

# Ocena aktywności mięśnia obszernego bocznego i przyśrodkowego u mężczyzn w okresie późnym po zabiegu rekonstrukcji ACL więzadłem syntetycznym LARS

## Analysis of Vastus Lateralis and Vastus Medialis Activities in Men the Late Post-Surgery Period after ACL Reconstruction with LARS Synthetic Ligament

Agnieszka Bejer<sup>1,2(A,B,C,D,E,F)</sup>, Jędrzej Płocki<sup>2,3(A,B,C,D,E,F)</sup>, Michał Maciejewski<sup>2(B,E,F)</sup>, Ireneusz Kotela<sup>4,5(A,D,E)</sup>

<sup>1</sup> Instytut Nauk o Zdrowiu, Kolegium Nauk Medycznych, Uniwersytet Rzeszowski, Rzeszów, Polska

<sup>2</sup> Szpital Specjalistyczny im. Świętej Rodziny, Rudna Mała, Polska

<sup>3</sup> Kolegium Medyczne, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania, Rzeszów, Polska

<sup>4</sup> Instytut Nauk o Zdrowiu, Collegium Medicum, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Polska

<sup>5</sup> Klinika Ortopedii i Traumatologii, Centralny Szpital Kliniczny MSW w Warszawie, Polska

<sup>1</sup> Institute of Health Sciences, College of Medical Sciences, University of Rzeszow, Rzeszów, Poland

<sup>2</sup> The Holy Family Specialist Hospital, Rudna Mała, Poland

<sup>3</sup> Department of Physiotherapy, Collegium Medicum, University of Information Technology and Management, Rzeszów, Poland

<sup>4</sup> Department of Rehabilitation in Locomotor Disease, Institute of Physiotherapy, Faculty of Health Sciences, Jan Kochanowski University (JKU), Kielce, Poland

<sup>5</sup> Department of Orthopaedics and Traumatology Clinic of Orthopaedics and Traumatology, Central Clinical Hospital of the Ministry of Internal Affairs, Warsaw, Poland

### STRESZCZENIE

**Wstęp.** Celem badania była ocena aktywności mięśnia obszernego bocznego (VAL) i przyśrodkowego (VAM) w okresie 3-5 lat po zabiegu rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego (ACL) więzadłem syntetycznym LARS (ang. the Ligament Advanced Reinforcement System) w porównaniu do aktywności mięśni w kończynach nieoperowanej oraz w kończynach osób z grupy kontrolnej podczas wykonywania wybranych testów funkcjonalnych.

**Material i metody.** Do grupy badanej zakwalifikowano 20 mężczyzn po rekonstrukcji ACL z wykorzystaniem więzadła LARS, a do grupy kontrolnej 20 zdrowych mężczyzn. Do oceny funkcjonalności stawu kolanowego użyto skali Lysholma. Do badania aktywności mięśniowej wykorzystano zestaw do elektromiografii powierzchniowej (sEMG) - TELEMIO DTS firmy Noraxon. W obu kończynach dolnych oceniono mięśnie VAL i VAM. Badani wykonywali testy funkcjonalne (dynamiczne wchodzenie i schodzenie z 25 cm schodka oraz powolne przysiady).

**Wyniki.** Istotnie statystycznie różnice odnotowano tylko dla wartości VAL SA\_SD (iloraz średnich wartości sEMG mięśnia VAL podczas wchodzenia na stopień SA i zejścia SD;  $Z = 2,83$ ;  $p = 0,0047$ ) i VAM SA\_SD ( $Z = 1,98$ ;  $p = 0,0401$ ). W każdym analizowanym parametrze wyższe wartości odnotowano wśród osób z grupy kontrolnej. Stwierdzono słabe, ale istotne korelacje między VAL i VAM: SA\_SD a wynikami uzyskanymi w skali Lysholma.

**Wnioski.** 1. W grupie pacjentów po rekonstrukcji ACL więzadłem LARS utrzymują się zaburzenia aktywności mięśnia czworogłowego uda w trakcie testowanych dynamicznych aktywności dnia codziennego. 2. W planach rehabilitacji czy treningu sportowego w okresie odległym rekonstrukcji ACL więzadłem LARS należy położyć nacisk na trening mięśnia czworogłowego uda, a badanie sEMG może być pomocne w optymalizacji strategii postępowania.

**Słowa kluczowe:** LARS, elektromiografia powierzchniowa (sEMG), mięsień czworogłowy, skala Lysholma

### SUMMARY

**Background.** The aim of the study was to assess the activity of the vastus lateralis (VAL) and vastus medialis (VAM) within 3-5 years after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction with a LARS synthetic ligament (the Ligament Advanced Reinforcement System) compared to muscle activity in the non-operated limb and in the limbs of the controls during selected functional tests.

**Material and methods.** 20 men after ACL reconstruction using LARS synthetic ligament were qualified to the study group. The control group included 20 healthy men. Lysholm scale used to assess the functionality of the knee joint. To test muscle activity, TELEMIO DTS surface electromyography (sEMG) recording kit by Noraxon was used. The examined muscles on both limbs were the VAL and the VAM. The subjects were asked to perform the test-movements (dynamic ascent and descent from 25 cm step and slowly squats).

**Results.** Statistically significant differences were noted only for the values of VAL SA\_SD (the quotients of mean sEMG values of the VAL muscle during step ascent - SA and descent -SD;  $Z = 2.83$ ;  $p = 0.0047$ ) and VAM SA\_SD ( $Z = 1.98$ ;  $p = 0.0401$ ) parameters. In each analyzed parameter higher values were recorded among people from the control group. Weak but significant correlations were found between the VAL and VAM: SA\_SD and the results obtained on the Lysholm Scale.

**Conclusions.** 1. In the group of patients after LARS, quadriceps activity disorders persisted in tested dynamic activities. 2. In the therapy planning or sports training in the distant period after ACL reconstruction with LARS, emphasis should be placed on quadriceps muscle training, and the sEMG test may be helpful in optimizing the management strategy.

**Key words:** LARS, surface electromyography (sEMG), quadriceps muscle, Lysholm scale

## WSTĘP

Sporty kontaktowe i bezkontaktowe, a także niektóre zajęcia rekreacyjne, w których staw kolanowy musi poruszać się szybko w różnych płaszczyznach, na przykład przy zmianach kierunku, mogą przeciążać staw kolanowy [1]. Istotne znaczenie dla stabilności kolana mają m. in. więzadła krzyżowe (przednie i tylne), które kontrolują ślizg i rotację, a także hamują działanie sił zewnętrznych [2]. Więzadło krzyżowe przednie (ACL) coraz częściej ulega uszkodzeniu, głównie u osób młodych, aktywnych fizycznie w wieku 15-25 lat, z czego połowa urazów występuje między 15 a 19 rokiem życia [3]. Mechanizm uszkodzenia ACL najczęściej wynika z urazu, gdy podudzie zrotowane jest do wewnątrz przy ustabilizowanej stopie lub gdy kolano jest wyprostowane i stopa znajduje się na podłożu oraz dojdzie do bezpośredniego uderzenia od boku [1,4].

