	0.60±0.07	0.62±0.05	0.3690
SL/bh op (m)	0.35±0.04	0.36±0.02	0.1413
SL/bh non-op (m)	0.35±0.03	0.36±0.02	0.0469
SL/ll op (m)	0.66±0.08	0.69±0.04	0.1086
SL/ll non-op (m)	0.67±0.08	0.69±0.04	0.0425
Częstość kroków (kroki/min.)/Cadence (steps/min)	108.2±7.6	114.9±6.1	0.0001
V (m/s)	1.16±0.21	1.25±0.7	0.0192

ST – faza podporu; iDST – faza początkowego podwójnego podporu; SL – długość kroku; op – kończyna operowana; non-op – kończyna nieoperowana; bh – wysokość ciała; ll – długość kończyny; V – prędkość chodu; p – test U Manna-Whitneya
ST – stance phase; iDST – initial double stance phase; SL – step length; op – operated limb; non-op – non-operated limb; bh – body height;
ll – limb length; V – gait speed; p – Mann-Whitney U test

Tab. 6. Porównanie parametrów kinematycznych chodu w badaniu 2 i w grupie kontrolnej

Tab. 6. Comparison of kinematic parameters in examination 2 and the control group

Parametry kinematyczne/ Kinematic parameters	Badanie 2/ examination 2	Grupa kontrolna/ control group	p
pelvis ROM op	3.04±0.95	2.74±0.72	0.161
pelvis ROM non-op	2.85±0.04	2.74±0.72	0.6157
hip ROM op	44.4±7.9	46.1±2.4	0.1020
hip ROM non-op	45.6±4.5	46.1±2.4	0.5944
knee ROM op	53.8±5.2	59.8±3.9	0.0000
knee ROM non-op	55.9±6.8	59.8±3.9	0.0029
ankle ROM op	28.3±5.2	28.9±4.5	0.3172
ankle ROM non-op	28.2±5.2	28.9±4.5	0.4024

pelvis ROM - zakres ruchu miednicy; op – kończyna operowana; non-op – kończyna nieoperowana; hip ROM - zakres ruchu w stawie biodrowym; knee ROM - zakres ruchu w stawie kolanowym; ankle ROM - zakres ruchu w stawie skokowym; p – test U Manna-Whitneya ROM – range of motion; op – operated limb; nol – non-op limb; p – Mann-Whitney U test

DYSKUSJA

Więzadło krzyżowe przednie odgrywa ważną rolę w kontroli przedniej translacji kości piszczelowej oraz koślawości i osiowej rotacji stawu kolanowego [17,18]. Do jego uszkodzenia dochodzi dosyć często, szczególnie w grupie młodych osób biorących udział w różnych formach aktywności o charakterze sportowym. [19]. Obiektywna analiza parametrów chodu pacjentów z uszkodzonym ACL oraz po zabiegu rekonstrukcyjnym może dostarczać wielu istotnych klinicznie informacji.

Wyniki naszych badań wskazują na to, że w okresie sześciu miesięcy od zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego wystąpiła istotna poprawa i normalizacja wzorca chodu pacjentów, aczkolwiek wciąż można zaobserwować istotne różnice w porównaniu do grupy kontrolnej. Wyniki badań naukowych innych autorów również wykazały, że wzorzec chodu i zakres ruchu kończyny różni się u osób po rekonstrukcji ACL w porównaniu z grupą kontrolną [20-22]. Oznacza to, że rekonstrukcja ACL może wpływać na poprawę funkcji stawu kolanowego, jednak chód osób po zabiegu operacyjnym różni się od prawidłowego [23]. Gao i wsp. wykazali, że prędkość chodu i długość kroku są mniejsze niż w kontrolnej grupie zdrowych osób [24]. Z kolei Shabani i wsp. zaobserwowali jedynie zmniejszenie prędkości chodu [25]. Bardziej zróżnicowane wyniki w zakresie parametrów czasowo-przestrzennych zaprezentowali Bacchini i wsp. Statystycznie istotne różnice w porównaniu z grupą kontrolną dotyczyły prędkości chodu, czasu trwania fazy pojedynczego i podwójnego podporu. Czas trwania fazy pojedynczego podporu był przedłużony dla obydwu kończyn, przy czym po stronie kończyny operowanej był nieznacznie krótszy. Bardziej znaczącym parametrem był czas trwania fazy podwójnego podporu, który dla kończyny operowanej wynosił średnio 38,1% cyklu chodu, a dla kończyny nieoperowanej średnio 19,2% [26]. Uszko-

DISCUSSION

The anterior cruciate ligament is essential for controlling anterior translation of the tibia, as well as excessive knee valgus and axial rotation [17,18]. It is frequently subject to rupture, particularly in the population of young people taking part in various sports activities [19]. An objective analysis of the gait parameters in patients with ruptured ACL and following ACL reconstruction surgery may provide a good deal of important clinical information.

