

Wpływ różnorodnych form ćwiczeń fizycznych na aktywność bioelektryczną mięśnia czworogłowego uda. Doniesienie wstępne

Influence of Various Forms of Physical Exercise on Bioelectric Activity of Quadriceps Femoris Muscle. Pilot Study

Adam Bronikowski^{1(A,B,C,D,E,F)}, Maria Kłoda^{2,3(A,B,D,E)}, Monika Lewandowska^{2(B,C,D,E)},
Magda Kamińska^{1(B,D,E,F)}, Artur Stolarczyk^{3(A,D,E,F)}, Jarosław Deszczyński^{1(A,D,E,F)}

¹ Klinika Ortopedii i Rehabilitacji II WL Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

² Zakład Rehabilitacji Oddziału Fizjoterapii II WL Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

³ Zakład Rehabilitacji Klinicznej Oddziału Fizjoterapii II WL Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

¹ Department of Orthopaedics and Rehabilitation, 2nd Faculty of Medicine, Medical University of Warsaw

² Division of Rehabilitation, Department of Physiotherapy, 2nd Faculty of Medicine, Medical University of Warsaw

³ Division of Clinical Rehabilitation, Department of Physiotherapy, 2nd Faculty of Medicine, Medical University of Warsaw

STRESZCZENIE

Wstęp. W ostatnim czasie obserwowany jest dynamiczny rozwój technik leczniczych w obrębie stawu kolanowego. Interwencje chirurgiczne stają się coraz mniej inwazyjne, a jednocześnie coraz bardziej różnorodne, dzięki czemu przed pacjentami pojawia się możliwość korzystania z życia bez żadnych ograniczeń. Dzieje się tak dzięki postępowi w diagnostyce oraz rozwojowi bioinżynierii. Postępowanie usprawniające musi być ściśle dopasowane do wybranego sposobu leczenia oraz do pacjenta, jego trybu życia i oczekiwań. Cel pracy to ocena różnorodnych form aktywności fizycznej stosowanych podczas usprawniania po zabiegach w obrębie stawu kolanowego pod kątem aktywności elektrycznej mięśnia czworogłowego uda.

Materiał i metody. Badaną grupę stanowiło 28 zdrowych osób (13 mężczyzn i 15 kobiet) w wieku 21 do 29 lat. Badanym polecono wykonanie 17 stosowanych najczęściej podczas usprawniania osób po zabiegach w obrębie stawu kolanowego aktywności kinezyterapeutycznych. Podczas ćwiczeń rejestrowano przezskórne EMG (sEMG) dla mięśni obszernego przysródkowego (VM) i obszerne boczne (VL).

Wyniki. Największą aktywność mięśnia obserwowano przy ćwiczeniach izometrycznych wykonywanych w wyproście stawu. Podobną aktywność obserwowano przy ćwiczeniach izometrycznych wykonywanych z oporem dla mm przywodzicieli i odwodzicieli. Dla ćwiczeń w otwartym łańcuchu kinetycznym (OKC) uzyskano równie wysokie wartości.

Wnioski. Badanie wykazało przydatność testowanych ćwiczeń jako użytecznych w usprawnianiu pooperacyjnym po zabiegach w obrębie stawu kolanowego. Ze względu na generowanie małych obciążeń najlepiej działającymi w pierwszej fazie pooperacyjnej są ćwiczenia izometryczne wykonywane z wyprostowanym kolaniem, ewentualnie z oporem dla mm. przywodzicieli i odwodzicieli stawu biodrowego.

Słowa kluczowe: mięsień czworogłowy, kinezyterapia, kolano, sEMG

SUMMARY

Background. Recent years have seen a dynamic development of treatment methods targeting the knee joint region. Surgical interventions are becoming increasingly less invasive, being at the same time ever more diverse, which offers the patients possibility of living their lives without any limitations. This is being made possible thanks to diagnostic progress and advances in bioengineering. A rehabilitation programme has to be tailored to the chosen method of treatment, to each patient, his/her lifestyle and expectations. The objective of the present study is to evaluate various forms of physical activity used in rehabilitation following knee surgery with regard to the electrical activity of the quadriceps femoris muscle.

Material and methods. The study group was composed of 28 healthy adults (13 men and 15 women) aged 21 to 29 years. The participants were asked to perform 17 kinesiotherapeutic activities that are most commonly administered in the rehabilitation of patients following knee surgery. During the exercises, percutaneous EMG (sEMG) traces were obtained for the vastus medialis (VM) and vastus lateralis muscle (VL).

Results. Activity of the quadriceps femoris muscle was highest during isometric exercises performed in extension. Similar activity levels were noted during isometric exercises against resistance applied to the adductor and abductor muscles. Equally high values were obtained during open kinetic chain exercises.