Następstwem uszkodzenia ACL jest niestabilność i ból kolana. Na skutek przerwania dróg czucia głębokiego dochodzi do zaburzenia koordynacji mięśni kontrolujących staw [5,6]. Powrót do sprawności jest możliwy dzięki artroskopowej rekonstrukcji więzadła metodą Internal Bracing, a także za pomocą przeszczepu autogenego (metoda STGR – pobór tkanki ze ścięgna mięśnia półścięgnistego/smukłego lub metoda BTB pobór z więzadła rzepki wraz z elementami kostnymi) czy też za pomocą więzadeł syntetycznych LARS (*ang.* the Ligament Advanced Reinforcement System) [7-9].

Intensywna rehabilitacja po zabiegu ma na celu przywrócenie prawidłowego zakresu ruchu, czucia głębokiego oraz siły mięśniowej [10,11]. Obiektywna ocena stawu kolanowego jest niezbędnym elementem kontroli procesu leczenia. Służy aktualnej ocenie stawu oraz może stanowić kryterium kwalifikujące do kolejnych etapów rehabilitacji oraz dopuszczenia pacjenta do powrotu do sportu. Obiektywną metodą oceny jest między innymi badanie elektromiografii powierzchniowej (sEMG). Analiza sygnału sEMG, płynącego z mięśni działających na staw kolanowy daje np. obraz rekrutacji mięśni, których zadaniem jest dynamiczna kontrola stawu, pozwala także określić stosunek różnych rodzajów pracy mięśniowej uzyskiwanej w trakcie wykonywania zadań dynamicznych [12,13].

Celem badania była ocena aktywności mięśnia obszernego bocznego i przyśrodkowego w okresie 3-5 lat po zabiegu rekonstrukcji ACL więzadłem syntetycznym LARS w porównaniu do aktywności mięśni w kończynie nieoperowanej oraz w kończynach osób z grupy kontrolnej podczas wykonywania wybranych testów funkcjonalnych. Podjęto się także oceny wpływu występowania zaników mięśniowych kończyny

## BACKGROUND

Contact and non-contact sports as well as some leisure activities requiring rapid knee joint movement in different planes e.g. when changing direction, can overload the knee joint [1]. Of importance for knee stability are the cruciate ligaments (anterior and posterior), which control glide and rotation and also inhibit external forces [2]. Injuries to the anterior cruciate ligament (ACL) are being diagnosed more and more frequently, mainly in young people aged 15-25 years who are physically active, with half of the injuries occurring between the ages of 15 and 19 [3]. The most common ACL injury mechanisms are knee rotation with stabilized feet and valgus stress with stabilized feet [1,4].

ACL damage leads to instability and knee pain. Interruption of deep sensory pathways disturbs coordination of the muscles controlling the joint [5,6]. Recovery is possible with arthroscopic reconstruction of the ligament by the Internal Bracing method as well as with autogenous grafting (STGR method, involving semi-tendinosus / gracialis grafting, or BTB method, i.e. bone-patellar tendon-bone technique) or by means of synthetic ligaments (LARS, Ligament Advanced Reinforcement System [7-9].

Intensive rehabilitation after surgery aims to restore the correct range of motion, deep sensation and muscle strength [10,11]. An objective evaluation of the knee joint is an essential element of monitoring the treatment process. It enables on-going assessment of the joint and can be a criterion for qualifying patients for subsequent stages of rehabilitation and allowing the return to sport. Objective assessment methods include surface electromyography (sEMG). Analysis of the sEMG signal from the muscles acting on the knee joint affords, among others, for tracing muscle recruitment for dynamic control of the joint, while also helping to determine the ratio of various types of muscle work produced during dynamic tasks [12,13].

The aim of the study was to assess the sEMG activity of the vastus lateralis and vastus medialis in patients 3-5 years after ACL reconstruction with the LARS synthetic ligament compared to muscle activity in the non-operated limb and in the limbs of control subjects during selected function tests. We also assessed the impact of muscle atrophy in the operated lower limb and its functional status on the level of activity of the muscles of interest.

dolnej operowanej oraz jej stanu funkcjonalnego na poziom aktywności badanych mięśni.

## MATERIAŁ I METODY

Do grupy badanej zakwalifikowano 20 mężczyzn po rekonstrukcji więzadła ACL, które były operowane w okresie od stycznia 2015 do grudnia 2016 roku Szpitalu Specjalistycznym im. Świętej Rodziny w Rudnej Małej. Grupa ta stanowiła 30% wszystkich pacjentów operowanych w tym okresie. Kryteria włączenia: rekonstrukcja ACL metodą artroskopową z wykorzystaniem syntetycznego więzadła LARS, operacja 3-5 lat do momentu badania, płeć męska, wiek w zakresie 25-50 lat, świadoma zgoda pacjenta na udział w badaniach. Kryteria wykluczenia: obustronne uszkodzenie ACL, rewizyjna rekonstrukcja ACL, uszkodzenie wielowięzadłowe, przebyte urazy i schorzenia w obrębie kończyn dolnych leczone operacyjnie oraz choroby neurologiczne mogące mieć wpływ na stan funkcjonalny badanych, wrodzone wady rozwojowe kończyn dolnych.

Do grupy kontrolnej zakwalifikowano 20 zdrowych mężczyzn, którzy wyrazili świadomą zgodę na udział w badaniach, w wieku w zakresie 25-50 lat, bez urazów, schorzeń i wad wrodzonych w obrębie kończyn dolnych oraz bez chorób neurologicznych mogących mieć wpływ na stan funkcjonalny badanych.

W niniejszym badaniu uwzględniono wyłącznie mężczyzn ze względu na charakterystykę dostępnej grupy badanej, w której kobiety stanowiły jedynie pojedyncze przypadki. Wzięto także pod uwagę dane z literatury, które wskazują, iż płeć może wywierać wpływ na uzyskiwaną wielkość parametrów z badania sEMG, ze względu na różnice w grubości fałdu skórniego oraz różnice w typach włókien pomiędzy kobietami i mężczyznami [14].