Our study revealed that within six months after ACL reconstruction surgery, there was significant improvement and normalisation of the patients' gait pattern, though some significant differences as compared to the control group could still be observed. Other authors also indicate that, following ACL reconstruction, the gait pattern and lower limb range of motion may differ between subjects and controls [20-22]. It means that while a reconstruction of the ACL can improve knee joint function, the gait of patients after the surgery can differ from normal gait [23]. Gao et al. demonstrated that patients' gait speed and step length were lower than in a healthy control group [24]. However, Shabani et al. only noted a reduced gait speed [25]. Bacchini et al. presented more diversified results concerning spatiotemporal parameters. Statistically significant differences as compared to a control group concerned gait speed and the duration of the single and double stance phase. The single stance phase duration was extended for both limbs, but was slightly shorter on the operated side. The double stance phase duration was a more relevant parameter, accounting for 38.1% of the gait cycle for the operated limb and 19.2% for the non-operated limb [26]. ACL rupture not only affects function of the musculoskeletal system and kinematics of the operated limb but also has a negative impact on the gait parameters of the non-operated limb [23].

dzenie ACL wpływa nie tylko na zaburzenia funkcji układu mięśniowo-szkieletowego i kinematyki kończyny operowanej, ale wpływa również negatywnie na parametry chodu dla kończyny przeciwej [23].

Większość badań naukowych wskazuje na zmniejszenie zakresu ruchu uszkodzonego stawu kolanowego w płaszczyźnie strzałkowej (zgięcie/wyprost) [23, 25,27]. Wykazano, że pacjenci ustawiają staw kolanowy w niewielkim zgięciu, by ograniczyć działanie mięśnia czworogłowego uda, a tym samym zmniejszyć obciążenie ACL [24]. Z badań Ferbera i wsp. wynika, że trzy miesiące po zabiegu rekonstrukcji ACL kilka parametrów chodu znacznie różni się w porównaniu ze stanem przed zabiegiem operacyjnym. Zakres zgięcia stawów biodrowego i kolanowego był średnio o 3° większy w porównaniu z zakresem ruchu przed rekonstrukcją i ok. 5° większy w porównaniu z grupą kontrolną [28]. Devita i wsp. wykazali, że pacjenci w okresie 3 tygodni po rekonstrukcji ACL wykazują poprawę zakresu ruchu w stawie kolanowym o około 10° [29]. Dodatkowo, badanie po upływie 6 miesięcy od zabiegu nie wykazało statystycznie istotnych zmian w porównaniu z grupą kontrolną. Bush-Joseph i wsp. w okresie 8 miesięcy od zabiegu również nie zaobserwowali żadnych statystycznie istotnych różnic dotyczących kinematyki stawu kolanowego [30]. Knoll i wsp. badając osoby po rekonstrukcji ACL już 4 miesiące po zabiegu, nie wykazali statystycznie istotnych zmian zarówno w zakresie kinematyki stawu kolanowego, jak i w obrębie parametrów czasowo-przestrzennych [31]. Z kolei Timoney i wsp. badając chód osób po rekonstrukcji ACL pomiędzy 9 a 12 miesiącem od zabiegu, który miał miejsce od 1 do 66 miesięcy po urazie, wykazali zmniejszony zakres ruchu stawu kolanowego u 64% pacjentów, w porównaniu z grupą kontrolną [32]. Torry i wsp. na podstawie badania chodu 16 osób z uszkodzonym ACL wykazali brak istotnych statystycznie różnic w zakresie kinematyki i kinetyki stawu biodrowego, kolanowego i skokowego [33].

