

# ANALIZA AKTYWNOŚCI BIOELEKTRYCZNEJ MIĘŚNI TRÓJGŁOWYCH ŁYDKI PO REKONSTRUKCJI WŁÓKNAMI WĘGLOWYMI PRZERWANEGO ŚCIĘGNA ACHILLESA

WIESŁAW CHWAŁA, EMIL STASZKÓW, ROBERT WALASZEK

## Wstęp

Ścięgno Achillesa jest najsilniejszym ścięgnem organizmu człowieka, jego wytrzymałość na obciążenie wynosi około 2000-3500 N [18]. Powstaje ono z połączenia ścięgniastych części m. brzuchatego łydki i m. płaszczkowatego w części dystalnej. Przyczepiając się do guza piętowego wykonuje 9/10 całej pracy wszystkich zginaczy podszewy stopy. W ciągu życia ukrwienie tego ścięgna ulega zmniejszeniu, co powoduje pogorszenie jego elastyczności i wytrzymałości mechanicznej [17]. Prowadzi to do zmian zwyrodnieniowych w obrębie ścięgna ułatwiających jego zerwanie (nie zawsze przy wysiłkach o maksymalnej intensywności). Na patogenezę występowania uszkodzeń i całkowitego przerwania ciągłości ścięgna wskazują również Raunest i wsp. [12] oraz Thermann i wsp. [17].

Uprawianie sportu zwłaszcza wyczynowego, przebyte kilkakrotnie zapalenia ścięgna są czynnikami usposabiającymi do występowania zmian wstecznych w ścięgnię Achillesa [11]. Do przerwania ścięgna dochodzi zazwyczaj 2-6 cm powyżej guza piętowego. W 72% przypadków [6] do takiego uszkodzenia dochodzi w wyniku uprawiania sportu (w tym również sportu rekreacyjnego).

Rozpoznanie uszkodzenia ścięgna opiera się na wywiadzie, badaniu klinicznym i badaniu USG. W wywiadzie chory najczęściej skarży się na ostry, gwałtowny ból poniżej łydki, często powodujący upadek i uniemożliwiający dalszą aktywność ruchową.

Badaniem klinicznym stwierdza się: niezdolność stania na palcach stopy chorej kończyny, brak zgięcia podszewy stopy przy ucisku na mięsień brzuchaty łydki (test Thomsona) oraz wyczuwalny ubytek na przebiegu ścięgna [4].

Tylko leczenie operacyjne gwarantuje pełny powrót funkcji całkowicie przerwanego ścięgna Achillesa [6,7]. Wspólną cechą wszystkich metod leczenia operacyjnego tych uszkodzeń jest zbliżenie kikutów ścięgna mocnym szwem.

W pracy przedstawiamy wyniki badań elektromiograficznych w różnym czasie od wykonanego zabiegu zszycia przerwanych ścięgien Achillesa operowanych nićmi węglowymi w latach 1988-1998. Stosowano metodę Łukasika w modyfikacji własnej (szwy kotwiczące pojedyncze + pięć szwów ciągnących). Po operacji na okres czterech tygodni zastosowano gips udowy (ustawienie stopy 0° wg SFTR [14], staw kolanowy zgięty 15-30°), następnie uwalniano kolano celem ćwiczenia zespołów mięśni działających na ten staw. Po 6-ciu tygodniach od operacji (średnio) wdrożono chodzenie bez unieruchomienia oraz intensywną - z dawkowanym obciążeniem - rehabilitację.

# ANALYSIS OF BIOELECTRICAL ACTIVITY OF TRICEPS SURAE AFTER RECONSTRUCTION OF RUPTURED ACHILLES TENDON BY MEANS OF CARBON FIBRES

WIESŁAW CHWAŁA, EMIL STASZKÓW, ROBERT WALASZEK

## Introduction

The Achilles tendon is the strongest one in the human body, its strength being as high as 2000-3500 N (Tylman and Idziak 1987). The tendon is formed as a result of joining of the tendinous parts of gastrocnemius muscle and the distal part of soleus muscle. Being attached to the calcanean tuber it takes over 9/10 of the overall work done by all plantar flexors. With age the blood supply to this tendon becomes lower, which adversely affects its elasticity and mechanical strength [17]. This in turn leads to degenerative changes, which may be a reason of rupture (not always associated with efforts of maximum intensity). Pathogenesis of injuries and breaking of the tendon continuity is also suggested by Raunest et al. [12] as well as Thermann et al [17].

