

# Ocena kontroli nerwowo-mięśniowej u osób po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego

## Assessment of Neuromuscular Control in Patients after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

Dawid Bączkowicz<sup>1(A,B,C,D,E,F,G)</sup>, Aleksandra Skomudek<sup>2(A,B,D,E,F)</sup>

<sup>1</sup> Instytut Fizjoterapii, Wydział Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii Politechniki Opolskiej, Katedra Podstaw Fizjoterapii

<sup>2</sup> Instytut Fizjoterapii, Wydział Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii Politechniki Opolskiej, Katedra Fizjoterapii Klinicznej

<sup>1</sup> Institute of Physiotherapy, Faculty of Physical Education and Physiotherapy, Department of Foundations of Physiotherapy, Opole University of Technology

<sup>2</sup> Institute of Physiotherapy, Faculty of Physical Education and Physiotherapy, Department of Clinical Physiotherapy, Opole University of Technology

### STRESZCZENIE

**Wstęp.** Więzadło krzyżowe przednie (ACL) należy do najważniejszych struktur stabilizujących staw kolanowy, a jego podstawową funkcją jest ograniczanie przedniej translacji piszczeli w stosunku do kości udowej. ACL jednak nie jest jedynie mechanicznym ogranicznikiem ruchu, lecz stanowi ważny komponent układu sensomotorycznego. Dlatego celem niniejszej pracy jest ocena kontroli nerwowo-mięśniowej u osób po zabiegu rekonstrukcji ACL, w oparciu o przebieg procesu utrzymywania równowagi dynamicznej.

**Materiał i metody.** Badaniami objęto 26 osobową grupę (ACLR) o średniej wieku 28,4±6,3 lat, po przebytych zabiegu artroskopowej rekonstrukcji ACL w okresie 11-13 miesięcy przed badaniem. Grupę kontrolną (CTRL) stanowiła 37 osobowa grupa osób zdrowych. W badaniach zastosowano system Biodex Balance System SD. Zadaniem badanych osób było utrzymanie pozycji stojącej obunóż oraz jednoonóż na niestabilnym podłożu.

**Wyniki.** Kontrola stabilności w postawie obunóż w grupie ACLR charakteryzowała się większymi wartościami całkowitego indeksu stabilności w stosunku do grupy CTRL (6,53±2,04 i 5,27±1,42, p<0,05). Także wartości obserwowanych parametrów w staniu jednoonóż na kończynie operowanej były w grupie ACLR istotnie większe niż w grupie kontrolnej, odpowiednio 9,73±2,55 i 7,23±1,48 dla kończyny dominującej, 9,42±2,38 i 5,64±1,51 dla kończyny niedominującej przy p<0,05.

**Wniosek.** W okresie roku od wykonanego zabiegu rekonstrukcji ACL, podczas wykonywania zadań ruchowych wymagających znacznego zaangażowania układu sensomotorycznego, widoczne są istotne deficyty w kontroli nerwowo-mięśniowej.

**Słowa kluczowe:** ACL, sensomotoryka, propriocepcja, równowaga, stabilność posturalna

### SUMMARY

**Background.** The anterior cruciate ligament (ACL) is one of the most important stabilisers of the knee joint. The key role of ACL is to resist anterior translation of the tibia in relation to the femur. At the same time, ACL does not only perform a mechanical limiting function, but is also an important component of the sensorimotor system. The aim of this study was to assess neuromuscular control in patients after ACL reconstruction by evaluating the maintenance of dynamic balance.

**Material and methods.** Twenty-six patients (aged 28.4±6.3 years) after ACL reconstruction (ACLR group) were enrolled. All patients had undergone arthroscopic reconstruction of ACL, and were recruited to the study 11-13 months after the surgery. Thirty-seven healthy individuals served as a control group (CTRL). The maintenance of the single-leg and two-leg standing position on an unstable surface was assessed using the Biodex Balance System SD.

**Results.** The ACLR group differed from the control group in the values of the overall stability index (p<0.05; 6.53±2.04, and 5.27±1.42, respectively) when stability control in the two-leg position was assessed. Additionally, in the single-leg position, the values of the study parameters were significantly higher (p<0.05) in ACLR in comparison to CTRL: 9.73±2.55 vs. 7.23±1.48, and 9.42±2.38 vs. 5.64±1.51 respectively, for the dominant and non-dominant leg.

**Conclusion.** At one year after ACL reconstruction, significant deficits of neuromuscular control were observed during motor tasks requiring considerable sensorimotor system involvement.

**Key words:** anterior cruciate ligament, proprioception, balance, postural stability

## WSTĘP

Architektura kostna kolana nie zapewnia znacznej stabilności tego stawu ze względu na inkongruencję powierzchni kości piszczelowej i udowej. Choć obecność łąkotec polepsza dopasowanie powierzchni stawowych do siebie to jednak kluczowymi dla zachowania stabilności i właściwej kinematyki stawu kolanowego są otaczające go tkanki miękkie. Funkcję stabilizacji stawu kolanowego zapewniają głównie więzadła wraz z odpowiednimi częściami torebki stawowej. Pozostając w stosunku synergistycznym dzielą między siebie przenoszenie obciążeń, chociaż w określonej pozycji stawu i płaszczyźnie w jakiej działają siły – to zwykle jedna z wymienionych struktur przenosi większą część obciążenia. Stabilność stawu kolanowego zapewniana przez struktury bierne zwykle jest wystarczająca, gdy na staw działają siły stosunkowo małe. Jednak w przypadku znacznych obciążeń, wytrzymałość mechaniczna tych struktur może być niewystarczająca i w celu zapewnienia stabilności wymagane jest zaangażowanie czynnego układu ruchu [1,2].

