

Ocena funkcjonalna mięśni działających na staw kolanowy u pacjentów w 13 tygodniu po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego – doniesienie wstępne

Functional Assessment of Knee Muscles 13 Weeks after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction – Pilot Study

Małgorzata Stefańska^(A,B,C,D,E,F), Magdalena Rafalska^(A,B,C,D,E,F), Anna Skrzek^(A,D,E,F,G)

Akademia Wychowania Fizycznego, Wydział Fizjoterapii, Wrocław, Polska
University School of Physical Education, Physiotherapy Department, Wrocław, Poland

STRESZCZENIE

Wstęp. Celem pracy była ocena parametrów siłowo-prędkościowych mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego u pacjentów w 13 tygodniu po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego.

Material i metoda. W badaniach uczestniczyło 13 mężczyzn w wieku 18-34 lat. U wszystkich przeprowadzony został zabieg rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego w 4 Wojskowym Szpitalu Klinicznym z Polikliniką SPZOZ we Wrocławiu. U wszystkich uczestników badań dokonano oceny parametrów prędkościowo-siłowych mięśni zginaczy i prostowników stawu kolanowego obu kończyn w warunkach izokinetycznych przy prędkości 180°/s. W próbie testowej każdy badany wykonywał 5 naprzemiennych ruchów kończyny w płaszczyźnie strzałkowej. Przy każdym pomiarze obowiązywał imperatyw wyzwolenia maksymalnej siły w jak najkrótszym czasie.

Wyniki. Przeprowadzone pomiary wykazały istotny statystycznie deficyt w wartościach szczytowego momentu siły, całkowitej pracy i średniej mocy, uzyskanych przez kończynę operowaną. Dla wszystkich mierzonych wartości zarejestrowany deficyt przekraczał 30%.

Wnioski. 1. Ograniczenie funkcji w większym stopniu obejmuje mięsień czworogłowy uda, o czym świadczy wyższy stosunek maksymalnych momentów sił mięśni antagonistycznych w porównaniu z kończyną zdrową. 2. Rzetelna ocena funkcji mięśni działających na staw kolanowy u pacjentów po rekonstrukcji ACL pozwala na określenie skali deficytów w parametrach F-v, a tym samym umożliwia zindywidualizowany dobór optymalnego dla pacjenta programu usprawniania.

Słowa kluczowe: ACL, szczytowy moment siły, stosunek zginaczy do prostowników

SUMMARY

Background. The goal of this study was to assess the force-velocity parameters of the knee flexors and extensors in patients 13 weeks after anterior cruciate ligament reconstruction.

Material and methods. The study involved 13 men aged 18-34. All patients underwent an anterior cruciate ligament reconstruction at the 4th Military Hospital in Wrocław. An assessment of the force-velocity parameters of the knee flexors and extensors of both limbs was performed in all subjects under isokinetic conditions (180°/s loads). Each subject performed five flexion and extension movements in the knee joint in the sagittal plane. All subjects were instructed to release maximum peak torque in the shortest possible time in each movement.

Results. Statistically significant deficits of peak torque, maximum work and average power were registered in the operated limb. The deficits exceeded 30% for all parameters evaluated.

Conclusions. 1. Functional impairment following ACL reconstruction is seen predominantly in the quadriceps femoris, as confirmed by a higher H/Q ratio in peak torque compared to the healthy limb. 2. Reliable assessment of knee muscle function in patients after ACL reconstruction allows calculation of the degree of deficit of force-velocity parameters, making it possible to design an optimal rehabilitation programme for each patient.

Key words: ACL, peak torque, hamstring/quadriceps ratio

WSTĘP

Urazy stawu kolanowego połączone z zerwaniem, bądź naderwaniem więzadła krzyżowego przedniego (ACL) są jednymi z częściej spotykanych i bardziej skomplikowanych pod względem diagnozy, operacji i wieloetapowej rehabilitacji. Związane jest to ze stale wzrastającą liczbą urazów sportowych i wypadków komunikacyjnych. Jak pokazują statystyki 81% urazów zdarza się podczas uprawiania sportu, 14% w domu lub w pracy, 5% z powodu wypadków komunikacyjnych [1]. Urazowi więzadła krzyżowego przedniego w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej ulega rocznie około 240 tys. osób. Rekonstrukcji dokonuje się u 100 tys. W 66% są to osoby uprawiające sport rekreacyjnie, a tylko w 25% sportowcy. Adamczyk przeniósł powyższą statystykę do Polski i pokazał, iż możemy spodziewać się 1 urazu na 1000 mieszkańców rocznie [2]. Powyższe dane pokazują skalę problemu i uzmysławiają jak ważne są badania kliniczne, obrazowe, właściwa ich interpretacja oraz odpowiedni dobór techniki operacyjnej i wieloetapowa rehabilitacja.

Uszkodzenie ACL prowadzi do zaburzeń wielu mechanizmów. Dochodzi do destabilizacji przedniej stawu kolanowego oraz zaniku mięśnia czworogłowego uda. Zmniejszenie siły głowy przysrodkowej tego mięśnia, która zanika najszybciej, powoduje ograniczenie lub uniemożliwienie ostatnich kilkunastu stopni wyprostu stawu upośledzając tym samym mechanizm blokujący staw kolanowy. Dochodzi do ryglowania stawu, co utrudnia wyskok, gwałtowne zmiany kierunku, hamowanie i zeskok [3]. Podczas urazu dochodzi również do przerwania lub patologicznej modyfikacji przewodzenia bodźców z uszkodzonych struktur do poszczególnych ośrodków centralnego układu nerwowego powodując zmianę odczuwania położenia stawu. Propriocepcja, a więc czucie głębokie stawu, jest jak się uważa najtrudniejszą funkcją do odbudowania podczas całego procesu rehabilitacyjnego. Nieprawidłowa stabilizacja odruchowa, którą zapewniają receptory czucia głębokiego, grozi obniżeniem jakości odpowiedzi odruchowej, a co za tym idzie większym prawdopodobieństwem kolejnego uszkodzenia. Zaburzony tor ruchu tocząco – poślizgowy powoduje nadmierną wiotkość stawu, a przednie podwichnięcia głowy kości piszczelowej prowadzą do przeciążeń i w późniejszym czasie zmian zwyrodnieniowych powierzchni stawowych, które po 12 latach od uszkodzenia dotyczą 50% pacjentów [4].