Osoby z grupy badanej przeżyły rekonstrukcję ACL syntetycznym więzadłem LARS, w okresie 3 lat do momentu badania – 4 pacjentów (20,0%), w przypadku kolejnych 3 osób (15,0%) były to 4 lata, oraz w przypadku pozostałych 13 osób (65,0%) było to 5 lat. Natomiast, czas między urazem a operacją wynosił w przypadku 4 osób (20,0%) niespełna tydzień, w przypadku kolejnych 14 osób (70,0%) był to okres 2-6 tygodni oraz w przypadku 2 badanych (10,0%) okres 7-12 tygodni. Wszyscy badani korzystali z rehabilitacji (terapia indywidualna wraz z fizykoterapią), której czas trwania wynosił w przypadku 8 osób (40,0%) 2-4 tygodnie oraz w przypadku kolejnych 8 osób (40,0%) około 5-8 tygodni. Po dwie osoby (10,0%) odbywały rehabilitację, trwającą kolejno około 9-12 tygodni oraz 13-16 tygodni.

## MATERIALS AND METHODS

Twenty men after ACL ligament reconstruction between January 2014 and December 2016 in the Holy Family Specialist Hospital in Rudna Mała were enrolled in the intervention group. This group constituted 30% of all patients operated on during this period. Inclusion criteria were as follows: arthroscopic ACL using LARS synthetic ligament, surgery 3-5 years prior to the examination, male sex, age range 25-50 years, informed consent to participate in the study. Exclusion criteria were as follows: bilateral ACL injury, revision ACL reconstruction, multi-ligament lesions, past lower limb injuries and conditions treated surgically, presence of neurological conditions that may affect the patient's functional status, and congenital malformations of the lower limbs.

A control group included 20 healthy men who gave informed consent to participate in the study, were 25-50 years old, without injuries, diseases or congenital malformations of the lower limbs and without neurological diseases that could affect their functional status.

Only men were included in this study due to the characteristics of the available group of post-ACL surgery patients, where women were only single cases. Data from the literature were also taken into account, indicating that gender may have an impact on sEMG parameters, due to differences in the thickness of the skin fold and differences in the types of fibres between women and men [14].

The subjects from the intervention group had undergone ACL reconstruction with the LARS synthetic ligament 3 years before the examination (4 patients, 20.0%), 4 years before the examination (3 subjects, 15.0%), and 5 years (the remaining 13 subjects, 65.0%). The time between injury and surgery was less than a week for 4 people (20.0%), 2-6 weeks for a further 14 people (70.0 and 7-12 weeks for 2 subjects (10.0%). All patients had attended rehabilitation (individual therapy including physical therapy), the duration of which was 2-4 weeks in 8 subjects (40.0%) and about 5-8 for another 8 subjects (40.0%). Two subjects (10.0%) attended rehabilitation for approximately 9-12 weeks and 13-16 weeks respectively.

The groups were comparable in terms of age and BMI. The mean age of the subjects in the intervention group was  $39.25 \pm 8.24$  years (range: 27-49 years), and BMI was 26.22 (overweight). The mean age of the participants in the control group was  $41.55 \pm 7.87$  years (range: 29-48 years), and BMI was 25.54 (overweight). The right lower limb had been operated on

Grupy były porównywalne pod względem wieku i BMI. Średnia wieku osób z grupy badanej wyniosła 39,25 roku  $\pm$  8,24 roku (w zakresie 27-49 lat), a BMI wynosił 26,22 (nadwaga). Średnia wieku osób z grupy kontrolnej wyniosła 41,55 roku  $\pm$  7,87 roku (w zakresie 29-48 lat), a BMI wynosił 25,54 (nadwaga). W przypadku 12 osób (60,0%) operowano kończynę dolną prawą. Pozostałych 8 osób (40,0%) miało operowaną kończynę dolną lewą.

Do realizacji celu badań zastosowano następujące narzędzia badawcze:

- Ankiety autorską, która służyła do zbierania danych metrykalnych oraz klinicznych.
- Skalę Lysholma (*ang.* Lysholm Knee Scoring Scale) służącą do oceny funkcjonalności stawu kolanowego. Opisuje ona 6 parametrów takich, jak: utykanie, obciążanie kolana, chodzenie po schodach, możliwość wykonania przysiadu, ocena chodu (niestabilność i ból), obrzęk oraz zaniku mięśni uda po operacji. Im liczba otrzymanych punktów jest większa, tym wyższy jest poziom funkcjonalny chorego. Maksymalna możliwa do zdobycia liczba punktów wynosi 100, co oznacza 100% sprawności kończyny po operacji. Interpretacja skali: wynik bardzo dobry > 90 pkt., dobry – 90-84 pkt., dostateczny – 83-65 pkt., zły < 65 pkt [15].
- Zestaw do elektromiografii powierzchniowej (sEMG) – TELEMYO DTS firmy Noraxon w połączeniu z oprogramowaniem MR3 myoMuscle i kamerą cyfrową. W niniejszych badaniach analizowano sygnał z 4 kanałów z próbkowaniem – 3000Hz/kanał. Badane mięśnie na kończynie dolnej prawej i lewej to mięsień obszerny boczny (VAL) i mięsień obszerny przyśrodkowy (VAM), które zostały przygotowane i oklejone według wytycznych grupy SENIAM (*ang.* Surface Electromyography for Non-Invasive Assessment of Muscles). Zestaw zapewnia bardzo wysoką jakość rejestrowanego sygnału z mięśni [16].

U badanych wykonano następujące testy z rejestracją sEMG:

- 3-krotne wejście na stopień o wysokości 15 cm – osobno kończyną dolną prawą i lewą, szybkie tempo – 1 s;
- 3-krotne zejście ze stopień o wysokości 15 cm – osobno kończyną dolną prawą i lewą, szybkie tempo – 1 s;
- 3 przysiady na pełnych stopach, z ramionami skierowanymi w przód, w wolnym tempie: 5 sekund zejście do przysiadu i 5 sekund powrót do pozycji wyjściowej.

Przed wykonaniem każdego testu badany został zaznajomiony z procedurą danego testu oraz wykonał go próbnie 3 razy. Wyznaczono parametry uśred-

in 12 people (60.0%), and the left lower limb had been operated on in the remaining 8 people (40.0%).

The following research tools were used to achieve the study objective:

A questionnaire developed by the authors was used to collect sociodemographic and clinical data.

The Lysholm Knee Scoring Scale was used to assess knee joint function. It describes the following six parameters: limping, knee load, climbing stairs, squatting, gait evaluation (instability and pain), swelling and loss of the thigh muscles after surgery. The higher the score, the better the functional level of the patient. The maximum score of 100 corresponds to 100% of lower limb function after surgery. Interpretation of the scores is as follows: excellent > 90 pts, good – 90-84 pts, satisfactory – 83-65 pts, poor < 65 points [15].