Więzadło krzyżowe przednie (ACL) należy do najważniejszych struktur stabilizujących staw kolanowy, a jego podstawową funkcją jest ograniczanie przedniej translacji piszczeli w stosunku do kości udowej [3,4]. ACL jednak nie jest jedynie mechanicznym ogranicznikiem ruchu w tym stawie, lecz podobnie jak inne więzadła i torebka stawowa, stanowi komponent układu nerwowo-mięśniowego człowieka, warunkujący dostarczanie centralnemu układowi nerwowemu (CUN) odpowiednich informacji sensorycznych [5]. W obrębie więzadła krzyżowego przedniego znajdują się morfologicznie różne zakończenia nerwów, spośród których wyróżnia się trzy typy mechanoreceptorów oraz wolne zakończenia nerwowe odpowiedzialne za odczuwanie bólu [6].

Mechanoreceptory charakteryzują się różną zdolnością dostarczania CUN informacji dotyczących charakterystyki ruchów i związanego z pozycją stawu napięcia więzadła [7,8]. Choć funkcja mechanoreceptorów zlokalizowanych w obrębie ACL jest poznana, niejasnym jednak jest stopień, w jakim mają one wpływ na dynamiczną stabilizację stawu kolanowego. Uważa się, że aferentne receptory stawowo-więzadłowe prawdopodobnie w znikomym stopniu wpływają na wywołanie odpowiedzi ze strony motoneuronów alfa. Wywołują one natomiast aktywację motoneuronów gamma, które tworzą synapsy z wrzecionkami nerwowo-mięśniowymi i poprzez modulację ich wrażliwości służą regulacji czułości propriocepcji mięśniowej [9]. Specyficznym przejawem kontroli nerwowo-mięśniowej jest proces utrzymy-

## BACKGROUND

The bony framework of the knee does not ensure considerable stability of the joint due to the incongruence of the tibial and femoral articular surfaces. Even though the menisci improve this alignment, the structures that are crucial for the stability and normal kinematics of the knee are the soft tissues surrounding it. The knee is mainly stabilised by its ligaments and particular areas of the joint surface which act synergistically to distribute the load evenly. Nevertheless, in particular positions of the knee and the planes in which the forces act, most load is usually borne by a single structure. Passive structures usually suffice to maintain stability if the forces acting on the knee are relatively weak. However, their mechanical properties may not be sufficient to resist a considerable load, in which case the active musculoskeletal system becomes involved [1,2].

The anterior cruciate ligament (ACL) is one of the most important stabilizers of the knee. The key role of ACL is to resist anterior translation of the tibia in relation to the femur [3,4]. At the same time, ACL does not only perform a mechanical limiting function, but similarly to other ligaments and the articular capsule, it is also an important component of the human neuromuscular system which provides relevant sensory input for the central nervous system (CNS) [5]. There are a number of sensory nerve endings of various morphology within ACL, i.e. three types of mechanoreceptors and free nerve endings mediating nociception [6].

The mechanoreceptors vary in their ability to provide CNS with information about motion characteristics and ACL tension associated with different joint positions [7,8]. Although the function of ACL mechanoreceptors is known, the magnitude of their effect on dynamic stabilization of the knee remains unclear. Presumably, the afferent receptors located in ligaments and the articular capsule have a very limited ability to evoke the response of alpha motor neurons. They activate gamma motor neurons, which form synapses with muscle spindles, modulating their activity, and thus regulate the sensitivity of muscular proprioception [9]. As maintaining balance in stance is a special manifestation of neuromuscular control, assessment of postural stability is considered to reflect the function of the sensorimotor system [10, 11]. Literature data indicate that a ruptured ACL may not only reduce knee stability, but also lead to compromised postural control, which can be seen in patients with reconstructed ACL [12-14]. Still, most studies focus solely on the assessment of static stability, which is not greatly affected by proprioceptive

wania równowagi ciała w pozycji stojącej, w związku z tym ocena stabilności postawy jest uznawana za jeden z wyznaczników funkcjonowania układu sensomotorycznego [10,11]. Dane prezentowane w literaturze sugerują, że uszkodzenie ACL może wpływać nie tylko na zmniejszenie stabilności stawu kolanowego, ale także na zaburzenia kontroli postawy, co jest widoczne u osób po wykonanej rekonstrukcji tego więzadła [12-14]. Jednak większość prac sprowadza się do oceny stabilności statycznej, w której zachowaniu, deficyty ze strony stawu kolanowego odgrywać mogą mniejszą rolę [15-19]. Utrzymanie swobodnej, statycznej postawy jest czynnością stosunkowo ekonomiczną, wymagającą niewielkiego wysiłku, a co za tym idzie – nieznacznego zaangażowania układu sensomotorycznego. Związane jest to z pozycją stawu kolanowego, który w pełnym wyproście jest zaryglowany, co warunkuje małą aktywność mięśni kulszowo-goleniowych i mięśnia czworogłowego uda. Ciało człowieka jest w tej pozycji porównywane do wahadła odwróconego, którego oś obrotu stanowi staw skokowy i to na niego działają największe siły, warunkujące zachowanie stabilności postawy [20,21].

Wydaje się, że lepszym odzwierciedleniem funkcjonowania układu sensomotorycznego, w przypadku zaburzeń ze strony stawu kolanowego, jest poddanie pacjentów ocenie równowagi dynamicznej w większym stopniu angażującej ten staw w utrzymanie pozycji stojącej [22]. Szczęólnego znaczenia może to nabrać w przypadku oceny udziału mechanoreceptorów ACL w dostarczaniu informacji aferentnych, co związane jest z ich charakterystyką. Na przewagę zastosowania dynamicznej oceny stabilności postawy nad badaniami w statyce wskazywać mogą również wyniki badań przedstawione przez zespół Fisher-Rasmussen i wsp. [23]. Wykazali oni, że stymulacja mechanoreceptorów ACL wyzwala znacznie silniejsze odruchy w obrębie mięśni stawu kolanowego w momencie ich napięcia izometrycznego, niż w stanie spoczynku i rozluźnienia.