Konieczność szybkiego powrotu do sprawności fizycznej i czynności dnia codziennego zarówno u osób trenujących wyczynowo, rekreacyjnie uprawiających sport i osób nieaktywnych sprawia, iż metody lecze-

BACKGROUND

Injuries to the knee joint producing a rupture or tear of the anterior cruciate ligament (ACL) are among the most frequent and complicated injuries from the viewpoint of diagnosis, surgery and multistage rehabilitation. This is connected with a constantly increasing number of sports injuries and road accidents. According to statistics, 81% of the injuries take place sports activities, 14% occur at home or at work and 5% are the result of road accidents [1]. Each year in the USA about 240,000 people suffer from anterior cruciate ligament injuries, with 100,000 undergoing reconstruction surgery. Most of the patients (66%) are those who practise a sport for recreational purposes, while only 25% of them are professional athletes. Adamczyk [2] transposed these statistics into Polish conditions and showed that the expected incidence of ACL injuries is 1 injury per 1000 citizens every year. These data show the magnitude of the problem and draw attention to the importance of clinical and imaging examinations and their appropriate interpretation as well as a proper choice of operative technique and multistage rehabilitation.

An ACL injury leads to impairment of a number of mechanisms. It causes anterior destabilization of the knee joint and quadriceps atrophy. Reduced strength of the medial head, which atrophies the fastest, leads to a limitation or a complete inability to achieve the last few degrees of extension in the joint, thus impairing the mechanism blocking the knee joint. This results in interlocking of the joint, which makes it difficult for the patient to jump, quickly change direction, stop or jump down [3]. The injury also disrupts or adversely affects the conduction of stimuli from the injured structures to particular centres within the central nervous system, leading to alteration of the joint position sense. Proprioception, i.e. joint position sense, is considered to be the most difficult function to restore in the entire rehabilitation process. Abnormal reflexive stabilization provided by proprioceptors may lead to a decrease in the quality of the reflex response and, consequently, to a higher probability of repeat injury. The impaired trajectory of rolling-sliding motion results in excessive flaccidity of the joint while anterior subluxations of the tibial head cause overload, later leading to degenerative changes of joint surfaces, which occur in 50% of the patients 12 years after the injury [4].

As athletes as well as those practising sports recreationally and those not physically active all need to quickly restore their physical fitness and resume everyday activities, the treatment methods and rehabilitation techniques are becoming less and less inva-

nia i rehabilitacji uszkodzeń są coraz mniej inwazyjne i traumatyczne [5]. Zaprzestano używać opatrunków gipsowych, a wprowadzono ortozy i stabilizatory. Terapeuci zajęli się odbudowywaniem propriocepcji, zwiększaniem ruchomości w stawie rzepkowo-udowym, a przede wszystkim ruchomością w stawie bezpośrednio po operacji. Znajomość przez specjalistów rehabilitacji anatomii, procesów rewaskularyzacji, odnowy tkankowej sprawiają, iż powrót funkcjonalności stawu kolanowego jest obecnie procesem coraz szybszym i bezpieczniejszym dla pacjenta [6]. Zasadnicze znaczenie ma zastosowanie konkretnej techniki rekonstrukcji oraz miejsce pobrania tkanki do przeszczepu uszkodzonego więzadła, które w znaczącym stopniu determinują dobór określonego programu usprawniania. Zastosowanie techniki artroskopowej minimalizuje uszkodzenia torebki stawowej, maksymalnie zachowuje propriocepcję stawu i zmniejsza zahamowanie odruchów z mięśnia czworogłowego uda, co często się zdarza w procedurze otwartej [7]. Tkankę do przeszczepów autogenych uzyskuje się najczęściej ze ścięgna mięśnia półścięgniętego i smukłego, więzadła rzepki, ścięgna mięśnia czworogłowego. Niezależnie od zastosowanej techniki zabiegu proponowany pacjentom program usprawniania powinien obejmować również okolicę pobrania przeszczepu, ponieważ w efekcie zabiegu powstają dodatkowe blizny pooperacyjne, dochodzi do osłabienia struktury z której przeszczep był pobrany (np. pobranie tkanki ze ścięgna rzepki powoduje jego osłabienie o około 30%, upośledzenie funkcji mięśnia czworogłowego uda, a także stawu rzepkowo-udowego [7]). Do roku 1970 uraz więzadła krzyżowego przedniego wiązał się z całkowitym zaprzestaniem uprawiania sportu, obecnie przy odpowiednio poprowadzonym leczeniu chirurgicznym i rehabilitacyjnym 90-95% osób powraca do pełnej aktywności ruchowej [8].

Rehabilitacja po urazie ACL budzi wciąż wiele kontrowersji związanych z metodyką i intensywnością ćwiczeń, rozpoczęciem obciążania kończyny oraz odpowiednim momentem powrotu do aktywności ruchowej. Wiele ośrodków rehabilitacyjnych w Polsce i za granicą wprowadza własne metody wieloetapowego usprawniania, które różnią się znacząco, lecz opierają się na tych samych podstawowych zasadach mających na celu ochronę przeszczepionego więzadła oraz powrót funkcji stawu kolanowego. Ze względu na aktywne procesy przebudowy tkankowej dopiero okres po 12 tygodniu od zabiegu daje możliwość ćwiczeń w otwartych łańcuchach kinematycznych oraz zwiększenie intensywności treningu, po 16 tygodniu możliwe jest rozpoczęcie specjalistycznego treningu sportowego i powrót do lekkiej rekreacyjnej

sive and traumatic [5]. Gypsum plasters are no longer used, having been replaced by orthoses and fixators. Therapists are now busy restoring proprioception, increasing patellofemoral joint mobility and, above all, are taking care of joint mobility immediately after the surgery. With physiotherapists being knowledgeable about anatomy, revascularization and tissue regeneration, the functional restoration of the knee joint is becoming increasingly quicker and safer for the patient [6]. The use of a specific technique of ACL reconstruction and the choice of a site for harvesting tissue for transplantation are of fundamental importance and determine the choice of a rehabilitation programme to a high degree. Up to 1970, ACL injuries made practising sports impossible. At present appropriate surgery and rehabilitation make it possible for 90-95% of the patients to regain their motor skills fully [7].