TELEMYO DTS surface electromyography (sEMG) kit (Noraxon) with myoMuscle MR3 software and a digital camera. The signal from 4 channels with sampling at 3000 Hz/channel was analyzed. The muscles examined in the right and left lower limbs were the vastus lateralis (VAL) and the vastus medialis (VAM). The muscles were prepared and taped according to the guidelines of the SENIAM (Surface Electromyography for Non-Invasive Assessment of Muscles) group. The sEMG set used ensures very high quality of signal recording [16].

The subjects were asked to perform test movements recorded with sEMG at a standardized pace given by a Metronome (60 beats per minute):

- ascent onto a 15-cm step (3 times) – separate attempts with the right and left lower limb, quick pace – 1 sec;
- descent from a 15-cm step (3 times) – separate attempts with the right and left lower limb, quick pace – 1 sec;
- 3 squats with full feet contact, arms outstretched forward, slow pace: 5 sec descent to squat and 5 seconds return to the starting position.

Before each test, the test subject was familiarized with the test procedure and made 3 trial attempts. Parameters of mean sEMG profile were determined from the three test attempts of a given test. Quotients of the following mean sEMG values for the quadriceps muscle (vastus lateralis [VAL] and vastus medialis [VAM]) were calculated separately for the operated and uninvolved lower limbs (intervention group) and the right and left lower limb (control group) during concentric and eccentric work:

- VAL SA-SD, i.e. quotients of mean sEMG values of the VAL muscle during step ascent (SA, concentric work) and descent (SD, eccentric work),
- VAM SA-SD, i.e. quotients of the mean sEMG values of the VAM muscle during step ascent

nionego przebiegu sEMG z trzech prób danego testu. Obliczono ilorazy średnich wartości sEMG dla mięśnia czworogłowego uda – VAL i VAM, osobno dla kończyny dolnej operowanej i zdrowej (grupa badana) oraz kończyny dolnej prawej i lewej (grupa kontrolna) podczas wykonywania pracy koncentrycznej i ekscentrycznej:

- VAL SA-SD tj. ilorazy średnich wartości sEMG mięśnia VAL podczas wejścia na stopień – SA (praca koncentryczna) i zejścia ze stopnia – SD (praca ekscentryczna),
- VAM SA-SD tj. ilorazy średnich wartości sEMG mięśnia VAM podczas wejścia na stopień (praca koncentryczna) i zejścia ze stopnia (praca ekscentryczna),
- VAL RS-DS tj. ilorazy średnich wartości sEMG mięśnia VAL podczas powstania z przysiadu – RS (praca koncentryczna) i przejścia do przysiadu – DS (praca ekscentryczna),
- VAM RS-DS tj. ilorazy średnich wartości sEMG mięśnia VAM podczas powstania z przysiadu (praca koncentryczna) i przejścia do przysiadu (praca ekscentryczna).

Obróbkę danych sEMG wykonano w programie MyoResearch-XP 1.07 firmy Noraxon. Wyznaczono parametry uśrednionego przebiegu sEMG z trzech prób danego testu funkcjonalnego przy użyciu protokołu Average Activation Pattern programu MyoResearch.

Analizę statystyczną zebranego materiału przeprowadzono w pakiecie Statistica 10.0 firmy StatSoft. Do analizy zmiennych posłużono się testami nieparametrycznymi. Wybór tego typu testów uwarunkowany był niespełnieniem podstawowych założeń testów parametrycznych tj. zgodności rozkładów badanych zmiennych z rozkładem normalnym, które zweryfikowano testem W Shapiro-Wilka.

Dla wszystkich zmiennych liczbowych obliczono statystyki opisowe: średnią, medianę odchylenie standardowe. Do oceny zmienności wewnątrzgrupowej w dwóch populacjach posłużono się testem kolejności par Wilcoxon. Do oceny różnic w przeciętnym poziomie cechy liczbowej w dwóch populacjach posłużono się testem U Manna-Whitneya. Korelację dwóch zmiennych określono przy pomocy współczynnik korelacji rang Spearmana. Za poziom istotności statystycznej przyjęto  $p < 0,05$  [17].

Na przeprowadzenie badania uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej przy Wydziale Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach o sygnaturze 7/2015.

(concentric work) and descent (eccentric work),

- VAL RS-DS, i.e. quotients of mean sEMG values of the VAL muscle during rising from squat (RS, concentric work) and going down to squat (DS, eccentric work),
- VAM RS-DS, i.e. quotients of mean sEMG values of the VAM muscle during rising from squat (concentric work) and going down to squat (eccentric work).

The sEMG data was processed in MyoResearch-XP 1.07 software by Noraxon. The parameters of mean sEMG profiles from three attempts of each function test were determined using the Average Activation Pattern protocol of MyoResearch software.

Statistical analysis of the study data was carried out in Statistica 10.0 software by StatSoft. Nonparametric tests were used to analyze the variables as the basic assumptions of the parametric tests were not met: the distributions of the study variables did not follow the normal distribution, as verified by the Shapiro-Wilk W test.

Descriptive statistics (mean, median standard deviation) were calculated for all numerical variables. The Wilcoxon pair order test was used to assess intra-group variability in the two populations. The Mann-Whitney U test was used to assess differences in the average level of a numerical characteristic in the two populations. The correlation of two variables was determined using the Spearman rank correlation coefficient. The level of statistical significance was set at  $p < 0.05$  [17].

The Bioethics Committee of the Faculty of Health Sciences at Jan Kochanowski University in Kielce gave their consent (No. 7/2015) to conduct the study.

**WYNIKI**

W Tabeli 1 przedstawiono wyniki dla kończyny dolnej operowanej w grupie badanej względem wyników grupy kontrolnej (uśrednionych pomiarów z kończyny dolnej lewej i prawej). Istotnie statystycznie różnice odnotowano dla wielkości parametrów VAL SA\_SD oraz VAM SA\_SD. W każdym ocenianym parametrze wyższe wartości odnotowywano wśród osób z grupy kontrolnej.

Nie wykazano obecności istotnych statystycznie różnic pomiędzy wielkością parametrów VAL SA\_SD, VAM SA\_SD, VAL RS-DS oraz VAM RS-DS w przypadku kończyny dolnej operowanej i nieoperowanej w grupie badanej, jednakże wszystkie oceniane parametry są lepsze w kończynie dolnej nieoperowanej (Tab. 2).

Rezultaty uzyskane w skali Lysholm przez grupę badaną przedstawiono w Tabeli 3. Zarazem, wynik bardzo dobry uzyskało 10 osób (50%), dobry – 6 osób (30%), a dostateczny – 4 osoby (20%).

Stwierdzono słabe lecz istotne statystycznie zależności pomiędzy parametrami badania sEMG kończyny dolnej operowanej, w zakresie aktywności VAL oraz VAM podczas testu wejścia i zejścia ze stopnia, a wynikami uzyskanymi w funkcjonalnej skali Lysholma (odpowiednio:  $r=0,35$ ;  $p=0,045$  oraz  $r=0,39$ ;

**RESULTS**

Table 1 presents the results for the operated lower limb in the intervention group vs. the control group (for averaged measurements from the left and right lower limb). Statistically significant differences were noted for the values of VAL SA\_SD and VAM SA\_SD. For each parameter analysed, higher values were recorded in the control group.