Zaburzenia w integralności sensomotoryki stawu kolanowego w przyszłości mogą zwiększyć zagrożenie wystąpieniem kolejnego urazu oraz predysponować do wtórnych zmian zwyrodnieniowych, celem niniejszej pracy jest ocena kontroli nerwowo-mięśniowej u osób po zabiegu rekonstrukcji ACL [24, 25]. Praca ma określić, w jakim stopniu deficyty w informacji aferentnej wpływają na funkcjonowanie układu sensomotorycznego, w oparciu o przebieg procesu utrzymywania równowagi dynamicznej. Pytanie to jest interesujące ze względu na fakt, że siły stabilizujące zapewniane przez układ kontroli nerwowo-mięśniowej w dużej mierze podlegają wpły-

knee deficits. [15-19]. Maintaining an unconstrained, static posture is a relatively economical activity, where only a slight effort and thus a minor involvement of the sensorimotor system is needed. This results from the position of the knee, which is locked in full extension, with little activity of the ischiocrural muscles and quadriceps femoris required. The human body in this position may be compared to an inverted pendulum with the greatest forces responsible for postural stability acting on the ankle as the pivotal axis of the pendulum [20, 21].

Assessment of dynamic balance seems to be a better method to evaluate the function of the sensorimotor system in patients with compromised knee function as it requires a greater involvement of the joint in the maintenance of stance [22]. It is of particular importance for determination of the role of ACL mechanoreceptors in providing afferent input, which results from their characteristics. More evidence of the superiority of dynamic assessment of postural control over static tests is provided by Fisher-Rasmussen et al. [23], who found that stimulation of ACL mechanoreceptors evoked much stronger reflexes in the knee muscles in isometric contraction than when they were relaxed.

Impaired sensorimotor integrity of the knee may lead to an increased risk of a second injury and predispose to secondary degenerative changes [24,25]. Therefore, the present work aimed to assess neuromuscular control in patients after ACL reconstruction, and in particular to determine, by evaluating dynamic balance control, to what degree deficits of afferent input affect the function of the sensorimotor system. The matter is of interest to us as both postoperative and conservative treatment has a considerable bearing on the stabilising forces produced by the system of neuromuscular control.

wowi postępowania terapeutycznego, zarówno po zabiegach operacyjnych, jak i w ramach leczenia zachowawczego.

## MATERIAŁ I METODY

Badaniami objęto 26 osobową grupę osób po zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego (ACLR), której szczegółową charakterystykę przedstawiono w Tabeli 1. Podstawowym warunkiem włączającym do badań był przebyty zabieg artroskopowej rekonstrukcji ACL z użyciem ścięgna mięśnia półścięgnistego i smukłego pobranego z tej samej kończyny, w okresie 11-13 miesięcy przed badaniem, oraz co najmniej 100° zakres ruchomości w stawie kolanowym. Kryteriami wykluczającymi były towarzyszące urazowi ACL uszkodzenia innych tkanek (za wyjątkiem uszkodzenia I stopnia łąkotec), odczuwanie bólu, obrzęk oraz obecność innych zaburzeń (schorzenia układu nerwowego i mięśniowo-szkieletowego, zapalenie ucha i układu moczowego, nieskorygowane wady wzroku oraz przyjmowanie leków przeciwbólowych i przeciwzapalnych). We wczesnym okresie pooperacyjnym osoby po rekonstrukcji ACL poddane były procesowi usprawniania, który wprowadzany był w czwartej dobie od zabiegu. W tym okresie podjęte zostały działania mające na celu zapobieganie zrostom pooperacyjnym oraz profilaktykę konfliktu rzepkowo-udowego. Po upływie dwóch miesięcy wprowadzono czterotygodniowy trening stabilizacyjny, ćwiczenia siłowe, równoważne i polepszające propriocepcję, techniki tkanek miękkich oraz podstawowe zabiegi fizykoterapeutyczne. Grupę kontrolną (CTRL) stanowiła 37 osobowa grupa osób zdrowych, których kryteria wykluczające były takie, jak w ACLR.

Aby uwzględnić możliwy wpływ lateralizacji na wyniki badań, u badanych osób określano kończynę dolną dominującą. W tym celu, na każdej kończynie wykonywano po trzy skoki jednoonóż z miejsca w dal. Kończynę, dla której zmierzono największy łączny dystans dla trzech skoków uznawano za dominującą.

Do oceny funkcji układu sensomotorycznego podczas dynamicznego utrzymywania równowagi zasto-

## MATERIAL AND METHODS

Twenty-six patients after ACL reconstruction (ACLR), whose demographics can be found in Table 1, were enrolled. The basic inclusion criteria were the following: arthroscopically assisted ACLR (semitendinosus/gracilis quadruple strand) 11-13 months prior to the study and at least 100° of knee flexion range. The exclusion criteria included concomitant injuries to other tissues (with the exception of 1st degree meniscal tear), pain, swelling and a number of other conditions (disorders of the nervous or musculoskeletal systems, otitis, urinary tract infection, uncorrected vision defects, treatment with anti-inflammatory agents /analgesics). In the early post-operative period the subjects underwent rehabilitation aiming to prevent arthrofibrosis and patellofemoral pain syndrome, which commenced at 4 days after the surgery. At two months post-surgery, a 4-week stabilisation training, strength, balance and proprioceptive exercises, soft tissue therapy and basic physical therapy procedures were introduced. Thirty-seven healthy individuals served as controls. The exclusion criteria were the same as for the ACLR group.