Rehabilitation after ACL injury still arouses controversy regarding the methodology and intensity of exercises, appropriate time to start loading the limb and proper timing of resumption of physical activity. Many rehabilitation centres in Poland and abroad introduce their own approaches to multistage rehabilitation which differ significantly, but draw on the same basic principles aiming to protect the grafted ligament and restore knee joint function. Due to active processes of tissue remodelling, open-chain exercises and more intensive training are possible no earlier than 12 weeks post-surgery. Specialist sports training can re-commence after 16 weeks, when low-effort recreational physical activity can also be resumed. The decision to allow unrestricted practice of a specific sport depends on the nature of the sport and must be based on the results of many tests. The sine qua non conditions include a stable knee joint, full and painless range of motion, the ability to perform all complex movements necessary to practice the sport and functional testing demonstrating 85% performance relative to the non-operated limb [8].

A functional assessment of muscle system performance can be based on kinetic tests performed, due to e.g. revascularization processes, no sooner than 12 weeks after the reconstruction surgery. Assessment of the force-velocity parameters allows determination of muscle strength and endurance, reveals potential deficits and shows the progress or regression resulting from therapy.

The aim of the study was to assess the force-velocity parameters of the knee extensors and flexors in patients after anterior cruciate ligament reconstruction surgery.

It was assumed that there was a significant deficit in the values of the F-V parameters of the knee ex-

aktywności fizycznej. Decyzja o pełnym powrocie do uprawianej dyscypliny sportowej zależy od jej charakteru i musi opierać się na wielu badaniach. Warunkiem powrotu jest stabilny staw, pełny i bezbolesny zakres ruchu, możliwość wykonywania wszystkich złożonych ruchów potrzebnych w danej dyscyplinie oraz testy funkcjonalne wskazujące 85% wartości w stosunku do kończyny nieoperowanej [9].

Funkcjonalna ocena sprawności układu mięśniowego może być dokonana w oparciu o testy izokinetyczne wykonywane ze względu na procesy rewaskularyzacji najwcześniej po 12 tygodniu od rekonstrukcji. Ocena parametrów F-v układu mięśniowego pozwala określić siłę i wytrzymałość, identyfikuje ewentualne deficyty, wykazuje progres lub regres związany z prowadzonymi działaniami terapeutycznymi.

Celem pracy była ocena parametrów siłowo-prędkościowych mięśni prostowników i zginaczy stawu kolanowego u osób po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego.

Założono, że w kończynie dolnej operowanej występuje istotny deficyt w wartościach parametrów siłowo-prędkościowych (F-v) mięśni zginaczy i prostowników stawu kolanowego w stosunku do kończyny dolnej nieoperowanej.

MATERIAŁ I METODY

W badaniach uczestniczyło 13 mężczyzn w wieku 18-34 lat. U wszystkich przeprowadzony został zabieg rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego w 4 Wojсковym Szpitalu Klinicznym z Polikliniką SPZOZ we Wrocławiu. Do grupy badanej klasyfikowano osoby po zakończeniu 12 tygodnia od daty zabiegu. Uraz prawostronny miało 69,2%, lewostronny 30,8% badanych. Wszyscy uczestnicy badań po zabiegu rekonstrukcji poddani byli zabiegom fizjoterapeutycznym w warunkach szpitalnych i ambulatoryjnych. Szczegółową charakterystykę badanych zamieszczono w Tabeli 1.

Na podstawie przeprowadzonej ankiety stwierdzono, że u 84,6% przyczyną uszkodzenia był uraz spor-

tensors and flexors in the operated lower limb in relation to the healthy limb.

MATERIAL AND METHODS

The study involved 13 men aged 18-34. All patients underwent an anterior cruciate ligament reconstruction at the 4th Military Hospital in Wrocław. The study group included patients who had undergone the reconstruction at least 12 full weeks before. Right-sided injury occurred in 69.2% of the patients, and left-sided injury in 30.8% of the subjects. After the reconstruction surgery, all the participants underwent physiotherapeutic procedures in the hospital and outpatient setting. Table 1 contains detailed characteristics of the subjects.

A survey revealed that the injury was caused by a sport-related trauma in 84.6% of the patients, a road

Tabela 1. Charakterystyka grupy badanych

Table 1. Characteristics of the study group

| | średnia (±SD) mean (±SD) |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| n | 13 |
| Wiek [lata] Age [years] | 25.92 (±4.63) |
| Wysokość ciała [m] Body height [m] | 1.82 (±0.07) |
| Masa ciała [kg] Body mass [kg] | 87.10 (±12.41) |

towy, u 7,7% wypadek komunikacyjny, oraz u 7,7% upadek z wysokości. 85% badanych oceniło jakość życia po urazie na gorszą. Wszyscy niżej ocenili swoją sprawność i aktywność fizyczną.

Badania przeprowadzono w Pracowni Badań Czynnościowych Wydziału Fizjoterapii AWF we Wrocławiu posiadającej Certyfikat Systemu Jakości PN-EN ISO 9001: 2001 nr PL-1374-C/2004. U każdego badanego dokonano oceny parametrów siłowo-prędkościowych mięśni zginaczy i prostowników stawu kolanego kończyny operowanej i nieoperowanej. Urządzeniem badawczym było stanowisko pomiarowe firmy Biodex, umożliwiające rejestrację przebiegów czasowych siły w różnych warunkach pracy mięśniowej.

Wykorzystano izokinetyczny tryb pracy urządzenia, w którym zadaniem nastawnym obciążeniem jest prędkość ruchu.