There were no statistically significant differences between the values of VAL SA\_SD, VAM SA\_SD, VAL RS\_DS and VAM RS\_DS for the operated vs. uninvolved lower limb in the intervention group. However, all parameters were better in the non-operated lower limb (Tab. 2).

Lysholm scores in the intervention group are presented in Table 3. Excellent scores were obtained by 10 people (50%), good scores, by 6 people (30%), and satisfactory scores, by 4 people (20%).

Weak but statistically significant relationships were found between sEMG parameters of the operated lower limb, with regard to VAL and VAM activity during the ascent and descent test as compared with the functional Lysholm scores ( $r = 0.35$ ;  $p = 0.045$  and  $r = 0.39$ ;  $p = 0.39$ ). However, there was no correlation between the activity of VAL and VAM during the squat and lower limb function.

Tab. 1. Wyniki uzyskane w badaniu sEMG w grupach badanej i kontrolnej

Tab. 1. Results of sEMG test in the intervention and control groups

Testy / Tests	Grupa badana / intervention group KD operowana / operated LL			Grupa kontrolna / control group uśrednione wyniki KD P/L / averaged results of the R/L LL			Z/p
	$\bar{x}$	Me	s	$\bar{x}$	Me	S	
VAL SA_SD	3.06	2.67	1.48	4.08	2.73	1.61	<b>Z=2.83 p=0.0047</b>
VAM SA_SD	3.66	2.94	2.43	3.98	3.17	2.90	<b>Z=1.98 p=0.0401</b>
VAL RS-DS	1.55	1.50	0.39	1.61	1.62	0.32	Z=-0.74 p=0.4570
VAM RS-DS	1.74	1.75	0.43	1.77	1.75	0.38	Z=0.55 p=0.5843

KD kończyna dolna; LL lower limbs; P/L prawa i lewa; R/L right and left; VAL mięsień obszerny boczny/ vastus lateralis muscle; VAM mięsień obszerny przyśrodkowy/ vastus medialis muscle; SA\_SD test wejścia na stopień i zejścia/step ascent and descent test; RS-DS test powstania z przysiadu i zejścia do przysiadu/ test of rising from a squat and coming down to a squat;  $\bar{x}$  średnia arytmetyczna/ arithmetic mean; Me mediana/ median; s odchylenie standardowe/standard deviation; Z wartość testu Manna-Whitney'a/Mann-Whitney test value; p poziom prawdopodobieństwa/probability level

Tab. 2. Wyniki uzyskane w badaniu sEMG w grupie badanej w kończynie dolnej operowanej i nieoperowanej

Tab. 2. Results of sEMG study in the intervention group in the operated and uninvolved lower limbs

Testy / Tests	Grupa badana / intervention group KD operowana / operated LL			Grupa badana / intervention group KD nieoperowana / uninvolved LL			Z/p
	$\bar{x}$	Me	s	$\bar{x}$	Me	S	
VAL SA_SD	3.06	2.65	1.52	3.10	2.66	2.24	Z=0.54 p=0.586
VAM SA_SD	3.66	2.94	2.43	4.43	3.47	3.22	Z=0.24 p=0.809
VAL RS-DS	1.55	1.50	0.39	1.64	1.67	0.33	Z=1.11 p=0.262
VAM RS-DS	1.74	1.75	0.43	1.88	1.89	0.45	Z=1.01 p=0.323

KD kończyna dolna; LL lower limbs; VAL mięsień obszerny boczny/ vastus lateralis muscle; VAM mięsień obszerny przyśrodkowy/ vastus medialis muscle; SA\_SD test wejścia na stopień i zejścia/step ascent and descent test; RS-DS test powstania z przysiadu i zejścia do przysiadu/test of rising from a squat and coming down to a squat;  $\bar{x}$  średnia arytmetyczna/ arithmetic mean; Me mediana/median; s odchylenie standardowe/standard deviation; Z wartość testu Wilcozona/Wilcoxon test value; p poziom prawdopodobieństwa/probability level

Tab. 3. Wyniki w skali Lysholma

Tab. 3. Lysholm scores

Skala Lysholma / Lysholm Scale [pkt.] / [pts.]	Statystyki opisowe / descriptive statistics							
	N	$\bar{x}$	Me	Min.	Max.	Q1	Q3	SD
	20	91.70	91.50	82.00	100.00	88.00	98.00	6.18

*n* liczba obserwacji/number of observations;  $\bar{x}$  średnia arytmetyczna/arithmetic mean; *Me* mediana/median; *Min* minimum/minimum; *Max*-maksimum/maximum; *Q1* kwartył dolny/lower quartile; *Q3* kwartył górny/upper quartile; *SD* odchylenie standardowe/standard deviation

Tab. 4. Zależności pomiędzy parametrami sEMG kończyny dolnej operowanej a występowaniem zaników mięśni

Tab. 4. Relationships between sEMG parameters of operated limb and incidence of muscle atrophy

Testy / Tests	Bez zaników mięśni / no muscle atrophy			Zaniki mięśni / muscle atrophy present			U/p
	$\bar{x}$	Me	s	$\bar{x}$	Me	S	
VAL SA_SD	3.13	2.63	1.65	2.87	2.65	1.23	U=35.00 p=1.000
VAM SA_SD	3.95	3.56	2.72	3.00	2.54	1.56	U=32.00 p=0.444
VAL RS_DS	1.76	1.63	0.61	1.46	1.48	0.22	U=1.64 p=0.116
VAM RS_DS	1.84	1.80	0.49	1.70	1.67	0.42	U=1.69 p=0.522

*VAL* mięsień obszerny boczny/ vastus lateralis muscle; *VAM* mięsień obszerny przyśrodkowy/ vastus medialis muscle; *SA\_SD* test wejścia na stopień i zejścia/step ascent and descent test; *RS\_DS* test powstania z przysiadu i zejścia do przysiadu/test of rising from a squat and coming down to a squat;  $\bar{x}$  średnia arytmetyczna/arithmetic mean; *Me* mediana/median; *s* odchylenie standardowe/standard deviation; *U* wartość testu U Manna-Whitneya Mann-Whitney U test value; *p* poziom prawdopodobieństwa/probability level

$p=0,39$ ). Nie stwierdzono natomiast korelacji pomiędzy aktywnością VAL i VAM w trakcie wykonywania przysiadu a funkcjonalnością kończyny dolnej.