The dominant limb was determined in order to eliminate lateralisation as a confounding factor. The patients hopped forward on each leg three times and the limb with the greatest combined hop distance for three trials was considered dominant.

The function of the sensorimotor system in dynamic balance maintenance was assessed with the Biodex Balance System SD (Biodex Medical Systems, Inc.). The platform can be tilted 20° from the horizontal level in the frontal and saggital planes simultaneously, which allows for a greater involvement of neuromuscular control mechanisms.

The subjects were instructed to maintain bilateral stance and then single-limb balance on each leg with no shoes on and with eyes open, but without visual feedback from the device. They were told to keep their arms hanging freely, parallel to each other at

Tab. 1. Charakterystyka antropologiczna osób po rekonstrukcji ACL (ACLR) i grupy kontrolnej (CTRL)

Tab. 1. Anthropological characteristics of the ACL reconstruction patients (ACLR) and the control group (CTRL)

	n			wiek age	masa ciała weight [kg]	wysokość ciała height [cm]	kończyna dominująca dominant limb		kończyna operowana operated limb	
	n	n ♀	n ♂				lewa left	prawa right	domin. dominant	niedom. non- dominant
ACLR	26	7	19	28.4±6.3	74.2±14.4	174.40±7.1	4	22	15	11
CTRL	37	11	26	27.3±5.2	73.8±12.7	173.3±6.5	5	32	-	-

sowano system Biodex Balance System SD, Biodex Medical Systems, Inc. Podest platformy umożliwia 20-stopniowe odchylenie od poziomu, jednocześnie w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej. Dzięki temu możliwe jest większe zaangażowanie mechanizmów kontroli nerwowo-mięśniowej.

Zadaniem badanych osób było utrzymanie pozycji stojącej obunóż, a następnie jednonóż na jednej i drugiej kończynie. Badania wykonywano bez obuwia, pod kontrolą wzroku, jednak bez zastosowania wizualnego sprzężenia zwrotnego, jakie zapewnia to urządzenie. W momencie rozpoczęcia testu ręce badanych osób zwisały swobodnie, równolegle wzdłuż tułowia. Jednak podczas badania dopuszczano możliwość wykonywania nimi nieznacznych ruchów. Stosowano tryb nr 1 spośród 12 poziomów trudności, zapewniający najmniejszą stabilność platformy.

Po właściwym ustawieniu osoby na zablokowanej platformie, w momencie zgłoszenia gotowości przez badanego zwalniano ją, po czym po pięciu sekundach rozpoczynał się 30-sekundowy pomiar, kończący się ponownym zablokowaniem platformy. Następową 10-sekundową przerwą, w której pacjent mógł odpocząć, jednak nie zmieniając pozycji ciała. Próbę powtarzano dwa razy, z zachowaniem przerwy. Następnie według takiego samego schematu oceniano przebieg procesu utrzymywania równowagi w stanie jednonóż.

Parametrem, który zastosowano do opisu ogólnego przebiegu procesu utrzymywania równowagi w badanych płaszczyznach jest całkowity indeks stabilności (OSI) odzwierciedlający stopień odchylenia platformy od płaszczyzny poziomej w czasie wszystkich ruchów wykonywanych w teście. Przednio-tylny indeks stabilności (APSI) charakteryzuje z kolei ruchy platformy dla ruchów w płaszczyźnie strzałkowej, podczas gdy przyśrodkowo-boczny indeks stabilności (MLSI) wyraża zdolność pacjenta do kontroli równowagi w kierunkach bocznych. Wszystkie parametry zostały wyrażone w stopniach, opisane wartościami średnimi oraz odchylenia standardowego, określającymi zmienność położenia kąta pochylenia platformy.

W celu analizy statystycznej otrzymanych wyników posłużono się programem Statistica 9. Istotność różnic pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi sprawdzono za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA). Gdy rezultatem było odrzucenie hipotezy zerowej ( $p < 0,05$ ), stosowano test rozsądnej istotnej różnicy (RIR) Tukeya dla porównania wyników w grupie ACLR, lub też stosowano Test RIR Tukeya dla nierównych liczebności w przypadku porównań pomiędzy grupą ACLR a grupą kontrolną.

their sides when the examination began, whereas during the procedure a slight motion of the arms was allowed. The device offers 12 levels of resistance, of which Level 1, where the platform is most unstable, was used.

The subject was stood on the locked platform and when they reported ready, the platform was unlocked. Data acquisition commenced after 5 seconds and lasted 30 seconds, following which the platform was locked again. There was a 10-second interval when the subject could rest but could not change the position. Two trials were run with a rest period in between. The next step was to assess single-limb balance according to the same protocol.

The overall stability index (OSI) was used to describe overall dynamics of the process of maintaining balance in different planes. The OSI reflects the degree of platform tilt from the horizontal level during all motions performed in the test. The antero-posterior stability index (APSI) and the medio-lateral stability index (MLSI) reflect the movements of the platform during the patient's movements in the sagittal plane and laterally, respectively. All the parameters are expressed in degrees, with their mean values and standard deviations demonstrating changes to the angle of the platform tilt.

Statistical analysis was performed with Statistica 9. One-way analysis of variance (ANOVA) was used to determine the significance of the differences between the variables. In case of the rejection of the null hypothesis ( $p < 0.05$ ), we ran Tukey's range test to analyse the results of the ACLR group or Tukey's range test to compare the ACLR and CTRL groups.

## WYNIKI

Przebieg procesu utrzymywania równowagi dynamicznej w postawie obunóż w grupie ACLR charakteryzował się większymi wartościami całkowitego oraz przednio-tylnego indeksu stabilności w stosunku do grupy CTRL (Tab. 2). Natomiast kontrola stabilności postawy w płaszczyźnie czołowej (MLSI) w obu porównywanych grupach przebiegała podobnie.