Zadaniem każdego uczestnika badań było wykonanie 5 naprzemiennych ruchów zginania i prostowania stawu kolanego w płaszczyźnie strzałkowej z obciążeniem w postaci prędkości kątowej równym $180^\circ/s$. Obowiązywał imperatyw wyzwolenia maksymalnej siły mięśniowej w jak najkrótszym czasie w każdym ruchu.

Przed każdym badaniem fotel i dynamometr oraz właściwą przystawkę ustawiono tak, aby końcówka dynamometru była przedłużeniem osi obrotu stawu. Za każdym razem określano także zakres ruchu, który wynosił średnio $97,21^\circ$ (za 0° przyjęto maksymalny wyprost stawu). Udo oraz miednicę osoby badanej stabilizowano pasami przymocowanymi do fotela tak, by wyeliminować ruchy wspomagające.

Pozycją wyjściową było maksymalne zgięcie stawu. Przed każdym testem badany wykonywał trzy submaksymalne ruchy zgięcia i wyprost w celu zapoznania się z zadaniem obciążeniem [10].

Analiza statystyczna

Testem Shapiro-Wilka sprawdzono rozkład wszystkich badanych parametrów, który okazał się zbliżony do normalnego, co pozwoliło ze wszystkich mierzonych wielkości obliczyć wartości średnie oraz odchylenie standardowe. Z powodu małej liczebności grupy badanych, istotność statystyczną średnich różnic pomiędzy wartościami uzyskanymi przez kończynę operowaną i nieoperowaną sprawdzono testem Wilcoxon.

WYNIKI

Wynikiem pomiarowym przeprowadzonych doświadczeń były wartości szczytowego momentu siły (Mm [Nm]), maksymalnej pracy w próbie (W [J]), średniej mocy (P [W]), stosunku Mm mięśni antagonistycznych F/E [%] uzyskane przez mięśnie pro-

accident in 7.7% and a fall in 7.7%. All the patients assessed their physical performance and level of activity after the injury as lower, with 85% also assessing their quality of life as worse.

The study was conducted at the Functional Testing Laboratory of the Physiotherapy Department at the University School of Physical Education in Wrocław. The Laboratory has been granted the PN-EN ISO 9001:2001 Quality Certificate No. PL-1374-C/2004. An assessment of the force-velocity parameters of the knee flexors and extensors was performed in all subjects in the operated and non-operated limb. The measurements were performed in a Biodex testing unit allowing registration of strength time series in different muscle work regimes.

The device was set to an isokinetic mode with motion speed as the set load.

Each subject performed five alternate flexion and extension movements in the knee joint in the sagittal plane against angular velocity loads of $180^\circ/s$. All subjects were instructed to release maximum peak torque in the shortest possible time in each movement.

Prior to every attempt, the chair and the dynamometer, as well as an appropriate attachment were positioned so that the end of the dynamometer was an extension of the joint rotation axis. The same range of flexion and extension of ca. 97.21° (0° was full extension) was set for all patients. The thigh and pelvis were stabilized with straps attached to the chair in order to avoid any movement support.

The starting position was full joint flexion. Before each test the subject performed 3 submaximum flexion and extension movements in order to become accustomed to the set load level [9].

Statistical design

The distributions of all parameters were assessed with the Shapiro-Wilk test. The distribution was found to be similar to normal, which made it possible to calculate mean values and standard deviations from all measurements. Due to the small sample size, the statistical significance of mean differences between the values registered in the operated and normal limbs was assessed using the Wilcoxon matched pairs test.

RESULTS

Parameters measured included peak torque values (Mm [Nm]), maximum work in the attempt (W [J]), average power (P [W]) and the H/Q ratio for the knee flexors and extensors (F/E [%]) in the operated and healthy limbs.

stawniki i zginacze stawu kolanowego kończyny dolnej operowanej i nieoperowanej.

Średnie wartości parametrów F-v uzyskane przez kończynę operowaną okazały się znacząco niższe w porównaniu z wartościami uzyskanymi przez kończynę zdrową (Tabela 2). Deficyty, czyli średnie odsetkowe różnice pomiędzy mierzonymi wielkościami w większości przypadków przekraczają 30% (Tabela 3). Istotność statystyczna średnich różnic pomiędzy wartościami charakteryzującymi kończynę

The mean values of the force-velocity parameters registered in the operated limb were found to be significantly lower in comparison to those registered in the healthy limb (Table 2). Deficits, i.e. mean percentage differences between the values, exceeded 30% in most cases (Table 3). The statistical significance of mean differences between the operated and healthy limbs was confirmed with the Wilcoxon test (p values are presented in Table 3).

Tab. 2. Średnie wartości i odchylenia standardowe (SD) szczytowego momentu siły (Mm), maksymalnej pracy (W), średniej mocy (P) i stosunku mięśni zginaczy do prostowników (F/E) uzyskane przez mięśnie prostowniki (E) i zginacze (F) kończyny po rekonstrukcji ACL (O) i kończyny zdrowej (N)

Tab. 2. Means and standard deviations of peak torque (Mm), maximum work (W), average power (P) and H/Q ratio for knee flexors and extensors of operated (O) and normal (N) limb

| | Kończyna operowana (O) Operated limb (O) | | Kończyna nieoperowana (N) Normal limb (N) | |
|----------|---|------|--|------|
| | Średnia mean | SD | Średnia mean | SD |
| MmE [Nm] | 96.9 | 33.2 | 152.4 | 35.2 |
| WE [J] | 122.0 | 41.5 | 191.3 | 43.9 |
| PE [W] | 148.7 | 55.6 | 226.2 | 51.0 |
| MmF [Nm] | 43.3 | 14.7 | 64.3 | 16.8 |
| WF [J] | 52.1 | 24.5 | 74.3 | 30.6 |
| PF [W] | 42.2 | 25.5 | 89.6 | 43.8 |
| F/E [%] | 47.7 | 11.4 | 40.1 | 10.2 |

Tab. 3. Wartości współczynnika p testu Wilcoxona oraz średnie procentowe różnice (deficyty) obliczone dla wszystkich mierzonych parametrów uzyskanych przez kończynę po rekonstrukcji (O) i kończynę zdrową (N)