Conclusions. The study revealed that the exercises under investigation were useful in postoperative rehabilitation following knee surgery. Isometric exercises performed with the knee in extension and possibly with resistance applied to the adductor and abductor muscles of the hip are the most effective in the early postoperative phase because they generate only minor loads.

Key words: quadriceps femoris muscle, kinesiotherapy, knee, sEMG

WSTĘP

Nowoczesna, szybka rehabilitacja stawu kolanego zapoczątkowana została przez Shelbourne [1-4]. W swoich obserwacjach potwierdził szybszy powrót do zdrowia pacjentów, którzy „wyprzedzali” przepisany im program rehabilitacji i poszczególne czynności podejmowali wcześniej. Od tego czasu protokoły rehabilitacyjne zakładają wczesny ruch oraz jak najszybszą mobilizację ze szczególnie starannym uwzględnieniem biomechaniki i fizjologii gojącej się tkanki. Taki sposób postępowania zapewnia pełne wyzdrowienie w optymalnym czasie oraz zapobiega szkodliwemu wpływowi przedłużającego się unieruchomienia.

Niezależnie od typu interwencji chirurgicznej powrót do pełni zdrowia zakłada przywrócenie zakresu ruchu, odbudowę siły i objętości mięśni oraz reedukację czucia kinestetycznego. Cele te realizowane są poprzez stosowanie różnorodnych technik terapeutycznych rozwijających wspomniane cechy.

Protokoły rehabilitacyjne stosowane po zabiegach chirurgicznych w obrębie kolana są zróżnicowane ze względu na czas wprowadzania poszczególnych aktywności, zwiększania zakresu ruchu oraz pełnego obciążania kończyny. Różnice te wynikają z konieczności ochrony tkanek, których dotyczył zabieg [5-9].

Wspólnym mianownikiem wszystkich programów usprawniania są ćwiczenia przywracające prawidłową czynność mięśnia czworogłowego uda (QF). Upośledzenie jego funkcjonowania przejawia się między innymi zmniejszeniem siły generowanej przez mięsień, zaburzeniem balansu mięśniowego pomiędzy poszczególnymi jego częściami oraz zmianą parametrów pracy podczas różnych rodzajów skurczu (izometryczny, koncentryczny, ekscentryczny) [10-12]. Przywrócenie prawidłowej funkcji mięśnia QF jest jednym z podstawowych celów rehabilitacji dysfunkcyjnego kolana. W tym celu stosowane są bardzo różnorodne aktywności, takie jak ćwiczenia izometryczne, ćwiczenia w otwartym łańcuchu kinetycznym (OKC – open kinetic chain), elementy metod terapeutycznych (np. proprioceptywnego torowania nerwowo mięśniowego – PNF) oraz ćwiczenia na rowerze rehabilitacyjnym.

Dobór ćwiczeń powinien zapewnić jak najszybszy powrót funkcji mięśnia w jak najbezpieczniejszy dla pacjenta sposób, z uwzględnieniem rodzaju zabiegu oraz czasu, jaki od niego upłynął. Wiele dostępnych prac analizuje poszczególne ćwiczenia i czynności życiowe pod kątem aktywności mięśnia czworogłowego, jednakże brakuje badań porównujących je między sobą.

Celem pracy była ocena różnorodnych form aktywności fizycznej stosowanych podczas usprawniania

BACKGROUND

The modern approach advocating early rehabilitation of the knee was introduced by Shelbourne [1-4]. In his observations, Shelbourne confirmed quicker recovery in patients who were ahead of their rehabilitation programme, attempting particular activities earlier than prescribed. Since that time, rehabilitation protocols have been based on early physical activity and the quickest mobilization possible, with particular emphasis on careful attention to the biomechanics and physiology of the healing tissue. This approach provides for full recovery within an optimal period of time and prevents the adverse impact of prolonged immobilization.

Regardless of the type of surgical intervention, complete recovery includes the restoration of the range of motion and muscle strength, the restoration of muscle bulk, and kinesthetic reeducation. These objectives are achieved by the use of diverse therapeutic techniques that stimulate the development of the above-mentioned features.

Rehabilitation protocols applied following knee surgery differ in terms of the timing of particular exercises, increasing the range of motion and allowing for full weight bearing of the extremity. The differences arise from the need to protect the tissues that were operated on [5-9].

A feature all rehabilitation programmes share is the use of exercises to restore normal function of the quadriceps femoris muscle (QF). Signs of QF dysfunction include decreased force generated by the muscle, imbalance between different parts of the muscle and change of muscle work parameters during different types of contraction (isometric, concentric, eccentric) [10-12]. One of the main goals of the rehabilitation of a dysfunctional knee is to restore the normal function of the QF muscle. To this end, diverse activities are applied, including isometric exercises, open kinetic chain exercises (OKC), elements of therapeutic methods (e.g. proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF)), and exercises performed on a stationary rehabilitation bicycle.