W związku z różnymi wynikami i heterogenicznością analizowanych badań dotyczących chodu pacjentów po rekonstrukcji ACL, prawdopodobnym jest, że wpływ na te wszystkie różnice w wynikach badań ma czas pomiędzy urazem a zabiegem rekonstrukcyjnym. Dodatkowo różnice w postępowaniu rehabilitacyjnym po zabiegu również mogą wpływać na wyniki badań i chód pacjentów, na różnych etapach po zabiegu rekonstrukcji ACL. Wyniki większości badań wskazują, że rekonstrukcja ACL znacząco wpływa na zmianę wzorca chodu i przywrócenie wzorca prawidłowego zajmuje co najmniej 6 miesięcy.

Gokeler i wsp. dokonali przeglądu artykułów dotyczących chodu pacjentów po rekonstrukcji ACL,

Most scientific studies have indicated a reduced range of motion of the injured knee joint in the sagittal plane (flexion/extension) [23,25,27]. It has been demonstrated that after ACL reconstruction patients have their knee joint slightly flexed in order to reduce the action of the quadriceps muscle and ACL load [24]. In a study by Ferber et al., at three months after ACL reconstruction, several gait parameters differed significantly compared to the pre-surgery status. Flexion at the hip and knee joint was on average 3° higher compared to the range of motion prior to reconstruction and 5° higher than in the control group [28]. Devita et al. demonstrated that, within three weeks after ACL reconstruction, patients revealed approx [29] 10° improvement of the knee joint range of motion. Besides, a follow-up examination at six months after surgery did not reveal statistically significant differences compared to the control group. Bush-Joseph et al. also did not observe any statistically significant differences in knee joint kinematics within eight months after surgery [30]. Knoll et al. examined subjects after ACL reconstruction at four months after surgery and revealed no statistically significant changes in knee joint kinematics or in the spatiotemporal parameters [31]. However, Timoney et al. studied the gait of subjects after ACL reconstruction between nine and 12 months following surgery (which had taken place from one to 66 months after the injury) and demonstrated a reduction in the knee joint range of motion in 64% of the patients compared to the control group [32]. Torry et al., based on a gait examination of 16 subjects with ACL rupture, showed a lack of statistically significant differences regarding the kinetics and kinematics of the hip, knee and ankle joints [33].

Due to the disparity of the results reported and heterogeneity of the analysed studies of the gait of patients after ACL reconstruction, it is possible that the time between the injury and reconstruction surgery can contribute to the differences revealed in those studies. Besides, different rehabilitation procedures following surgery can also impact the results of examinations and the gait of the patients at different stages after ACL reconstruction. The results of most of those studies indicate that ACL reconstruction contributes to a substantial change in the gait pattern and that the restoration of a physiological gait pattern takes at least six months.

Gokeler et al. reviewed papers concerning gait following ACL reconstruction from several medical databases. Their analysis of articles published between 2000 and 2012 revealed that the gait of patients after ACL reconstruction can remain impaired for as long as five years after the surgery, differences mainly concerning the average range of knee joint motion

pochodzących z kilku baz medycznych. Analiza publikacji opublikowanych w latach 2000-2012 wykazała, że chód osób po rekonstrukcji ACL może być zmieniony aż do 5 lat po zabiegu. Różnice dotyczyły szczególnie średniego zakresu ruchu w stawie kolanowym po stronie operowanej [13]. W związku z tym, głównym ograniczeniem naszej pracy jest stosunkowo krótki czas obserwacji – tylko sześć miesięcy po zabiegu. Konieczna wydaje się być kontynuacja tych badań i długofalowa, prospektywna obserwacja dynamiki zmian w zakresie chodu w jednorodnej grupie pacjentów po rekonstrukcji ACL, na różnych etapach po operacji (na przykład – 12 miesięcy, 18 miesięcy, 2 lata).

Hemmerich i wsp. zasugerowali, że u pacjentów po rekonstrukcji ACL występuje kokontrakcja mięśniowa w celu zwiększenia sztywności stawu, a tym samym ograniczenia jego ruchomości [34]. Kaprelli i wsp. wykazali również, że osoby z uszkodzonym ACL charakteryzują się zmniejszoną aktywacją w kilku korowych polach somatosensorycznych. Może to oznaczać, że zmiany w kontroli motorycznej występujące po urazie mogą być istotnym czynnikiem, który częściowo wyjaśnia zaburzenia wzorca chodu po uszkodzeniu i rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego [35].

WNIOSKI

1. W okresie sześciu miesięcy od zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego wystąpiła istotna poprawa i normalizacja wzorca chodu pacjentów, aczkolwiek wciąż można zaobserwować istotne różnice w porównaniu do grupy kontrolnej, co wskazuje na potrzebę dalszej rehabilitacji ukierunkowanej na reedukację wzorca chodu.
2. Wyniki badań wskazują na potrzebę długofalowej obserwacji w grupie pacjentów po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego, w celu określenia czy zaburzenia wzorca chodu wykazują dalszą tendencję do poprawy wraz z upływem czasu.