Tab. 3. Wilcoxon's p values and mean percentage differences (deficits) calculated for all measured parameters for operated (O) and normal (N) limb

| | Test Wilcoxona współczynnik p Wilcoxon's p value | Deficyt [%] Deficit [%] |
|------------|--|----------------------------|
| MmE O vs N | 0.001* | 36.44 |
| WE O vs N | 0.001* | 36.22 |
| PE O vs N | 0.001* | 34.26 |
| MmF O vs N | 0.001* | 32.73 |
| WF O vs N | 0.023* | 29.80 |
| PF O vs N | 0.002* | 52.88 |
| F/E O vs N | 0.039* | -19.01 |

* wartości istotne statystycznie p < 0,05

* statistically significant values p < 0,05

po rekonstrukcji i kończynę zdrową potwierdzono testem Wilcoxon (wartości współczynnika p zaprezentowano w Tabeli 3).

DYSKUSJA

Zagadnienia dotyczące leczenia i rehabilitacji uszkodzeń więzadła krzyżowego przedniego w ostatnich latach stały się tematem wielu rozpraw naukowych. Uwag dotyczących sposobu operacji, rodzaju przeszczepu i procesu usprawniania, jest tak wiele, jak ośrodków szpitalnych i rehabilitacyjnych, zajmujących się powyższym problemem. Najwięcej sporów dotyczących rehabilitacji po rekonstrukcji ACL dotyczy doboru odpowiedniego rodzaju treningu, zastosowanych obciążeń, odbudowy siły mięśniowej w prawidłowym stosunku zginaczy do prostowników oraz metod kontroli procesu usprawniania. Jednym z podstawowych problemów, jaki zauważają zarówno badacze, jak i sami pacjenci jest konieczność długiego procesu rehabilitacji, co wymaga cierpliwości, zaangażowania, przerwy w pracy zawodowej oraz dużych nakładów finansowych. W konsekwencji skróceniu ulega czas usprawniania, powodując zbyt szybki powrót do codziennej aktywności fizycznej w stosunku do obserwowanego procesu przebudowy przeszczepionego więzadła, co w przyszłości może prowadzić do przedwczesnego zużycia stawu [3].

Prezentowane badania obrazują skalę wyżej opisanego problemu. Mimo aktywnego uczestnictwa pacjentów w programach fizjoterapeutycznych dochodzi do znaczącego zmniejszenia siły mięśni. Jest ono skutkiem znacznego ograniczenia czynności mięśni działających na staw kolanowy, które wynika między innymi ze zmniejszenia aktywności fizycznej związanej ze skutkami urazu (niestabilność stawu) czy brakiem możliwości pełnego obciążania stawu w pierwszym etapie usprawniania po rekonstrukcji.

Pomiary kończące 12 tydzień rehabilitacji przeprowadzone u 13 badanych wskazują znaczący deficyt w parametrach siłowo-prędkościowych operowanej kończyny dolnej, dotyczący zarówno prostowników, jak i zginaczy stawu kolanowego. Wszyscy uczestnicy badań kończyną uszkodzoną uzyskali o ponad 30% niższe wartości maksymalnego momentu siły, pracy i mocy. Wyniki te nie odbiegają od wartości rejestrowanych przez innych autorów. Wilk i wsp. prowadząc pomiary u młodych atletek pomiędzy 10, a 12 tygodniem od zabiegu z obciążeniem 180°/s zanotował 30% ubytek siły mięśni zginaczy i prostowników kolana [11]. Neyberg i wsp. oraz Jamshidi i wsp. zarejestrowali znaczący deficyt siły mięśni prostowników stawu kolanowego (odpowiednio 36% i 24%) i nieznaczny lub jego brak mięśni zginaczy

DISCUSSION

Issues related to the treatment and rehabilitation of patients with anterior cruciate ligament injuries have recently been widely discussed in many scientific papers. Remarks about operative approaches, types of graft and the process of rehabilitation are as numerous as hospitals and rehabilitation centres offering care for the patients. The most controversial issues related to rehabilitation after ACL reconstruction concern choosing appropriate training, loads to be applied, restoring muscle strength with an optimal hamstring/quadriceps ratio and methods of monitoring the rehabilitation process. In the opinion of both scientists and patients, one of the basic problems is the long duration of rehabilitation, which requires patience, involvement, leave from work and considerable funds. These factors make the rehabilitation period shorter than necessary and make the patients resume daily physical activities before the remodeling of the grafted ligament is completed, which can lead to early wear of the joint in the future [3].

The results of our study show the extent of this problem. Despite patients' active participation in rehabilitation programmes, limitations in knee muscle activity resulting from, among others, the lack of possibility of fully loading the joint after ACL reconstruction and reduced physical activity caused by the sequelae of the injury (joint instability) and therapeutic procedures lead to a considerable decrease in muscle strength. Measurements performed at the end of the 12th rehabilitation weeks in 13 subjects indicate a significant deficit in the force-velocity parameters of the operated lower limb with regard to both extensors and flexors of the knee joint. All participants demonstrated decreases in peak torque, work and strength in the injured limb of over 30%. These results are similar to other authors' data. Wilk et al. [10] examined young athletes 10 to 12 weeks after surgery with 180°/s loads, noting a 30% decrease in the strength of the knee flexors and extensors. Neyberg et al. [11] and Jamshidi et al. [12] both registered a significant deficit in the strength of the knee extensors (36% and 24%, respectively) and an insignificant or no deficit in the knee flexors (15% and -1%, respectively). The tests were conducted 6 months after ACL reconstruction with 180°/s loads.

The deficits result in decreased protection of the newly grafted ligament, since strong muscles and their well-coordinated work prevent excessive slid-

(odpowiednio 15% i -1%) [12,13]. Badania prowadzone były 6 miesięcy po rekonstrukcji ACL z obciążeniem 180°/s.