Według skali Lysholma zaniki mięśni rzędu 1-2 cm występowały u 11 badanych (55,0%) oraz powyżej 2 cm – u kolejnych 3 badanych (15,0%). Bez zaników mięśni było 6 osób (30,0%) (Tab. 5). Wszystkie oceniane parametry z badania sEMG są wyższe (lepsze) u osób bez zaników mięśni w grupie badanej, jednakże nie są to różnice istotne statystycznie (Tab. 4).

## DYSKUSJA

W badaniach własnych profil sEMG osób po rekonstrukcji ACL z wykorzystaniem więzadła LARS, był statystycznie zbliżony do grupy kontrolnej, w trakcie wykonywania testu funkcjonalnego – przysiadów w wolnym tempie. Natomiast nieznaczne, aczkolwiek istotne statystycznie różnice w aktywności głowy bocznej, jak i przyśrodkowej pojawiły się w trakcie wykonywania bardziej dynamicznych zadań funkcjonalnych – wychodzenia i schodzenia ze stopnia w szybkim tempie. Jednym z powodów różnic w aktywności mięśnia czworogłowego pomiędzy kończyną operowaną a kończynami osób z grupy kontrolnej, w trakcie wykonywania zadań funkcjonalnych może być artrogenne hamowanie mięśni (AHM). Hart i wsp. opisują AHM jako odruchową reakcję pojawiającą się po kontuzji stawu. Termin ten określa niezdolność do całkowitego skurczu mięśnia pomimo braku strukturalnego uszkodzenia mięśnia lub unerwiającego go nerwu [18]. AHM objawia się pourazowym osłabieniem i zanikiem mięśnia, które może utrzymywać

According to the Lysholm Scale, muscle atrophy of 1-2 cm occurred in 11 subjects (55.0%) and atrophy over 2 cm in another 3 subjects (15.0%). Six subjects (30.0%) demonstrated no muscle wasting. All sEMG parameters of interest were higher (better) in the subjects from the intervention group without muscle wasting. However, the differences were not statistically significant (Tab. 4).

## DISCUSSION

In our study, the sEMG profile in patients after ACL reconstruction with the LARS ligament was statistically similar to that found in the control group during the functional test of slow-pace squats. However, slight, but statistically significant differences in the activity of the lateral as well as medial head appeared during more dynamic functional tasks (fast-paced step ascent and descent). One of the reasons for the differences in quadriceps muscle activity between the operated limb and the limbs of the control group, during functional tasks may be arthrogenic muscle inhibition (AMI). Hart et al. describe AMI as an ongoing reflex response developing after joint injury. The term describes the inability to completely contract a muscle despite the absence of structural damage to the muscle or the innervating nerve [18]. AMI manifests as posttraumatic weakness and muscle atrophy that may persist for a long time after an ACL injury or ACL reconstruction surgery [12,18, 19]. In our study, differences in muscle activity were

się przez długi czas po urazie lub rekonstrukcji ACL [12,18,19]. W naszych badaniach różnice w aktywności mięśni nie ujawniają się w trakcie wykonywania zadań mniej dynamicznych. Świadczyć to może, iż już tylko w trakcie bardziej obciążających zadań funkcjonalnych, odchylenia w aktywności mięśni w sEMG pojawiają się w grupie pacjentów w okresie późnym od rekonstrukcji. AHM jest najprawdopodobniej mechanizmem ochronnym po urazie stawu, może stać się ograniczeniem podczas rehabilitacji. Dlatego ważne jest, aby klinicyści rozumieli kliniczne skutki AHM w celu opracowania skutecznych strategii terapii, na każdym jej etapie [18].

Trulsson i wsp. przebadali 16 osób w okresie 2-11 miesięcy po urazie ACL, leczonych zachowawczo. Badani wykonywali przysiady na jednej (PJ) i na obu nogach (PO) w trakcie rejestracji sygnału sEMG. Zaobserwowali oni odchylenia w sEMG w aktywności mięśnia obszerneho bocznego pomiędzy kończyną po urazie i zdrową, zarówno w trakcie PJ, jak i PO – z niższą aktywnością po stronie urazu [12]. Brasileiro i wsp. przebadali natomiast 9 mężczyzn, którzy byli w okresie 9–10 miesięcy od rekonstrukcji ACL z użyciem więzadła właściwego rzepki. Oceniali oni aktywność mięśnia czworogłowego przy użyciu sEMG (prosty uda, VAL i VAM) w trakcie wykonywania pracy ekscentrycznej w warunkach izokinetyki, przy prędkości kątowej 30 and 120°/s oraz w trakcie dobrowolnego maksymalnego skurczu izometrycznego, przy ustawieniu kolana w pozycji 60° zgięcia. Aktywność mięśni w sEMG w kończynie operowanej była niższa we wszystkich testowanych sytuacjach [20].

W badaniach własnych w celu oceny sprawności stawu kolanowego zastosowano skalę Lysholma, w której badani uzyskali średnio 91,7/100 pkt. Równie obiecujące wyniki uzyskali także autorzy podobnych badań. Sebastiani i wsp. przebadali 31 pacjentów po rekonstrukcji ACL przy użyciu więzadła LARS. Badanie wykonywane było u nich co najmniej 10 lat od momentu rekonstrukcji, a średnia punktacja uzyskana w skali Lysholma wyniosła 96,6pkt [21]. Huang i wsp. swoimi badaniami objął 43 pacjentów w okresie około 3 lat po rekonstrukcji LARS, których średnie wyniki w skali Lysholma występują na poziomie 95,6pkt [22]. Badania Gao na grupie 159 pacjentów w okresie 3-5 lat od rekonstrukcji ACL z wykorzystaniem więzadła LARS, ukazują wyniki według skali Lysholma na poziomie 94,5 pkt [23]. Bugelli i wsp. przebadali 48 osób minimum 5 lat po rekonstrukcji ACL więzadłem LARS, średni okres obserwacji wynosił 84 miesiące (61-108 miesięcy). Otrzymali wyniki bardzo dobre u 50 % przypadków, dobre u 34%, a u 16% dostateczne [24]. Jest to bardzo zbieżne z

not visible during less dynamic tasks. This may prove that only more demanding functional tasks elicit deviations in sEMG activity among ACL reconstruction patients in the late post-operative period. AMI is probably a protective mechanism after a joint injury, and it can become a limitation during rehabilitation. Therefore, it is important for clinicians to understand the clinical effects of AMI in order to develop effective therapy strategies at each stage [18].