PIŚMIENIĘCTWO/REFERENCES

1. Stańczak K, Domżalski M, Synder M, Sibiński M. Return to motor activity after anterior cruciate ligament reconstruction-pilot study. Ortop Traumatol Rehabil 2014; 5: 477-86.
2. Reed-Jones RJ, Vallis LA. Kinematics and muscular responses to a ramp descent in the ACL deficient knee. Knee 2008; 15(2): 117-24.
3. Solomonow M, Krosgaard M. Sensorimotor control of knee stability. A review. Scand J Med Sci Sports 2001; 11(2): 64-80.
4. Bączkowicz D, Skomudek A. Ocena kontroli nerwowo-mięśniowej u osób po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego. Ortop Traumatol Rehabil 2013; 3 :205-14.
5. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, Part I: the physiologic basis of functional joint stability. J Athl Train 2002; 37(1): 71-9.
6. Häberli J, Henle P, Acklin YP, Zderic I, Gueorguiev B. Knee joint kinematics with dynamic augmentation of primary anterior cruciate ligament repair - a biomechanical study. J Exp Orthop 2016; 3(1): 29.
7. Ahlden M, Samuelsson K, Sernert N, Forssblad M, Karlsson J, Kartus J. The Swedish National Anterior Cruciate Ligament Register: a report on baseline variables and outcomes of surgery for almost 18,000 patients. Am J Sport Med 2012; 40(10): 2230-5.

for the operated side [13]. Considering this, a major limitation of our study is a relatively short time of follow-up (only six months after the surgery). It seems to be necessary to continue this study as long-term follow-up of the dynamics of changes in the gait pattern in the uniform group of patients following ACL reconstruction at different stages after the surgery (for example, at 12 months, 18 months and 2 years).

Hemmerich et al. suggested that there is a muscle co-contraction pattern in patients after ACL reconstruction, which is aimed at increasing joint stiffness while simultaneously reducing mobility of the knee joint [34]. Kaprelli et al. also observed that subjects with ACL rupture demonstrate reduced activation in several somatosensory fields in the cerebral cortex. This may indicate that post-injury changes in motor control can be an important factor, partly explaining the impaired gait pattern in patients after ACL injury and reconstruction [35].

CONCLUSIONS

1. Within six months after the ACL reconstruction there was significant improvement and normalisation of patients' gait pattern, though significant differences could still be observed compared to the control group, which indicates the need for further rehabilitation focused on re-education of the gait pattern.
2. The results of our study indicate a need of long-term follow-up of patients after ACL reconstruction to determine whether the gait pattern tends to further improve over time.