The selection of exercises should provide for the fastest possible restoration of muscle function in a manner as safe as possible for the patient, and should account for the type of surgery and the length of the postoperative period. Many papers have analysed different exercises and activities of daily living with regard to quadriceps femoris activity; however, no studies have directly compared various activities.

The objective of the present study was to evaluate various forms of physical activity used in rehabilitation following knee surgery with regard to the electrical activity of the quadriceps femoris muscle.

nia pooperacyjnego po zabiegach w obrębie stawu kolanowego pod kątem aktywności elektrycznej mięśnia czworogłowego uda.

MATERIAŁ I METODY

Badaną grupę stanowiło 28 ochotników (13 mężczyzn i 15 kobiet) w wieku od 21 do 29 lat średnio 24,3 (SD 2,21). Warunkiem udziału w badaniu był brak obecności lub w przeszłości jakichkolwiek dolegliwości ze strony kończyn dolnych, a w szczególności stawów kolanowych. Badano kończynę dominującą (wyboru dokonano przez zadanie pytania: Którą nogą kopiesz piłkę?). Badanym polecono wykonanie 17 następujących po sobie ćwiczeń w różnorodny sposób angażujących mięsień czworogłowy uda. Doboru ćwiczeń dokonano na podstawie protokołów rehabilitacyjnych stosowanych w Klinice Ortopedii i Rehabilitacji II Wydziału Lekarskiego Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego (testowane ćwiczenia przedstawia Tabela 1). Pierwsze ćwiczenie powtórzono na końcu celem weryfikacji zmęczenia.

MATERIAL AND METHODS

The study group was composed of 28 volunteers (13 men and 15 women) aged 21 to 29 years (mean age = 24.3 years, SD = 2.21). The inclusion criterion was the absence of any history of current or past medical conditions of the lower extremities, especially of the knee joint. The dominant extremity was examined (the dominance was determined by asking the question: Which leg do you use to kick a ball?). The participants were asked to perform a series of 17 successive exercises engaging the quadriceps femoris in different ways. The selection of exercises was based on the rehabilitation protocols used at the Department of Orthopaedics and Rehabilitation of the 2nd Faculty of Medicine at the Medical University of Warsaw (see Table 1 for a list of the exercises). The first exercise was repeated at the end to verify the level of fatigue.

Tab. 1. Zestawienie aktywności podczas których dokonano pomiaru potencjałów sEMG

Tab. 1. List of exercises during which sEMG potentials were measured

Ćwiczenia 1-3, 18 Exercises 1-3, 18	Napięcie izometryczne mięśnia czworogłowego wykonane z synergią zgięcia grzbietowego stopy (0°, 45°, 90°) Isometric tensing of the quadriceps femoris muscle with simultaneous dorsal flexion of the foot (0°, 45°, 90°).
Ćwiczenia 4-6 Exercises 4-6	Napięcie izometryczne mięśnia czworogłowego wykonane z synergią zgięcia grzbietowego stopy. Dodatkowo zastosowano opór dla mięśni przywodzących staw biodrowy - ściskanie wałka pomiędzy udami (0°, 45°, 90°) Isometric tensing of the quadriceps femoris muscle with simultaneous dorsal flexion of the foot. Additionally, resistance was applied to hip adductors and abductors by having the patient clamp a roll between the thighs (0°, 45°, 90°).
Ćwiczenia 7-9 Exercises 7-9	Napięcie izometryczne mięśnia czworogłowego wykonane z synergią zgięcia grzbietowego stopy. Dodatkowo zastosowano opór dla mięśni odwodzących staw biodrowy - rozciąganie paska założonego na uda (0°, 45°, 90°). Isometric tensing of the quadriceps femoris muscle with simultaneous dorsal flexion of the foot. Additionally, resistance was applied to hip adductors and abductors by having the patient stretch a belt placed around the thighs (0°, 45°, 90°).
Ćwiczenie 10 Exercise 10	Element PNF. Dynamiczne przejścia ze wzorca zgięcie przywiedzenie rotacja zewnętrzna do wzorca zgięcie odwiedzenie rotacja wewnętrzna: "kołyska". PNF element. Dynamic transition from the pattern of flexion-adduction-external rotation to flexion-abduction-internal rotation: "cradle".
Ćwiczenie 11 Exercise 11	Wciskanie piłki pezzi (Φ55cm) w ścianę w pozycji leżenia tyłem ze stawami biodrowym i kolanowym zgiętymi do kąta 90°. Pushing the Pezzi ball (Φ55cm) against the wall in a supine position with the hip and knee joint in flexion up to 90°.
Ćwiczenie 12 Exercise 12	Wciskanie piłki pezzi (Φ55cm) w podłogę w pozycji siedzącej ze stawami biodrowym i kolanowym zgiętymi do kąta 90°. Pushing the Pezzi ball (Φ55cm) against the floor in a sitting position with the hip and knee joint in flexion up to 90°.
Ćwiczenie 13 – 15 Exercise 13-15	Napięcie mięśnia czworogłowego przeciw oporowi zewnętrznemu w otwartym łańcuchu kinetycznym (90°, 45°, 15°) Quadriceps femoris tensing against external resistance in the open kinetic chain (90°, 45°, 15°).
Ćwiczenie 16 Exercise 16	Element PNF. Stabilizacja rytmiczna wykonana na niestabilnej powierzchni (BOSU) w pozycji stojąc. PNF element. Rhythmical stabilization performed on an unstable surface (BOSU) in a standing position.
Ćwiczenie 17 Exercise 17	Jazda na rowerze stacjonarnym na "jałowym" biegu. Riding a stationary bicycle in the neutral gear.