Trulsson et al. examined 16 conservatively treated individuals at 2-11 months after ACL injury. The subjects performed single (SLS) and double leg squats (DLS) during the registration of the sEMG signal. There were deviations in the sEMG activity of the vastus lateralis muscle between the injured and uninjured sides during both SLS and DLS, with lower activity on the injured side [12]. Brasileiro et al. examined 9 men at 9-10 months after ACL reconstruction using the patellar ligament. They assessed quadriceps activity using sEMG (rectus femoris, VAL and VAM) during eccentric work under isokinetic conditions, at angular velocities of 30 and 120°/s and during maximal isometric voluntary contractions with the knee at 60° of flexion. EMG activity in the operated limb was lower in all test settings [20].

In our study, the Lysholm Knee Scoring Scale was used to assess knee joint function, with the subjects scoring on average 91.7/100 points. Equally promising results have also been obtained by authors of similar studies. Sebastiani et al. examined 31 patients after ACL reconstruction using the LARS ligament. The examination took place at least 10 years after the reconstruction surgery, and the average Lysholm score was 96.6 points [21]. Huang et al. studied 43 patients after LARS reconstruction during nearly 3 years, with mean Lysholm scores of 95.6 points [22]. A study by Gao in a group of 159 patients who had received a LARS graft 3-5 years before indicated Lysholm scores of 94.5 points [23]. Bugelli et al. examined 48 people at least 5 years after ACL reconstruction with the LARS ligament (mean follow-up of 84 months, range: 61-108 months). They found excellent results in 50% of cases, good in 34% and satisfactory in 16% [24]. This is very similar to the distribution of the results in our patients, where also 50% had an excellent score, 30%, a good score, and 20%, a satisfactory score. Similar results were obtained by Ye et al., who assessed the functional status of the knee in 53 people during 36-52 months after a LARS graft. In that study, 66% of the patients obtained excellent scores, 30.2% had good scores, and 3.8%, satisfactory scores [25].

Our study demonstrated a relation between better function of the operated lower limb in the Lysholm



rozkładem wyników u naszych pacjentów, gdzie również 50% otrzymało wynik bardzo dobry, 30% - dobry, a 20% - dostateczny. Podobne wyniki uzyskali także Ye i wsp. oceniając stan funkcjonalny kolana u 53 osób w okresie 36-52 miesiące po rekonstrukcji LARS. Otrzymali 66% wyników bardzo dobrych, 30,2% wyników dobrych i 3,8% dostatecznych [25].

Na podstawie wyników badań własnych, stwierdzone zostały zależności pomiędzy lepszą sprawnością kończyny dolnej operowanej ocenianą skalą Lysholm, a większą aktywnością mięśni VAL i VAM podczas wychodzenia i schodzenia ze stopnia w szybkim tempie. Jednakże, badania Nyland i wsp. nie wykazują podobnych zależności. Przebadali oni 65 osób w okresie od 2 do 10 lat po rekonstrukcji ACL. Badanych podzielili na 3 grupy, względem subiektywnej oceny pacjenta czy postrzega siebie jako osobę bardzo zdolną do uprawiania sportu (n = 20), zdolną do uprawiania sportów (n = 23) lub niezdolną do uprawiania sportów (n = 22). Badani wykonywali skok w dal na jednej nodze. Wykonano badanie sEMG 4 mięśni, w tym mięśnia obszernego przyśrodkowego. Przeprowadzona analiza danych dotyczących różnic pomiędzy kończyną dolną operowaną i zdrową w aktywacji nerwowo-mięśniowej podczas faz propulsji i lądowania, wykazała brak istotnych różnic pomiędzy wyznaczonymi mięśniami [26].

W pracy przeanalizowano wpływ różnicy obwodów mięśnia czworogłowego na jego aktywność u osób po rekonstrukcji ACL więzadłem LARS. Zaniki utrzymywały się u 70% badanych. Większa aktywność, aczkolwiek nieznamienista statystycznie, VAL i VAM w każdej ocenianej aktywności występuje w grupie osób bez zaniku mięśni. Brasileiro i wsp., którzy badaniem MRI wykazali znaczną atrofię mięśnia czworogłowego na całej jego długości w okresie 9-10 miesięcy od rekonstrukcji ACL, wskazali równocześnie na istotny związek tej atrofii z siłą mięśniową prostowników, ocenianą badaniem izokinetycznym [20].

Wyniki prezentowanych badań własnych wskazują, że występują różnice w aktywności mięśnia czworogłowego w sEMG podczas testów wykonywanych dynamicznie u osób w okresie odległym od rekonstrukcji ACL więzadłem LARS. Kontynuując badania, należałoby włączyć inne zadania funkcjonalne dla kończyn dolnych, jeszcze bardziej obciążające i dynamiczne, by sprawdzić pojawiające się zależności. Zaznacza się także związek aktywności mięśnia czworogłowego ze stanem funkcjonalnym stawu kolanowego ocenianym skalą Lysholma i pewne tendencje do powiązań z jego zanikiem. Badania kontynuowane na większej liczbie operowanych pozwolą na zweryfikowanie tezy czy zaburzenia aktywności mięśnia czworogłowego nie znajdują istotnego zwią-

scale and greater muscle activity of VAL and VAM during getting on and off a step at a rapid pace. However, the study by Nyland et al., who examined 65 people 2-10 years after ACL reconstruction, did not show similar relationships. The subjects were divided into three groups, according to the patient's subjective assessment of whether they perceived themselves as a person very capable of playing sports (n = 20), capable of playing sports (n = 23) or incapable of playing sports (n = 22). The subjects performed the single leg hop for distance test. sEMG parameters were recorded for 4 muscles, including VAM. Analysis of data regarding differences in neuromuscular activation during propulsion and landing phases between the operated and uninvolved lower limb showed no significant differences between the designated muscles [26].

The present study analysed the effect of differences in quadriceps circumferences on activity of the muscle in people after ACL reconstruction with the LARS ligament. Atrophy persisted in 70% of the respondents. Greater activity of both VAM and VAL, not achieving the significance threshold, in each test activity occurred in a group of people without muscle atrophy. However, these differences were not statistically significant. Brasileiro et al., who found significant atrophy of the quadriceps muscle over its entire length within 9-10 months after ACL reconstruction, showed at the same time a significant relationship between this atrophy and extensor strength as assessed with an isokinetic test [20].

Our results indicate that there are differences in quadriceps muscle activity in sEMG during dynamic tests long after ACL reconstruction with the LARS ligament. Future research should include other functional tasks for the lower limbs, with greater loading and dynamics, to verify any emerging correlations. There is also a relationship between quadriceps muscle activity and the functional status of the knee joint as assessed with the Lysholm scale, and some trends towards an association with quadriceps atrophy. Research with larger patient samples will allow for verifying whether quadriceps muscle activity is significantly related to quadriceps atrophy, which occurs in a large percentage of the patients.

ku z jego atrofią, która występuje w dużym procencie u badanych.