Prezentowane deficyty powodują zmniejszoną ochronę dla nowo przeszczepionego więzadła, ponieważ silne mięśnie i dobrze skoordynowana ich praca hamują nadmierny ślizg w środkowych zakresach ruchu zgięcia chroniąc w ten sposób nowo przeszczepione więzadło przed działaniem sił ścinających. Przerwanie usprawniania na tym etapie mogłoby wiązać się z przeciążeniem przeszczepu, jego niewydolnością, a nawet uszkodzeniem. Brak właściwej siły mięśniowej może spowodować również przeciążenie innych części ciała, nieprawidłowy chód, wadliwe stereotypy ruchu w efekcie może predysponować do kolejnych urazów i przedwczesnego zużycia stawu [14].

Konieczne na tym etapie jest więc prowadzenie kontrolowanego treningu siłowego. Powoduje on wzrost średnicy włókna mięśniowego, zwiększa procent i szybkość rekrutowania jednostek motorycznych podczas skurczu. Trening mięśni prowadzi do zmian cech jednostek ruchowych, co wiąże się z nauką przystosowywania do nowych obciążeń w granicach uwarunkowanych genetycznie.

Bardzo ważnym zagadnieniem w procesie rehabilitacji pacjentów po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego jest odpowiedni bilans sił mięśni antagonistycznych działających w obrębie stawu kolanowego. Prostowniki stawu kolanowego mają zdolność osiągania wyższych momentów sił niż zginacze, mimo tego ruchy zginania i prostowania są wynikiem zrównoważonej koaktywacji dwóch przeciwnych grup mięśniowych w celu osiągnięcia efektywnego ruchu przy zachowaniu stabilności stawu [15].

Współpraca tych dwóch grup mięśni jest wynikiem nie tylko ich optymalnego poziomu wytrzymałości czy siły, ale również odpowiedniego unerwienia rdzeniowego włókien mięśniowych, ponieważ nawet prosta czynność agonisty jest związana z czynnością antagonisty, który dany proces kontroluje. Dzięki temu procesowi podczas skurczu jednej grupy mięśniowej grupa do niej antagonistyczna zostaje poprzez interneuron hamujący częściowo wyłączona, ale jednocześnie posiada pewien stan napięcia pochodzący z odruchu na rozciąganie. Jest to tzw. sprzężenie wzajemnie zwrotne. Taki układ gwarantuje płynność i precyzyjność każdego ruchu. Ograniczenie funkcji jednej z grup (agonistów lub antagonistów) powoduje przeciążenie. Układ zostaje poddany długotrwałemu przeciążeniu statycznemu, dynamicznemu lub psychogennemu, co prowadzi do zaburzenia równowagi mięśniowo-powięziowej [16].

W przeprowadzonych badaniach średnia różnica procentowego stosunku szczytowego momentu siły

ing in the middle motion ranges of flexion, thus protecting the new ligament from shearing forces. Discontinuing rehabilitation at this stage could lead to graft overload, graft failure or even injury. The absence of normal muscle strength may also cause excessive load on other body parts, abnormal gait, defective movement patterns, and, as a result, may lead to other injuries and early wear of the joint [13].

Therefore, it is necessary at this stage to conduct controlled strength training. Strength training increases muscle fibre diameter and improves the percentage and speed of motor unit recruitment during muscle contractions. Muscle training leads to changes in the properties of motor units, which is connected with learning to adapt to new loads within genetically conditioned limits.

A very important issue in the process of rehabilitation of patients following ACL reconstruction is maintaining an appropriate balance of strength between the knee flexor and extensor muscles. The knee extensors are capable of attaining higher torques than the flexors. Despite that, flexion and extension movements result from a balanced co-activation of the two antagonistic muscle groups aimed at achieving effective motion while preserving joint stability [14].

The cooperation between the two groups results not only from the optimal level of their endurance or strength, but also from appropriate spinal innervation of muscle fibres, since even a simple action performed by the agonist is controlled by the antagonist's activity. Owing to this process during a contraction of one muscle group, the antagonist group is partially switched off by an inhibitory interneuron, but at the same time it preserves a certain muscle tone associated with a stretch reflex. This is a feedback mechanism. This kind of relation guarantees smoothness and precision of each motion. Limiting the function of one of the groups (agonist or antagonist) causes an overload. The system is subjected to a long-lasting static, dynamic or psychogenic strain, leading to impairment of myofascial balance [15].

The study revealed that the mean difference of percentage ratio between the agonist and antagonist peak torques registered in the operated limb was significantly higher than the one registered in the non-operated limb, the values amounting to 46.7% and 40.1%, respectively. Both values are slightly lower than values obtained by other researchers during tests performed in healthy subjects using the same load. The mean ratio of extensor to flexor peak torques in other studies varied from 45 to 60% [12,16,17,18].

The finding of higher values of the H/Q ratio in the injured limb merits special attention. A similar relationship was observed by Kannus [19], who re-

agonistów do antagonistów okazała się istotnie wyższa dla kończyny operowanej w stosunku do nieoperowanej i wynosiła odpowiednio (46,7% i 40,1%). Obie wartości są nieznacznie niższe od wartości uzyskiwanych przez innych badaczy podczas badań osób zdrowych przy tym samym obciążeniu. Średni stosunek szczytowego momentu siły prostowników do zginaczy w przytaczanych badaniach wynosił pomiędzy 45-60% [13,17,18,19].