Podczas wykonywania ćwiczeń dokonano rejestracji sygnału przezskórnego EMG (sEMG) za pomocą urządzenia Neuro Track ETS (Verity Medical, Wielka Brytania) dla mięśni obszernego bocznego (VL) oraz obszernego bocznego (VM). Przed przyklejeniem elektrod skórę odłuszczone (alkohol) oraz usunięto zrogowaciałą warstwę naskórka (intensywne pocieranie gazikiem). Elektrody umiejscowiono zgodnie ze standardami SENIAM [13]. Dla mięśnia VM elektrody sygnałowe zostały umieszczone w 80% odległości pomiędzy kolcem biodrowym przednim górnym a szparą stawową, na przednim brzegu więzadła poboczne piszczelowe. Dla mięśnia VL elektrody sygnałowe umieszczono w 2/3 linii pomiędzy kolcem biodrowym przednim górnym a boczną powierzchnią rzepki. Elektrody sygnałowe zorientowano równolegle do włókien mięśniowych. Elektroda referencyjna została umieszczona na kostce bocznej. Elektrody sygnałowe umieszczono w odległości 20 mm (środek do środka). Dla ćwiczeń nr 1-9, 11-15 posłużono się standaryzowanym protokołem 3 naprzemiennych cykli 5 sekundowego napięcia i 10 sekundowej przerwy, za wynik uznano średnią z pomiarów (z dokładnością $1\mu\text{V}$). Dla ćwiczeń nr 10, 16, 17 posłużono się zapisem otwartym w czasie 30 s, za wynik uznano średnią z pomiaru (z dokładnością $1\mu\text{V}$). Obróbkę i zapis sygnału wykonano za pomocą oprogramowania Neuro Track ETS Myo Plus (Licencja nr 111-560273-207). Analizę statystyczną wykonano za pomocą oprogramowania Statistica 9 PL na licencji WUM. Do analizy danych wykorzystano test t dla grup zależnych. Za istotne uznano wyniki z $p \leq 0,05$.

WYNIKI

Badanie wykazało zwiększenie aktywności mięśnia czworogłowego w stosunku do spoczynkowej podczas wszystkich wykonywanych aktywności (pełne zestawienie średnich wartości z przeprowadzonych pomiarów przedstawia Tabela 2).

Największy wzrost zaobserwowano dla ćwiczenia nr 1. Wraz ze wzrostem kąta zgięcia stawu kolanowego wartości potencjałów malały w stosunku do wykonania aktywności ze stawem kolanowym w wyproście (ćwiczenia nr 2, 3, 5, 6, 8, 9), co było istotne statystycznie. Różnice potencjałów pomiędzy ćwiczeniami 1, 4 i 7 były istotne statystycznie zarówno dla bocznej, jak i przyśrodkowej części mięśnia, co pozwala sklasyfikować ćwiczenie nr 1 jako najbardziej aktywizujące mięsień czworogłowy.

During the exercises, percutaneous EMG (sEMG) traces were obtained for the vastus lateralis (VL) and vastus medialis muscle (VM) with a Neurotrac ETS machine (Verity Medical, United Kingdom). Before attaching the electrodes, the skin was degreased with alcohol and calloused epidermis was removed by intensely rubbing with a gauze pad. The electrodes were placed according to the SENIAM standards [13]. The signal electrodes for the VM [w oryginalne dwa razy pojawia się VM muscle, ale musi chodzić o dwa różne mięśnie] muscle were placed at 80% of the distance between the anterior superior iliac spine and the joint space along the anterior rim of the medial collateral ligament. The signal electrodes for the VL muscle were placed at 2/3 of the distance between the anterior superior iliac spine and the lateral surface of the patella. The signal electrodes were oriented parallel to the muscle fibres. A reference electrode was placed on the lateral malleolus. The signal electrodes were placed at a distance of 20 mm between electrode centres. A standardized protocol of 3 cycles of 5-second voltage and 10-second interruption was used for the exercises no. 1-9 and 11-15. The result was calculated as the mean value from all the measurements (to an accuracy of $1\mu\text{V}$). Exercises no. 10, 16 and 17 were assessed on the basis of a 30-second continuous trace. The result was the mean value (to an accuracy of $1\mu\text{V}$). Signals were processed and recorded using Neurotrac ETS Myo Plus software (Licence No. 111-560273-207). Statistical analysis was conducted with Statistica 9 PL software licensed to the Medical University of Warsaw. Data analyses relied on the t test for dependent groups, with $p \leq 0.05$ as the threshold value for statistical significance.