U osób po rekonstrukcji ACL stojących na kończynie operowanej wartości wszystkich parametrów były znacznie większe niż w przypadku grupy kontrolnej (Tab. 3). Różnica ta w przypadku OSI, uśredniając wartości dla kończyny dominującej i przeciwnej wyniosła 3,1°. Stopień wychyleń w płaszczyźnie strzałkowej (APSI) jest w grupie ACLR istotnie większy niż w grupie kontrolnej w sytuacji, gdy porównanie dotyczy kończyn niedominujących (różnica 2,2°). Analogiczna sytuacja ma miejsce w ruchach

## RESULTS

The OSI and APSI parameters for dynamic balance in bilateral stance were higher in the ACLR than in the CTRL group (Table 2), whereas the control of postural stability in the frontal plane (MLSI) was comparable between the groups.

All the parameters in the ACLR subjects when standing on the affected limb were much higher than in the CTRL group (Table 3), with the mean difference of the OSI between the dominant and non-dominant limb being 3.1°. For the non-dominant limb, the values of both APSI and MLSI were significantly greater than in the CTRL group (a difference of 2.2° and 1.2° respectively).

During stance on the unaffected limb, the results of the subjects from the ACLR group generally approximated those of the controls. The only difference observed was the APSI index for the non-dominant

Tab. 2. Wartości parametrów oceniających proces utrzymywania równowagi w postawie obunóż

Tab. 2. Values of parameters related to balance maintenance in two-leg standing

	ACLR, n=26			CTRL, n=37		
OSI	6.53	±	2.04 <sup>†</sup>	5.27	±	1.42
APSI	4.87	±	1.62 <sup>†</sup>	3.98	±	0.85
MLSI	3.56	±	0.98	3.32	±	0.82

<sup>†</sup> w porównaniu do grupy kontrolnej różnica istotna statystycznie na poziomie p<0.05

<sup>†</sup> compared to the control group, statistically significant difference at p<0.05

OSI - całkowity indeks stabilności, overall stability index

APSI - przednio-tylny indeks stabilności, antero-posterior stability index

MLSI - przyśrodkowo-boczny indeks stabilności, medio-lateral stability index

ACLR – osoby po rekonstrukcji ACL, patients after ACL reconstruction

CTRL - grupa kontrolna, control group (CTRL)

Tab. 3. Wartości parametrów oceniających proces utrzymywania równowagi w postawie jednonóż

Tab. 3. Values of parameters related to balance maintenance in one-leg standing

		ACLR operowana ACLR post-surgery			ACLR nieoperowana ACLR no surgery			CTRL		
OSI	dominująca dominant	9.73	±	2.55 <sup>†</sup>	8.21	±	1.85 <sup>^</sup>	7.23	±	1.48
	niedominująca non-dominant	9.42	±	2.38 <sup>†</sup>	7.94	±	2.06 <sup>^</sup>	5.64	±	1.51*
APSI	dominująca dominant	8.37	±	2.16	7.11	±	1.64	6.59	±	1.21
	niedominująca non-dominant	8.02	±	2.18 <sup>†</sup>	7.18	±	1.49 <sup>†</sup>	5.84	±	0.96
MLSI	dominująca dominant	4.18	±	1.49	3.82	±	1.25	3.8	±	0.64
	niedominująca non-dominant	4.29	±	1.13 <sup>†</sup>	3.73	±	1.08	3.07	±	0.97*

<sup>†</sup> w porównaniu do grupy kontrolnej różnica istotna statystycznie na poziomie p<0.05

<sup>†</sup> statistically significant difference at p<0.05 compared to the control group

\* w porównaniu do kończyny dominującej różnica istotna statystycznie na poziomie p<0.05

\* statistically significant difference at p<0.05 compared to the dominant limb

<sup>^</sup> w porównaniu do kończyny operowanej różnica istotna statystycznie na poziomie p<0.05

<sup>^</sup> statistically significant difference at p<0.05 compared to the operated limb

zachodzących w płaszczyźnie czołowej w podporze po stronie niedominującej, gdzie różnica pomiędzy grupą ACLR a CTRL wynosi 1,2°.

W przypadku podporu na kończynie nieoperowanej pacjenci po rekonstrukcji ACL uzyskali wartości w większym stopniu zbliżone do wyników osób zdrowych, jedyna obserwowalna różnica dotyczy wychyleń przednio-tylnych na kończynie niedominującej, które są średnio o 1,34° większe w grupie ACLR.

W grupie ACLR porównując kończynę operowaną do nieoperowanej, różnicę istotną statystycznie stwierdzono w przypadku OSI, gdzie wartości były większe o średnio 1,5° po stronie operowanej – dotyczy to porównań zarówno w obrębie kończyn dominujących, jak i niedominujących.

Wpływ lateralizacji na stabilność pozycji stojącej jedno nogą zaobserwowano w grupie kontrolnej, gdzie wartości OSI i MLSI były znacząco większe podczas podporu na kończynie dominującej, w stosunku do strony przeciwnej. Różnic w stabilności pomiędzy podporami na kończynie dominującej i niedominującej nie stwierdzono natomiast w przypadku grupy ACLR.

## DYSKUSJA

W niniejszej pracy podjęto się oceny kontroli nerwowo-mięśniowej u osób po zabiegu rekonstrukcji ACL, w oparciu o przebieg procesu utrzymywania równowagi dynamicznej. Przeprowadzone badania wskazują na obecność zaburzeń kontroli stabilności, zarówno postawy obunóg i jedno nogą, w okresie 12 miesięcy po wykonanym zabiegu. Podobne rezultaty w ocenie równowagi statycznej uzyskali Chmielewski i wsp. oraz Dauty i wsp., jednak we wczesnym okresie pooperacyjnym – odpowiednio 7 i 15 dni od zabiegu [12,26].