Zastanawiają wyższe wartości stosunku F/E uzyskane przez kończynę urazową. Podobną zależność zaobserwował Kannus, który zanotował również przy obciążeniu 180°/s wyższe wartości stosunku F/E kolana kontuzjowanego [20]. Lund-Hanssen i wsp. zaobserwowali podobne zależności [21]. Przy małych prędkościach nie odnotowano istotnych różnic pomiędzy kończynami, natomiast przy dużych prędkościach ruchu wartości wyższe zanotowano dla kończyny urazowej. Wyższe wartości stosunku F/E przy wyższych prędkościach tłumaczy się ograniczeniem czynności mięśnia czworogłowego uda, a w szczególności włókien szybkokurczliwych, które ulegają atrofii, co przyczynia się do zmiany wzorca ruchowego w przebiegu rehabilitacji. Stosunek F/E kończyny zdrowej powinien być celem do uzyskania podczas zabiegów fizjoterapeutycznych, oczywiście jedynie w przypadku, gdy w kończynie nieurazowej nie toczą się inne procesy patologiczne ograniczające jej sprawność [20]. W przypadku uszkodzeń ACL dominacja mięśnia dwugłowego uda może być pomocna w procesie stabilizacji stawu podczas ruchu szczególnie przy wyższych prędkościach. Tylna stabilizacja stawu poprzez działanie mięśnia dwugłowego może ograniczyć przesunięcia przednioboczne, zmniejszając tym samym ryzyko kontuzji [15, 22]. Niektórzy autorzy podają, że na tym etapie rehabilitacji stosunek szczytowych momentów sił mięśni zginaczy do prostowników może wynosić nawet 66-75% [11].

Po implantacji więzadło przechodzi zmiany komórkowe, takie jak rewaskularyzacja, czy unerwienie, co powoduje powstanie nowej tkanki. Całkowity proces odbudowy trwa 3 lata. Między 6 a 12 tygodniem od zabiegu proces przebudowy przebiega najgwałtowniej i wtedy też więzadło jest najmniej odporne mechanicznie. Podaje się, iż wytrzymałość przeszczepu spada wtedy nawet czterokrotnie w porównaniu do wartości wyjściowej [9]. Z tego względu 13 tydzień po rekonstrukcji to czas, w którym po raz pierwszy po zabiegu pacjent może wykonywać ćwiczenia w otwartych łańcuchach biokinematycznych, a tym samym to pierwszy moment w którym możemy przeprowadzić rzetelną ocenę stanu układu mięśniowego oczywiście jedynie z właściwie dobranym obciążeniem. Ocena funkcji mięśni działających

portował wyższe H/Q ratio in the ACL-deficient knee also at 180°/s loads. Lund-Hanssen et al. [20] also describe similar findings. No significant differences between the limbs were found at lower velocities, while higher velocities were associated with higher values registered in the injured knees. Higher H/Q ratios at higher angular velocities are said to be caused by a limitation of quadriceps function, in particular of the activity of atrophied fast-twitch fibres, which leads to a change in the motion pattern during rehabilitation. Achieving the H/Q ratio values of the healthy limb should be the goal of rehabilitation programmes only if, obviously, there are no other pathological processes in the non-ACL-deficient knee that would limit its functional performance [19]. In the case of ACL injuries, biceps femoris dominance can be helpful in the process of joint stabilization during motion especially at higher velocities. Posterior joint stabilization brought about by biceps activity can limit anterolateral displacements, thus reducing the risk of contusion [14,21]. Some authors report that the ratio of flexor to extensor peak torques may amount to as much as 66-75% at this stage of rehabilitation (Wilk [10]).

After implantation the ligament undergoes cellular processes such as revascularization or innervation, resulting in the formation of new tissue. The remodelling process takes 3 years to complete. The period between the 6th and 12th week after surgery is the phase of the most intensive healing during which the ligament's resistance to mechanical injury is at its lowest. It is reported that the graft's resistance is four times lower in comparison to baseline at that time [8]. Therefore, the 13th week post reconstruction is when the patient may begin open-chain exercises and, consequently, it is the time when a reliable assessment of the muscular system can first be performed. However, only appropriately selected loads can be used. Evaluation of knee muscle function makes it possible to safely continue rehabilitation owing to the choice of appropriate loads and exercise types. The patient may resume sporting activities once the results of functional tests for the injured limb have achieved 85-90% of the healthy limb values. The 30% deficit in the force-velocity parameters in the ACL-injured knee in comparison to the healthy limb registered in the present study demonstrates how much time and effort it takes for the patient to be able to resume normal physical activity.

Nyberg et al. [11] showed that reaching a level of force-velocity parameters comparable to values registered in the healthy limb is not always an easy and short process. Measurements conducted every year over ten years involving 63 patients after ACL recon-

na staw kolanowy pozwoli na bezpieczne kontynuowanie procesu usprawniania, poprzez dobór właściwych obciążeń i rodzajów ćwiczeń. Wyniki testów funkcjonalnych kończyny urazowej w granicach 85-90% w stosunku do kończyny nieurazowej pozwalają na powrót do uprawiania sportu. Ponad 30% deficyt parametrów F-v kończyny uszkodzonej w porównaniu z kończyną zdrową wykazany w badaniach własnych, uzmysławia jak długą drogę mają przed sobą pacjenci by mogli wrócić do normalnej aktywności fizycznej.

Badania prowadzone przez Nyberg i wsp. pokazują, że cel, jakim jest osiągnięcie wartości parametrów F-v porównywalnych z uzyskanymi przez kończynę zdrową nie zawsze jest łatwe i krótkotrwałe [12]. W prowadzonych corocznie przez 10 lat pomiarach obejmujących 63 pacjentów po rekonstrukcji ACL wartości maksymalnego momentu siły mięśni prostowników stawu kolanowego uzyskane przez kończynę urazową, przy obciążeniu 180°/s wynosiły: po roku od zabiegu – 80%, po 2 latach – 87%, po 3 latach 86% i po 10 latach 90% wartości uzyskanych w tych samych warunkach przez kończynę zdrową.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania wykazują istotnie niższe wartości analizowanych parametrów siłowo – prędkościowych uzyskanych przez mięśnie zginacze i prostowniki kończyny po rekonstrukcji w porównaniu z kończyną zdrową. Ograniczenie funkcji w większym stopniu obejmuje mięsień czworogłowy uda.
2. Mimo małej liczebności grupy badanych, przeprowadzone testy wykazują, że rzetelna ocena funkcji mięśni działających na staw kolanowy u pacjentów po rekonstrukcji ACL pozwala na określenie skali deficytów w parametrach siłowo-prędkościowych, a tym samym umożliwia zindywidualizowany dobór optymalnego dla pacjenta programu usprawniania.