RESULTS

Increased quadriceps femoris activity was noted during all the exercises performed as compared to resting activity (a complete list of mean values from the measurements is presented in Table 2).

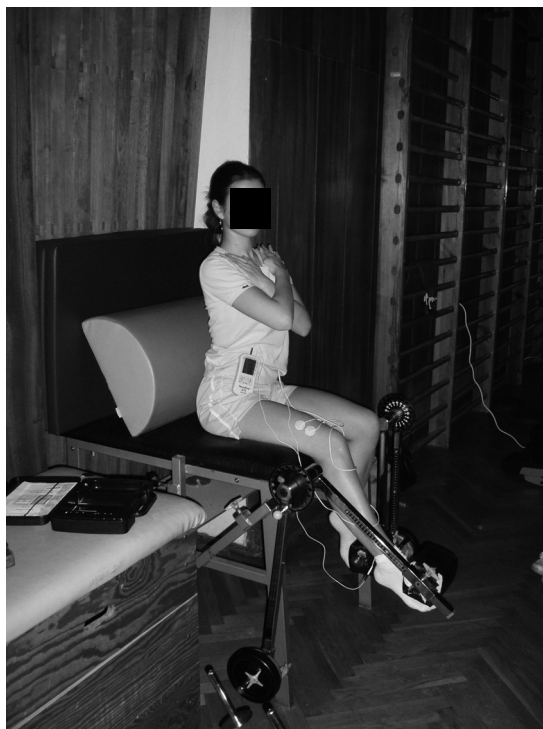
The highest increase was noted during exercise no. 1. As the angle of knee flexion increased, the values of potentials decreased compared to the exercises performed with the knee in extension (no. 2, 3, 5, 6, 8, 9), which was statistically significant. The differences between potentials in exercises no. 1, 4 and 7 were statistically significant both for the lateral and medial part of the muscle, which allows exercise no. 1 to be regarded as the exercise that activates the quadriceps femoris muscle the most.

Similarly high values were registered during the open kinetic chain exercises (no. 13, 14, 15). A com-

Tab. 2. Zestawienie średnich wartości z przeprowadzonych pomiarów

Tab. 2. List of mean values from the measurements

Numer ćwiczenia Exercise number	1		2		3		4		5		6	
Średnia z pomiaru (μV) Mean of all measurements (μV)	VM	VL	VM	VL	VM	VL	VM	VL	VM	VL	VM	VL
	176,08 (SD 65,12)	213,35 (SD 112,55)	42,62 (SD 34,73)	40,92 (SD 38,29)	52,07 (SD 43,48)	47,57 (SD 40,20)	127,45 (SD 70,19)	153,93 (SD 94,66)	34,30 (SD 24,07)	32,57 (SD 27,46)	41,61 (SD 33,16)	37,49 (SD 30,09)
Numer ćwiczenia Exercise number	7		8		9		10		11		12	
Średnia z pomiaru (μV) Mean of all measurements (μV)	VM	VL	VM	VL	VM	VL	VM	VL	VM	VL	VM	VL
	129,38 (SD 53,22)	176,97 (SD 92,56)	43,09 (SD 35,44)	26,90 (SD 19,25)	57,53 (SD 44,73)	33,29 (SD 29,42)	49,78 (SD 23,08)	58,73 (SD 34,20)	75,53 (SD 32,94)	80,4 (SD 44,95)	60,07 (SD 27,2)	64,24 (SD 28,05)
Numer ćwiczenia Exercise number	13		14		15		16		17		18	
Średnia z pomiaru (μV) Mean of all measurements (μV)	VM	VL	VM	VL	VM	VL	VM	VL	VM	VL	VM	VL
	158,1 (SD 62,58)	187,64 (SD 90,43)	127,49 (SD 40,57)	155,43 (SD 37)	151,91 (SD 65,6)	186,33 (SD 97,15)	83,14 (SD 40,87)	101,41 (SD 60,96)	44,26 (SD 20,59)	47,51 (SD 24,07)	182,71 (SD 67,31)	217,43 (SD 105,3)

Ryc. 1. Ćwiczenie nr 13, napięcie mięśnia czworogłowego przeciw oporowi zewnętrznemu w otwartym łańcuchu kinetycznym (45°) – materiał własnyFig. 1. Exercise no. 13, tensing the quadriceps femoris against external resistance in an open kinetic chain (45°) – own material

Podobnie wysokie wartości uzyskano dla ćwiczeń w otwartym łańcuchu kinetycznym (13,14,15).