W późniejszych etapach po rekonstrukcji ACL, w literaturze prezentowane są już rozbieżne doniesienia dotyczące wpływu tego zabiegu na funkcjonowanie układu sensomotorycznego, w tym jego szczególnego przejawu – stabilności postawy. Zbliżoną do zastosowanej w niniejszej pracy metodologię badań, opierającej się na ocenie równowagi dynamicznej przedstawił zespół Alonzo i wsp. [27]. Dowiódł on obecności zaburzeń kontroli stabilności po stronie operowanej w okresie nawet 18 miesięcy od zabiegu, pomimo korzystania przez badane osoby z pomocy wizualnego sprzężenia zwrotnego. Potwierdza to praca Zouita Ben Moussa i wsp., w której autorzy posługując się statyczną metodą oceny postawy, wykazali obecność istotnie większych wychyleń ciała u pacjentów stojących na kończynie poddanej zabiegowi dwa lata wcześniej [28]. Jednak w badaniach

leg, which was greater by a mean of 1.34° in the ACLR group.

When comparing the affected and unaffected limbs in the ACLR group, a statistically significant difference was noted in OSI, which was greater by a mean of 1.5° for the operated limb regardless of whether it was dominant or non-dominant.

The effect of lateralisation on stability in single-leg stance was observed in the controls, where OSI and MLSI were significantly higher for the dominant limb, whereas in the ACLR group there was no difference in this respect.

## DISCUSSION

The present work aimed to assess neuromuscular control in individuals after ACL reconstruction basing on the maintenance of dynamic balance. The tests revealed impaired stability control in both single – as well as double-leg stance at 12 months post-surgery. Chmielewski et al and Dauty et al. obtained similar results. They studied patients in the early post-operative period (7 and 15 days after the surgery, respectively) [12,26].

Published studies concerned with later stages post-ACLR offer discrepant findings on the effect of the procedure on the sensorimotor system, including the special manifestation that is postural stability. A methodology similar to the one employed in this study, i.e. assessment of dynamic balance, was used by Alonzo et al. [27], who found compromised stability control on the operated side as late as 18 months after the surgery despite his patients being able to use visual feedback. These results were confirmed by Zouit Ben Mouss et al., who assessed static balance [28]. The authors observed significantly greater body swing when standing on the limb operated 2 years before. However, studies involving patients at 10-18 months post-surgery, which were also based on examining static postural control, did not show any difference in balance maintenance between the affected and unaffected limb or between patients and controls [29]. The discrepancy is likely to be caused by the

oceniających pacjentów będących od 10 do 18 miesięcy po rekonstrukcji ACL, również opierających się na ocenie równowagi statycznej, inni autorzy nie stwierdzili różnic w przebiegu procesu utrzymywania równowagi pomiędzy kończyną operowaną a nieoperowaną oraz pomiędzy grupą pacjentów a osobami zdrowymi [29]. Przedstawione rozbieżności w rezultatach powyższych badań związane są prawdopodobnie ze stosowaniem odmiennych metod badawczych i obecnością czynników mogących mieć wpływ na ostateczne wyniki (np. rodzaj zastosowanego parametru pomiarowego, wykorzystanie wizualnego sprzężenia zwrotnego, ułożenie rąk lub pozycja kończyn dolnych podczas badania, typ pracy lub uprawianego sportu).

Prezentowane w niniejszej pracy wyniki, pozostając w zgodzie z innymi autorami sugerują także, że powrót do bezpiecznego uprawiania specyficznych typów sportu w okresie 1 roku od urazu jest dyskusyjny. Dzieje się tak ze względu na fakt, że zmniejszona stabilność jest głównym predyktorem możliwości wystąpienia wtórnego urazu ACL, a w ujęciu długofalowym prowadzi do rozwinięcia się gonartrozy [30,31]. Jak dowodzi Krogsgaard, fizjologicznym podłożem uzasadniającym obecność opisywanych deficytów w stabilności postawy osób po rekonstrukcji ACL, może być brak reinerwacji przeszczepu, który co prawda spełnia funkcję mechanicznego stabilizatora kolana, to jednak pozbawiony jest funkcji sensorycznej [13]. Pomimo, że różni autorzy dowodzą, że współdziałanie receptorów stawowo-więzadłowych w dostarczaniu informacji kinestetycznych jest mniejszy w stosunku do receptorów zlokalizowanych w obrębie mięśni, to w przypadku złożonych zadań ruchowych, na pograniczu możliwości funkcjonalnych, braki w informacji aferentnej z ACL mogą istotnie wpłynąć na pogorszenie motoryki. Utrudnione jest dobieranie właściwych do sytuacji strategii ruchowych, a w związku z tym zwiększa się niestabilność funkcjonalna stawu poprzez niewłaściwą odpowiedź ze strony mięśni.

Różnice w wartościach poszczególnych parametrów pomiędzy kończyną dominującą i niedominującą, które zaobserwowane zostały w grupie kontrolnej świadczą o tym, że oceniając zaangażowanie układu sensomotorycznego w kontrolę stabilności pozycji stojącej na jednej kończynie należy brać pod uwagę zjawisko lateralizacji. Potwierdzają to zbieżne doniesienia innych autorów, dowodzące występowania opisanej asymetrii u osób zdrowych [32,33].

Należy także zwrócić uwagę, że stosowane testy kliniczne powinny odtwarzać funkcjonalną aktywność dnia codziennego pacjentów oraz w znacznym stopniu angażować układ wstębularny, wzrokowy, so-

use of different research methods and by a number of factors that could have affected the final results (e.g. the type of measurement parameter, availability of visual feedback, arm or leg position, occupation or sports practised).