## WNIOSKI

1. W ocenianej grupie pacjentów po rekonstrukcji ACL więzadłem LARS utrzymują się zaburzenia aktywności mięśnia czworogłowego uda w trakcie testowanych dynamicznych aktywności dnia codziennego. Aktywność mięśnia czworogłowego wykazuje powiązanie z funkcjonalnością kolana.
2. W planach rehabilitacji czy treningu sportowego w okresie odległym rekonstrukcji ACL więzadłem LARS należy położyć nacisk na trening mięśnia czworogłowego uda, a badanie sEMG może być pomocne w optymalizacji strategii postępowania.

## CONCLUSIONS

1. In the group of patients after ACL reconstruction with the LARS ligament quadriceps muscle activity disorders persisted during the dynamic activities of daily living tested in the study. Quadriceps muscle activity is associated with knee function.
2. Rehabilitation or sports for patients in the late period after ACL reconstruction with LARS should emphasise quadriceps muscle training. sEMG may be helpful in optimizing the management strategy.

## PIŚMIENNICTWO / REFERENCES

1. Strauss GL, Van Rensburg JDC, Grant CC, Van Rensburg JA, Velleman MD, Fletcher LL. Anterior cruciate ligament injuries of the knee: Patterns of association between the mechanism of injury and pathology visualised on magnetic resonance imaging. *S Afr J Sports Med.* 2018;30:1-6.
2. Pasierbiński A, Jarząbek A. Biomechanika więzadeł krzyżowych. *Acta Clinica* 2007;1(4):284-93.
3. Vavken P, Murray MM. Treating Anterior Cruciate Ligament Tears in Skeletally Immature. *Arthroscopy* 2011;27(5):704-16.
4. Boden BP, Sheehan FT, Torg JS, Hewett TE. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: mechanisms and risk factors. *J Am Acad Orthop Surg* 2010;18,9:520-7.
5. Cossich V, Mallrich F, Titonelli V, De Sousa EB, Velasquos B, Salles JI. Proprioceptive deficit in individuals with unilateral tearing of the anterior cruciate ligament after active evaluation of the sense of joint position. *Rev Bras Ortop* 2014;49(6):607-12.
6. Panics G, Tallay A, Pavlik A, Berkes A. Effect of proprioception training on knee joint position sense in female team handball players. *Br J Sports Med* 2008;42,6:472-6.
7. Pasierbiński A, Jarząbek A. Rehabilitacja po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego. *Medicina Sportiva* 2002; 6,2:S51-S65.
8. Parchi PD, Ciapini G, Paglialunga C, et al. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with LARS Artificial Ligament – Clinical Results after a Long-Term Follow-Up. *Joints* 20186(2):75-9.
9. Płocki J, Pelikan P, Bejer A, Granek A, Krawczyk-Suszek M, Kotela I. Comparison of results of ACL reconstruction using LARS method and autogenous ST/GR graft. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 2019;21(1):113-9.
10. Ardern C L, Tylor NF, Feller JA, Webster KE. Return-to-sport outcomes at 2 to 7 years after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Am J Sports Med.* 2012;40(1):41-8.
11. Wrzesień Z, Truszczyńska - Baszak A, Rzepka R. Lower extremity muscle strength, postural stability and functional movement screen in female basketball players after ACL reconstruction. Preliminary report. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 2019;21(2):71-81.
12. Trulsson A, Miler M, Hansson G-Å, Gummesson C, Garwicz M. Altered movement patterns and muscular activity during single and double leg squats in individuals with anterior cruciate ligament injury. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2015;16(28).
13. Konrad P. ABC EMG Praktyczne wprowadzenie do elektromiografii kinezyologicznej. Gliwice: Technomex; 2007.
14. Bilodeau M, Arseneault AB, Gravel D, Bourbonnais D. Influence of gender on the EMG power spectrum during an increasing force level. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 1992;2(3):121-9.
15. Kubiak G, Fabiś J. Porównanie wyników oceny kolan po szyciu łąkotek i rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego w skalach Lysholma, HSS oraz IKDC. *Polish Orthopedics and Traumatology* 2012;77:127-31.
16. www.seniam.org.
17. Sokołowski A. Estymacja i testowanie hipotez. W: *Statistica w badaniach naukowych i nauczaniu statystyki*. Kraków: Stat Soft Polska; 2010. pp. 25-60.
18. Hart JM, Pietrosimone B, Hertel J, Ingersol CD. Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review. *J Athl Train* 2010;45(1):87-97.
19. Palmieri – Smith RM, Thomas AC, Wojtys EM. Maximizing quadriceps strength after ACL reconstruction. *Clin Sports Med.* 2008;27(3):405-24.
20. Brasileiro JS, Pinto OMSF, Ávila MA, Salvini TF. Functional and morphological changes in the quadriceps muscle induced by eccentric training after ACL reconstruction. *Rev Bras Fisioter* 2011;15(4):284-90.
21. Sebastiani E, Pennesi G, Placella G, et al. Clinical, instrumental and biomechanical 10-year follow-up of patient who underwent anterior cruciate ligament reconstruction with the LARS synthetic ligament. *J Orthopaed Traumatol* 2013;14(1):S71.
22. Huang J, Hao-yuan L, Feng-rong C, et al. Characteristics of bone tunnel changes after ACL reconstruction using Ligament Advanced Reinforcement System artificial ligament. *Chin Med J (Engl)* 2012;125(22):3961-5.

23. Gao K, Chen S, Wang L, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction with LARS artificial ligament: a multicenter study with 3- to 5-year follow-up. *Arthroscopy* 2010;26(4):515-23.
24. Bugelli G, Dell'Osso G, Ascione F, Gori E, Bottai V, Gianotti S. LARS™ in ACL reconstruction: evaluation of 60 cases with 5-year minimum follow-up. *Musculoskelet Surg* 2018;102:57-62.
25. Ye JX, Shen GS, Zhou HB, et al. Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament with the LARS artificial ligament: thirty-six to fifty-two months follow-up study. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2013;17(11):1438-44.
26. Nyland J, Wera J, Klein S, Caborn DNM. Lower extremity neuromuscular compensations during instrumented single leg hop testing 2–10 years following ACL reconstruction. *Knee* 2014;21(6):1191-7.

---

**Liczba słów/Word count:** 6677

**Tabele/Tables:** 4

**Ryciny/Figures:** 0

**Piśmiennictwo/References:** 26

*Adres do korespondencji / Address for correspondence*

*Agnieszka Bejer*

*Instytut Nauk o Zdrowiu, Kolegium Nauk Medycznych, Uniwersytet Rzeszowski  
ul. Warzywna 1A, 35-310 Rzeszów, tel. +48 728913101, e-mail: agnbej@wp.pl*

*Otrzymano / Received*

*23.10.2020 r.*

*Zaakceptowano / Accepted*

*30.01.2021 r.*