Porównanie potencjałów uzyskanych przy ćwiczeniach 1 i 18 (powtórzone ćwiczenie 1) okazała się nie istotna statystycznie, co wykluczyło wpływ zmęczenia lub rozgrzania się mięśni na wynik pozostałych prób.

Comparison of potentials obtained during exercises no. 1 and 18 (exercise no. 1 repeated) revealed statistically non-significant differences, which rules out an effect of fatigue or muscle warm-up on the results of the other exercises.

DYSKUSJA

Celem pracy było wskazanie aktywności mięśnia czworogłowego, które w największym stopniu aktywizują go, a tym samym zapewniają optymalny przebieg usprawniania pooperacyjnego. Aktywnością, która wywoła największy potencjał było ćwiczenie nr 1. Jest to powszechnie stosowana aktywność zalecana u prawie wszystkich pacjentów usprawnianych z powodu dysfunkcji kolana. Badania przeprowadzone przez Ostermeiera i wsp. wykazały występowanie zwiększonej siły przemieszczającej piszczel ku przodowi przy napięciu mięśnia czworogłowego poniżej 20° zgięcia kolana [14]. Jest to szczególnie niebezpieczne dla pacjentów po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego, ponieważ może prowadzić do rozciągnięcia przeszczepu i w konsekwencji do wtórnej niestabilności stawu. Siła ta zmniejszała się, gdy napięcie prostownika uzupełniało napięcia zginaczy. Nakajima i wsp. w swoich badaniach wykazali wpływ ułożenia kończyny kontralateralnej na napięcie zginaczy. Aby zabezpieczyć piszczel przed przodoprzemieszczeniem (poprzez zwiększenie aktywności zginaczy) autorzy ci zaproponowali utrzymywanie kończyny kontralateralnej w zgięciu w stawach biodrowym i kolanowym podczas wykonywania ćwiczeń izometrycznych [15]. Ponadto badania Ostermeiera i wsp. wykazały zwiększenia maksymalnej siły mięśnia czworogłowego o 19,9% przy pomiarze ze współskurczem zginaczy, co nie miało zastosowania w tej pracy, a mogło mieć wpływ na uzyskiwane podczas pomiarów wartości [16]. Z kolei Li i wsp. wykazali zwiększenie ciśnienia kontaktu w stawie rzepkowo-udowym przy jednoczesnej aktywności m. czworogłowego i zginaczy w odniesieniu do izolowanej czynności m. czworogłowego [17]. Wynikało to ze zwiększonej translacji tylnej piszczeli. Klinicznie sugeruje to niekorzystny wpływ współskurczu zginaczy kolana na zrekonstruowane więzadło krzyżowe tylne oraz na dolegliwości ze strony stawu rzepkowo-udowego. We wcześniejszych doniesieniach sugerowano dodatnią korelację pomiędzy napięciem przywodzicieli stawu biodrowego, a pracą mięśnia obszernego przyśrodkowego, co nie ma odzwierciedlenia w naszych wynikach [18]. Różnica wynika prawdopodobnie z różnic w protokołach badawczych, w cytowanych pracach pomiarów dokonywano w ruchu lub pod obciążeniem masą ciała. Wysokie wartości indukcji zaobserwowaliśmy dla ćwiczeń w otwartym łańcuchu kinematycznym. Według Masona i wsp. siła reakcji stawu rzepkowo-udowego rośnie wraz ze zwiększaniem się kąta zgięcia kolana, a swój szczyt osiąga ok. 100° [19]. Klinicznie ćwiczenia w OKC przy dużym kącie zgięcia (ćwi-

DISCUSSION

The objective of the study was to indicate those activities of the quadriceps femoris muscle that would activate it most strongly, thus providing for optimal postoperative rehabilitation. Exercise no. 1 induced the highest potential. This is a widely used exercise that is recommended for almost all patients rehabilitated due to knee dysfunction. Ostermeier et al. revealed that there is an increased force that moves the tibia forward when the quadriceps femoris muscle is tensed below 20° knee flexion [14]. This is particularly dangerous for the patients after anterior cruciate ligament reconstruction because such activity may lead to graft stretching and, consequently, secondary joint instability. The force decreased when extensor tensing accompanied the flexor tensing. Nakajima et al. demonstrated that the position of the contralateral extremity has an effect on flexor tension. In order to protect the tibia against anterior migration (through increased flexor activity), the authors suggested keeping the contralateral extremity flexed in the hip and knee during isometric exercises [15]. Furthermore, the study by Ostermeier et al. revealed an increase of 19.9% in the maximum quadriceps femoris force when measured during a co-contraction of flexors, which was not applicable to our study, but could have an influence on the measurements [16]. Li et al. found that contact pressure in the patellofemoral joint grows when the quadriceps femoris muscle and flexors are active simultaneously as opposed to isolated quadriceps femoris activity [17]. The cause was an increased posterior translation of the tibia. This suggests a negative clinical influence of co-contraction of the knee flexors on the reconstructed posterior cruciate ligament and on complaints related to the patellofemoral joint. Previous studies have suggested a positive correlation between the tensing of the hip adductors and work of the vastus medialis, which was not seen in our study [18]. The difference results probably from different examination protocols. In the cited papers, the measurements were taken in motion or with under weight bearing conditions. We observed high induction values during open kinetic chain exercises. According to Mason et al., the reaction force of patellofemoral joint grows as the angle of knee flexion increases, reaching its peak value at an angle of approximately 100° [19]. OKC exercises at large flexion angles (exercises no. 13 and 14) will bring clinically adverse effects in patients with patellofemoral complaints, whereas narrower angle exercises (exercise no. 15) will strain the anterior cruciate ligament. In our study, the joint was not examined in