8. Vavken P, Murray MM. The potential for primary repair of the ACL. *Sports Med Arthrosc* 2011; 19(1): 44-9.
9. Logerstedt D, Lynch A, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Symmetry restoration and functional recovery before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013; 21(4): 859-68.
10. Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE. Incidence of second ACL injuries 2 years after primary ACL reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med* 2014; 42: 1567-73.
11. Roewer BD, Di Stasi SL, Snyder-Mackler L. Quadriceps strength and weight acceptance strategies continue to improve two years after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Biomech* 2011; 44: 1948-53.
12. Schmitt LC, Paterno MV, Ford KR, Myer GD, Hewett TE. Strength asymmetry and landing mechanics at return to sport after ACL reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* 2015; 47: 1426-34.
13. Gokeler A, Benjaminse A, van Eck CE, Webster KE, Schot L, Otten E. Return of Normal Gait as an Outcome Measurement in ACL Reconstructed Patients. A Systematic Review. *Int J Sports Phys Ther* 2013;8: 441-51.
14. Hall M, Stevermer CA, Gillette JC. Gait analysis post anterior cruciate ligament reconstruction: knee osteoarthritis perspective. *Gait Posture* 2012; 36: 56-60.
15. Webster KE, Feller JA. The knee adduction moment in hamstring and patellar tendon anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012; 20: 2214-19.
16. Leporace G, Bautista LA, Muniz AM, et al. Classification of gait kinematics of anterior cruciate ligament reconstructed subjects using principal component analysis and regressions modeling. In: Proceedings of the 34th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society; 2012 Aug 28 - Sept 1; San Diego; 2012. p. 6514-7.
17. Dargel J, Gotter M, Mader K, Pennig D, Koebke J, Schmidt-Wiethoff R. Biomechanics of the anterior cruciate ligament and implications for surgical reconstruction. *Strateg Trauma Limb Reconstr* 2007; 2(1): 1-12.
18. Bacchini M, Cademartiri C, Soncini G. Gait analysis in patients undergoing ACL reconstruction according to Kenneth Jones' technique. *Acta Biomed* 2009; 80(2): 140-9.
19. Leporace G, Metsavaht L, Zeitoune G, et al. Use of spatiotemporal gait parameters to determine return to sports after ACL reconstruction. *Acta Ortop Bras* 2016; 24(2): 73-6.
20. Ristanis S, Giakas G, Papageorgiou CD, Moraiti T, Stergiou N, Georgoulis AD. The effects of anterior cruciate ligament reconstruction on tibial rotation during pivoting after descending stairs. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2003; 11(6): 360-5.
21. Woo SL, Wu C, Dede O, Vercillo F, Noorani S. Biomechanics and anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Surg Res* 2006; 1: 2.
22. Webster KE, Feller JA, Wittwer JE. Longitudinal changes in knee joint biomechanics during level walking following anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Gait Posture* 2012; 36(2): 167-71.
23. Shi DL, Wang YB, Ai ZS. Effect of anterior cruciate ligament reconstruction on biomechanical features of knee in level walking: a meta-analysis. *Chin Med J (Engl)* 2010; 123(21): 3137-42.
24. Gao B, Zheng NN. Alterations in three-dimensional joint kinematics of anterior cruciate ligament-deficient and -reconstructed knees during walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2010; 25(3): 222-9.
25. Shabani B, Bytyqi D, Lustig S, Cheze L, Bytyqi C, Neyret P. Gait knee kinematics after ACL reconstruction: 3D assessment. *Int Orthop* 2015; 39(6): 1187-93.
26. Bacchini M, Cademartiri C, Soncini G. Gait analysis in patients undergoing ACL reconstruction according to Kenneth Jones' technique. *Acta Biomed* 2009; 80(2): 140-9.
27. Michelle H. Biomechanical and neuromuscular adaptations in those with anterior cruciate ligament reconstruction during functional movements. *Kinesiology*. Iowa State University; 2010.
28. Ferber R, Osternig LR, Woollacott MH, Wasieleski NJ, Lee JH. Gait mechanics in chronic ACL deficiency and subsequent repair. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2002; 17(4): 274-85.
29. DeVita P, Hortobagyi T, Barrier J. Gait biomechanics are not normal after anterior cruciate ligament reconstruction and accelerated rehabilitation. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30(10): 1481-8.
30. Bush-Joseph CA, Hurwitz DE, Patel RR, et al. Dynamic function after anterior cruciate ligament reconstruction with autologous patellar tendon. *Am J Sports Med* 2001; 29(1): 36-41.
31. Knoll Z, Kocsis L, Kiss RM. Gait patterns before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2004; 12(1): 7-14.
32. Timoney JM, Inman WS, Quesada PM, et al. Return of normal gait patterns after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 1993; 21(6): 887-9.
33. Torry MR, Decker MJ, Ellis HB, Shelburne KB, Sterett WI, Steadman JR. Mechanisms of compensating for anterior cruciate ligament deficiency during gait. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(8): 1403-12.
34. Hemmerich A, van der Merwe W, Batterham M, Vaughan CL. Knee rotational laxity in a randomized comparison of single –versus double – bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 2011; 39(1): 48-56.
35. Kapreli E, Athanasopoulos S, Gliatis J, et al. Anterior cruciate ligament deficiency causes brain plasticity: a functional MRI study. *Am J Sports Med* 2009; 37(12): 2419-26.

Liczba słów/Word count: 6729**Tabele/Tables:** 6**Ryciny/Figures:** 0**Piśmiennictwo/References:** 35

*Adres do korespondencji / Address for correspondence
dr Joanna Majewska*

*Instytut Fizjoterapii, Uniwersytet Rzeszowski
ul. Warszawska 26a, 35-205 Rzeszów, tel.: +48 178721920, e-mail: joadud@gmail.com*

*Otrzymano / Received
Zaakceptowano / Accepted
02.12.2016 r.
31.03.2017 r.*