The results presented in this study, being consistent with other authors' findings, also indicate that a return to safe practice of some types of sports within 12 months post ACL reconstruction is controversial as impaired stability predisposes to secondary ACL injury and leads to gonarthrosis in the long term [30,31]. As Krogsgaard argues, physiologically, postural stability deficits may be caused by lack of reinnervation of the ligament, which does stabilise the knee mechanically, but has no sensory function [13]. Despite the fact that a number of authors claim that articular and ligamentous receptors provide less kinesthetic input than those located in muscles, in case of complex motor tasks that reach the limit of functional abilities, lack of afferent information from ACL may significantly impair motor skills. As the choice of a motor strategy appropriate for a given situation is hindered, functional instability of the knee increases due to inappropriate response from the muscles.

Differences in parameters between the dominant and non-dominant limb seen in the control group suggest that lateralisation should be taken into account when assessing the involvement of the sensorimotor system in postural stability control in single-leg stance. Convergent findings of other authors proving that this asymmetry exists also in healthy individuals confirm this conclusion [32, 33].

It is worth noting that clinical tests should reproduce functional activities of daily living and substantially engage the vestibular, visual, somatosensory and neuromuscular systems. The maintenance of static single-leg or bilateral stance by individuals after ACL reconstruction once the surgical wounds have healed hardly marks the peak of their abilities in contrast to patients with serious neurological or musculoskeletal disorders. Therefore, it is plausible that the sensitivity of tests based on static balance assessment is too low and they do not reflect the level of sensorimotor performance and thus their use in evaluating the functional status of patients with reconstructed ACL is controversial [28,34].



matosensoryczny i nerwowo-mięśniowy. Dla osób ze zrekonstruowanym więzadłem ACL, po wygojeniu się ran pooperacyjnych, w przeciwieństwie do pacjentów z ciężkimi zaburzeniami neurologicznymi bądź mięśniowo-szkieletowymi, utrzymanie statycznej pozycji stojącej (obunóż lub jednonóż) jest dalekie od pułapu ich możliwości. Dlatego wydaje się, że testy oparte o ocenę równowagi statycznej charakteryzują się zbyt małą czułością i nie stanowią pewnego wyznacznika poziomu sprawności układu sensomotorycznego, a ich zastosowanie w ocenie stanu funkcjonalnego pacjentów po rekonstrukcji ACL jest dyskusyjne [28,34].

### WNIOSKI

1. Pomimo włączania w standardowe modele postępowania fizjoterapeutycznego po rekonstrukcjach ACL treningów propriocepcji, ćwiczeń równoważnych oraz zadań ruchowych, które wymagają znacznego zaangażowania układu sensomotorycznego, w okresie roku od wykonanego zabiegu, widoczne są deficyty w kontroli nerwowo-mięśniowej w operowanych kończynach.
2. W ocenie stanu funkcjonalnego pacjentów po rekonstrukcji ACL oraz przy podejmowaniu decyzji o powrocie do czynnego uprawiania sportów, przydatnym narzędziem diagnostycznym może być wykonanie opisanego protokołu badania równowagi dynamicznej.

### CONCLUSIONS

1. Despite the fact that standard rehabilitation after ACL reconstruction includes proprioceptive and balance training as well as exercises requiring a significant involvement of the sensorimotor system, deficits of neuromuscular control can be seen in the operated limb at 1 year post operation.
2. The protocol of dynamic balance assessment described in this study may prove a useful diagnostic tool in the evaluation of the functional status of patients with reconstructed ACL and when deciding if such patients can return to practising sport.

### PIŚMIENNICTWO / REFERENCES

1. Krogsgaard MR, Dyhre-Poulsen P, Fisher-Rasmussen T. Cruciate ligament reflexes. *J Electromyogr Kinesiol* 2002; 12: 177-182.
2. Reed-Jones RJ, Vallis LA.: Kinematics and muscular responses to a ramp descent in the ACL deficient knee. *Knee* 2008; 15(2): 117-124.
3. Nakamae A, Ochi M, Deie M, Adachi N, Kanaya A, Nishimori M, Nakasa T. Biomechanical function of anterior cruciate ligament remnants: how long do they contribute to knee stability after injury in patients with complete tears? *Arthroscopy* 2010; 26(12):1577-1585.
4. Tashman D, Kopf S, Fu FH. The kinematic basis of anterior cruciate ligament reconstruction. *Oper Tech Sports Med* 2008; 16(3): 116-118.
5. Ihara H, Takayama M, Fukumoto T. Postural control capability of ACL-deficient knee after sudden tilting. *Gait Posture*, 2008, 28(3): 478-482.
6. Zantop T, Petersen W, Sekiya JK, Musahl V, Fu FH. Anterior cruciate ligament anatomy and function relating to anatomical reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14(10): 982-992.
7. Williams GN, Chmielewski TL, Rudolph KS, Buchanan TS, Snyder-Mackler L. Dynamic Knee Stability: Current theory and implications for clinicians and scientist. *J Orthop Sports Phys Ther* 2001; 31(10): 546-566.
8. Karmani S, Ember T. The anterior cruciate ligament. *Current Orthopaedics* 2004; 18(1): 49-57.
9. Riemann BL, Lephart SM. The sensorimotor system, Part II: The role of proprioception in motor control and functional joint stability. *J Athl Train* 2002; 37(1): 80-84.
10. Peterka RJ, Loughlin PJ. Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol* 2004; 91: 410-423.
11. Maurer C, Mergner T, Peterka RJ. Multisensory control of human upright stance. *Exp Brain Res* 2006; 171: 231-250.
12. Chmielewski TL, Wilk KE, Snyder-Mackler L. Changes in weight-bearing following injury or surgical reconstruction of the ACL: relationship to quadriceps strength and function. *Gait Posture* 2002; 16: 87-95.
13. Krogsgaard MR, Fisher-Rasmussen T, Dyhre-Poulsen P. Absence of sensory function in the reconstructed anterior cruciate ligament. *J Electromyogr Kinesiology* 2011; 21: 82-86.