czenia 13,14) będą niekorzystne dla pacjentów z dolegliwościami stawu rzepkowo-udowego, natomiast przy mniejszym kącie (ćwiczenie 15) będą obciążeniem dla więzadła krzyżowego przedniego. W naszym badaniu nie testowaliśmy stawu podczas ruchu. Aagaard i wsp. stwierdzili współskurcz zginaczy podczas ruchu wyprostu w OKC z prędkością kątową 30°/s, co sugeruje istnienie fizjologicznego mechanizmu zabezpieczającego staw przed przednią siłą ścinającą [20]. We wcześniej publikowanych doniesieniach poddano analizie elementy treningu izokinetycznego i uznano go za przydatny w usprawnianiu pooperacyjnym stawu kolanowego [21-23]. W związku z powyższym konieczne jest kontynuowanie badań z uwzględnieniem prób dynamicznych i jednoczesną oceną sEMG.

WNIOSKI

1. Badanie wykazało przydatność testowanych ćwiczeń jako użytecznych w usprawnianiu pooperacyjnym po zabiegach w obrębie stawu kolanowego.
2. Ze względu na generowanie małych obciążeń struktur okołostawowych najlepiej działającymi ćwiczeniami w pierwszej fazie pooperacyjnej są ćwiczenia izometryczne wykonywane z wyprostowanym stawem kolanowym z możliwym do zastosowania oporem dla mm przywodzicieli i odwodzicieli stawu biodrowego.
3. W pierwszej fazie pooperacyjnej możliwa jest rezygnacja ze stosowania ćwiczeń w OKC ze względu na brak szczególnych korzyści terapeutycznych i jednoczesne generowanie wielu szkodliwych obciążeń (brak istotnych różnic w pobudzeniu mięśnia czworogłowego w odniesieniu do bezpieczniejszych ćwiczeń izometrycznych).
4. Do uzyskania pełnej wydolności stawu kolanowego konieczne jest, oprócz zwiększenia siły mięśniowej, przywrócenie czucia kinestetycznego oraz odtworzenie pełnego zakresu ruchu. W związku z tym konieczne jest kontynuowanie badań pod kątem poszukiwania technik powodujących ich szybki powrót.

PIŚMIENNICTWO/ REFERENCES

1. Shelbourne KD, Nitz P. Accelerated Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine* 1990;18(3): 292 -299.
2. Shelbourne KD. Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *The Knee* 1996;3:228-231.
3. Shelbourne KD, Patel DV. Rehabilitation after autogenous bone-patellar tendon-bone ACL reconstruction. *Instr Course Lect.* 1996;45:263-73.
4. Shelbourne KD, Klotz C. What I have learned about the ACL: utilizing a progressive rehabilitation scheme to achieve total knee symmetry after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sci* 2006; 11(3):318-25.
5. van Grinsven S, van Cingel RE, Holla CJ, van Loon CJ. Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010; 1: 13.
6. Heijne A, Werner S. A 2-year follow-up of rehabilitation after ACL reconstruction using patellar tendon or hamstring tendon grafts: a prospective randomised outcome study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009; 10: 23
7. Fanelli GC. Posterior cruciate ligament rehabilitation: how slow should we go? *Arthroscopy* 2008;24(2):234-5.

motion. Aagaard et al. reported the presence of flexor co-contraction during extension movements in OKC exercises with an angular velocity of 30°/s, which suggests the presence of a physiological mechanism that protects the joint against anterior shear force [20]. Previous studies have investigated elements of isokinetic training and found them to be useful in postoperative rehabilitation of the knee joint [21-23]. Therefore, it is necessary to continue studies taking into consideration dynamic tests with simultaneous sEMG evaluation.