PIŚMIENNICTWO / REFERENCES

1. Stolarczyk A, Kamińska M, Deszczyński J, Nagraba Ł. Pomiary siły mięśniowej i skala IKDC w obiektywnej i subiektywnej ocenie leczenia usprawniającego po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego przeszczepem z ST/G. *Artroskopia i chirurgia stawów*, 2007; 3: 26- 33.
2. Adamczyk G. Diagnostyka kliniczna uszkodzeń więzadeł krzyżowych stawu kolanowego. *Acta Clinica* 2001; 1: 294- 306.
3. Czamara A. Zmiany wartości momentów sił mięśni w programie fizjoterapii po rekonstrukcjach więzadeł krzyżowych przednich stawów kolanowych. *Fizjoterapia Polska* 2002; 4: 263- 272.
4. Dzierżanowski M, Hagner W, Biliński P, Talar J. Propriocepcja jako jeden z czynników decydujących o modelu usprawniania rehabilitacyjnego pacjentów po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego. *Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja* 2003; 4: 534- 538.
5. Draper V, Ladd C, Subjective Evaluation of Function Following Moderately Accelerated Rehabilitation of ACL Reconstructed Knees. *Journal of Athletic Training* 1993; 1: 38- 41.
6. Dzierżanowski M, Molski P, Bieńkowska A, Kazimierzczak U, Hagner W. Wieloaspektowe spojrzenie na proprioceptywne kształtowanie siły mięśniowej w procesie rehabilitacji pacjentów po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego. *Kwart Ortopedyczny* 2006; 1: 18- 25.

struction showed the following peak torque values of the knee extensors in the operated limb at 180°/s loads: one year after surgery – 80%, after 2 years – 87%, after 3 years – 86% and after 10 years - 90% of the values registered in the healthy limb under the same conditions.

CONCLUSIONS

1. The examination revealed significantly lower values of the force-velocity parameters of the knee flexors and extensors in the operated limb in comparison to the healthy limb. Functional impairment was seen predominantly in the quadriceps femoris.
2. In view of the small sample size, these conclusions should be treated as preliminary and should prompt further studies. They demonstrate, however, that reliable assessment of knee muscle function in patients after ACL reconstruction allows determination of the degree of deficit in the force-velocity parameters, making it possible to design an optimal rehabilitation programme for each patient.

7. Jędrzyk M, Noga H, Żerbiec J. Rekonstrukcja więzadła krzyżowego przedniego z użyciem pasma centralnego więzadła rzepki. *Acta Clinica* 2002; 1: 26-32.
8. Souryal T. Anterior cruciate ligament injury, 2006. www.emedicine.com.
9. Pasierbiński A., Jarząbek A. Rehabilitacja po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego. *Acta Clinica* 2002; 1: 86- 100.
10. Davies G. A compendium of isokinetics in clinical usage and rehabilitation techniques, USA: S and G Publishers, 1992.
11. Wilk K, Arrigo C, Andrews J, Clancy W. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction in the female athlete. *Journal of Athletic Training* 1999; 34: 177- 193.
12. Nyberg B, Granhed H, Peterson K, Piros C, Svantesson U. Muscle strength and jumping distance during 10 years post ACL reconstruction. *Isokinetics and Exercise Science* 2006; 14: 363-370.
13. Jamshidi A, Olyaei G, Heydari K, Talebian S. Isokinetic and functional parameters in patients following of the anterior cruciate ligament. *Isokinetics and Exercise Science* 2005; 13: 267-272.
14. Bronikowski A, Ziółkowski M, Irańska D, Surowiecki R, Leszczyński J, Nagraba Ł. Wyniki leczenia uszkodzonego więzadła krzyżowego przedniego w aspekcie Evidence Based Medicine. *Artroskopia i chirurgia stawów* 2007; 3: 10- 15.
15. Eleftherios K, Athanasios K. Quantification of functional knee flexor to extensor moment ratio using isokinetics and electromyography. *Journal of Athletic Training* 2007; 4: 477- 485.
16. Szulc H. Usprawnianie autokontroli ekscentryczne czynności mięśni tonicznych w postępowaniu z pacjentami w stanach ostrych, przewlekłych i w procesie terapii statycznej nierównowagi mięśniowej. *Terapia manualna w modelu holistycznym* 2002; 3: 49- 51.
17. Holmes J. Isokinetic strenght characteristics of the quadriceps femoris and hamstring muscles in high school students. *Physical Therapy* 1984; 6: 914-918.
18. Rosene J, Fogarty T, Mahaffey B. Isokinetic Hamstrings: Quadriceps ratio in intercollegiate athletes. *Journal of Athletic Training* 2001; 4: 378-383.
19. Zakas A, Galazoulas C, Doganis G, Zakas N. Bilateral peak torque of the knee extensor and flexor muscles in elite and amateur soccer players. *Physical Training* 2005; 8: 21-25.
20. Kannus P. Ratio of hamstring to quadriceps femoris muscles' strength in the anterior cruciate ligament insufficient knee: relationship to long – term recovery. *Phys Ther* 1988; 69: 961-965.
21. Lund – Hanssen H, Gannon J, Engebretsen L, Holen K, Hammer S. Isokinetic muscle performans in haelthy female handball players and players with a unilateral anterior cruciate ligament reconstruction. *Scand J Med Sci Sports* 1996; 6: 172: 175.
22. Corrigan J, Cashman W, Brady M. Proprioception in the cruciate deficient knee. *J Bone Joint Surg Br* 1992; 74: 247-250.

| | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Liczba słów/Word count: 6303 | Tabele/Tables: 3 | Ryciny/Figures: 0 | Piśmiennictwo/References: 22 |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------------|

Adres do korespondencji / Address for correspondence

dr Małgorzata Stefańska, e-mail malgorzata.stefanska@awf.wroc.pl

Akademia Wychowania Fizycznego, Wydział Fizjoterapii

51-612 Wrocław, al. I.J. Paderewskiego 35 (budynek P4), tel./fax: (0-71) 347-30-46

Otrzymano / Received

10.12.2008 r.

Zaakceptowano / Accepted

24.03.2009 r.