14. Trulsson A, Garwicz M, Ageberg E. Postural orientation in subjects with anterior cruciate ligament injury: development and first evaluation of a new observational test battery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010; 18: 814-823.
15. Bonfim TR, Paccola CA, Barela JA. Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees. *Arch Phys Med Rehabil* 2003; 84:1217-1223.
16. Bonfim TR, Grossi DB, Paccola CA, Barela JA. Additional sensory information reduces body sway of individuals with anterior cruciate ligament injury. *Neuroscience Letters* 2008; 441: 257-260.
17. Negahban H, Haidan MR, Salavati M, Mazaheri M, Talebian S, Jafari AH, et al. The effects of dual-tasking on postural control in people with unilateral anterior cruciate ligament injury. *Gait Posture* 2009; 30:477-481.
18. O'Connell M, Geotge Keith, Stock D. Postural sway and balance testing: a comparison of normal and anterior cruciate ligament deficient knees. *Gait Posture* 1998; 8:136-142.
19. Brunetti O., Filippi GM., Lorenzini M., Liti A., Panichi R., Roscini M, et al. Improvement of posture stability by vibratory stimulation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14:1180-1187.
20. Winter DA, Patla AE, Ishac M., Gage WH. Motor mechanism of balance during quiet standing. *J Electromyogr Kinesiol* 2003; 13: 49-56.
21. Gage WH, Winter DA, Frank JS, Adkin AL. Kinematic and kinetic validity of the inverted pendulum model in quiet standing. *Gait Posture* 2004; 19: 124-132.
22. Pereira HM, de Campos TF, Santos MB, Cardoso JR, Garcia M., Cohen M. Influence of knee position on the postural stability index registered by the Biodex Stability System. *Gait Posture* 2008; 28: 668-672.
23. Fisher-Rasmussen TO, Jensen T, Kjær M, Krogsgaard MR, Dyhre Poulsen P, Magnusson SP. Is proprioception altered during loaded knee extension shortly after ACL rupture? *Int J of Sports Med* 2001; 22:385-91.
24. Lohmander LS, Englund PM, Dahl LE, Roos EM: The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries: osteoarthritis. *Am J Sports Med* 2007; 35: 1756-1769.
25. Neuman P, Kostogiannis I, Friden T, Roos H.,Dahlberg LE, Englund M. Patellofemoral osteoarthritis 15 years after anterior cruciate ligament injury – a prospective cohort study. *Osteoarthritis Cartilage* 2009; 17: 284-290.
26. Marc Dauty M, Collon S, Ch. Dubois. Change in posture control after recent knee anterior cruciate ligament reconstruction? *Clin Physiol Funct Imaging* 2010; 30(3): 187-191.
27. Alonso AC, Greve JM, Camanho GL. Evaluating the center of gravity of dislocations in soccer players with and without reconstruction of the anterior cruciate ligament using a balance platform. *Clinics* 2009; 64(3): 163-170.
28. Ben Moussa Zouita B, Zouita S, Dziri C, Salah B, Zehi K. Isokinetic, functional and proprioceptive assessment of soccer players two years after surgical reconstruction of the anterior cruciate ligament of the knee. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique* 2008; 51(4): 248-256.
29. Harrison EL, Duenkel N, Dunlop R, Russell G. Evaluation of single-leg standing following anterior cruciate ligament surgery and rehabilitation. *Physical Therapy* 1994; 74(3): 245-252.
30. Lidén M, Sernert N, Rostgård-Christensen L, Kartus C, Ejerhed L. Osteoarthritis changes after anterior cruciate ligament reconstruction using bolne-patellar tendon-bone or hamstring autografts: a retrospective, 7-year radiographic and clinical follow-up study. *Arthroscopy* 2008; 24: 899-908.
31. Holm I, Oiestad BE, Risberg MA, Aune AK. No difference in knee function or prevalence of osteoarthritis after reconstruction of the anterior cruciate ligament with 4-strand hamstring autograft versus patellar tendon-bone autograft: a randomized study with 10-year follow-up. *Am J Sports Med* 2010; 38(3): 448-454.
32. Rein S, Fabian T, Zwipp H, Mittag-Bonsch M, Weindel S. Influence of age, body mass index and leg dominance on functional ankle stability. *Foot Ankle Int* 2010; 31(5): 423-432.
33. Clifford AM, Holder-Powell H. Postural control in healthy individuals. *Clinical Biomechanics* 2010; 25: 546-551.
34. Heijne A, Werner S. A 2-year follow-up of rehabilitation after ACL reconstruction using patellar tendon or hamstring tendon grafts: a prospective randomised outcome study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010; 18: 805-813.

---

**Liczba słów/Word count:** 5755

**Tabele/Tables:** 3

**Ryciny/Figures:** 0

**Piśmiennictwo/References:** 34

*Adres do korespondencji / Address for correspondence*

*dr Dawid Bączkiewicz*

*Instytut Fizjoterapii, Wydział Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii Politechniki Opolskiej  
45-758 Opole, ul. Prószkowska 76, tel. +48 77 449 82 80, d.baczkiewicz@po.opole.pl*

*Otrzymano / Received*

*02.07.2012 r.*

*Zaakceptowano / Accepted*

*01.07.2013 r.*