CONCLUSIONS

1. The study revealed that the exercises analysed were useful for postoperative rehabilitation following knee surgery.
2. Generating minor loads on periarticular structures, the most effective exercises in the early postoperative phase are isometric exercises performed with the knee in extension and possibly with resistance applied to hip adductors and abductors.
3. OKC exercises may be withheld in the early postoperative period because they offer no significant therapeutic advantage and, at the same time, they generate considerable harmful loading (no significant differences in the stimulation of quadriceps femoris muscle compared to isometric exercises, which are safer).
4. Apart from increasing muscle strength, complete restoration of knee fitness requires restoration of kinesthetic sensation and a full range of motion. Therefore, there is a need to continue studies in search of therapeutic techniques that would make rapid restoration possible.

8. Mariani PP, Margheritini F, Christel P, Bellelli A. Evaluation of posterior cruciate ligament healing: a study using magnetic resonance imaging and stress radiography. *Arthroscopy* 2005;21(11):1354-61.
9. van Linschoten R, van Middelkoop M, Berger MY, Heintjes EM, Verhaar JA, Willemssen SP, Koes BW, Bierma-Zeinstra SM. Supervised exercise therapy versus usual care for patellofemoral pain syndrome: an open label randomised controlled trial. *BMJ* 2009.
10. Glenn N, Williams, Peter J, Barrance, Lynn Snyder-Mackler, Thomas S. Buchanan. Altered Quadriceps Control in People With Anterior Cruciate Ligament Deficiency. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(7):1089-1097.
11. Hart JM, Pietrosimone B, Hertel J, Ingersoll CD. Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review. *J Athl Train* 2010; 45(1):87-97.
12. Shelburne KB, Torry MR, Pandy MG. Effect of muscle compensation on knee instability during ACL-deficient gait. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37(4):642-648.
13. Hermens HJ, Freriks B, Merletti R. et al. SENIAM 8 European Recommendations for Surface ElectroMyoGraphy – Results of the Seniam project. Enschede, the Netherlands: Roessingh Research and Development; 1999.
14. Ostermeier S, Stein C, Hurschler C, Windhagen H, Stukenborg-Colsman C. Measurement of the effect of hamstring muscle force on knee cruciate ligament loading patterns during simulated extension motions: An in vitro study. *Isokinetics and exercise science* 2007; (15) n2: 83-90.
15. Nakajima M, Kawamura K, Takeda I. Electromyographic analysis of a modified maneuver for quadriceps femoris muscle setting with co-contraction of the hamstrings. *J Orthop Res* 2003; 21(3):559-64.
16. Ostermeier S, Stein C, Hurschler C, Stukenborg-Colsman C. Anterior and posterior cruciate ligament loadings is influenced by co-contraction of the hamstrings muscles during extension motions. A direct dynamic in vitro measurement. *Journal of Bone and Joint Surgery - British Volume* 2006; (88-B) Supp 1: 92-93.
17. Li G, DeFrate LE, Zayontz S, Park SE, Gill TJ. The effect of tibiofemoral joint kinematics on patellofemoral contact pressures under simulated muscle loads. *J Orthop Res* 2004;22(4):801-6.
18. Earl JE, Schmitz RJ, Arnold BL. Activation of the VMO and VL during dynamic mini-squat exercises with and without isometric hip adduction. *J Electromyogr Kinesiol* 2001;11(6):381-6.
19. Masona JJ, Leszkob F, Johnsona T, Komistek RD. Patellofemoral joint forces. *Journal of Biomechanics* 2008;41 2337–2348.
20. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson SP, Bojsen-Møller F, Dyhre-Poulsen P. Antagonist muscle coactivation during isokinetic knee extension, *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2000; (10)2: 58–67.
21. Fabiś J, Grygorowicz M. Wartość badania izokinetycznego mięśnia czworogłowego i zginaczy kolana po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego. *Doniesienie wstępne. Kwar Ortop.*2005;4: 270-2.
22. Czamara A. Zmiany wartości momentów sił mięśni w programie fizjoterapii po rekonstrukcjach więzadeł krzyżowych przednich stawów kolanowych. *Fizjoterapia Polska* 2002; 4: 263- 272.
23. Fabiś J. Wpływ treningu izokinetycznego na moment siły mięśni prostowników i zginaczy kolana u chorych po rekonstrukcji więzadła krzyżowego przedniego za pomocą ścięgien zginaczy *Ortopedia Traumatologia rehabilitacja* 2007; 5(6): 527-531.

Liczba słów/Word count: 4203

Tabele/Tables: 2

Ryciny/Figures: 1

Piśmiennictwo/References: 23

Adres do korespondencji / Address for correspondence

mgr Adam Bronikowski

*Klinika Ortopedii i Rehabilitacji II WL Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego,
03-242 Warszawa, ul. Kondratowicza 8, tel. 608-440-921, e-mail: bronikowskiadam@wp.pl*

Otrzymano / Received

17.04.2010 r.

Zaakceptowano / Accepted

04.10.2010 r.