Practising sports, especially professional, and repeated inflammatory processes are factors that favour the occurrence of retrogressive changes of the Achilles tendon [11]. Rupture of the tendon usually takes place 2-6 cm above the calcanean tuber. In 72% cases [6] the injury is a result of practising sports (also in recreation).

Diagnosis of tendon injury is established on the basis of the history of the patient, clinical and USG examinations. When the history is taken the patient complains about acute violent pains below the calf, which often cause falling down and disable further motor activity. Clinical examination indicates inability of standing on the toes of the sick limb, inability of plantar flexion of the foot when pressure is exerted on gastrocnemius muscle (Thomson test) and palpable defect along the tendon [4].

Exclusively surgical treatment guarantees full restoration of the totally ruptured Achilles tendon [6,7]. The common feature of all surgical treatment methods of such injuries is putting the tendon stumps together by means of strong sutures.

In this work we present the results of electromyographic examination after different time intervals from sewing-up of the ruptured Achilles tendons with carbon threads over the years 1988-1998. The method proposed by Łukasik was adopted with own modifications (single anchoring sutures + five pulling sutures). After the operation a plaster dressing was applied for four weeks (foot positioning at 0° SFTR [14], knee joint flexion at 15-30°) then the knees were liberated in order to exercise the muscles acting on this joint. Six weeks after the operation walking without the immobilising dressing was begun and intensive rehabilitation with dosed loading.

Badania elektromiograficzne przeprowadzono wśród osób po przebytej operacji zerwanego ścięgna Achillesa. Uszkodzone ścięgna szyto materiałem węglowym w Szpitalu im. Żeromskiego w Krakowie. Badano 18 osób obojga płci w wieku od 36 do 59 lat. Czas od przebytej operacji do przeprowadzenia badania wahał się w granicach od 4 miesięcy do 9 lat. Zerwania ścięgna piętowego spowodowane były najczęściej urazem powstałym w wyniku aktywności ruchowej o wysokiej intensywności. Prowadziło to do powstania wysokiej wartości impulsu siły w krótkim czasie w powiązaniu z szybkimi zmianami charakteru pracy mięśni ("start do piłki", "wyskok do piłki", "amortyzacja przy zeskoku", "uraz mechaniczny"). Charakterystykę badanej grupy przedstawiono w TABELI 1.

Badania obejmowały pomiary aktywności bioelektrycznej mięśni triceps surae [8] wykonywane podczas ruchów lokomocyjnych na bieżni o zmiennej prędkości i kącie nachylenia. Osoby badane wykonywały próby chodu przy następujących prędkościach bieżni: 2 km/h, 4 km/h, 6 km/h 4 km/h pod górę (kąąt nachylenia bieżni 15,6% tj. 9°) oraz biegu z prędkością 8 km/h. Badanie wykonywano za pomocą elektromiografu Muscle Tester

Me3000. Otrzymane zapisy EMG analizowano za pomocą programu Me3000. Do analizy wykorzystano parametr pola powierzchni pod wykresem EMG (parametr  $A_i$  [mVs]) rejestrowany przy ustabilizowanej prędkości ruchu. Na podstawie otrzymanych wartości  $A_i$  obliczono względne różnice procentowe pomiędzy kończynami nieoperowanymi i operowanymi.

Wykonane badania pozwoliły na ocenę współpracy mięśni triceps surae ze ścięgnami Achillesa w obu kończynach dolnych w zakresie ich dynamicznej pracy.

Poziom parametrów uzyskiwanych przez osoby badane pozwolił ocenić aktualne różnice funkcjonalne pomiędzy kończyną operowaną i nie operowaną, a na ich podstawie także skuteczność metody szycia z zastosowaniem włókien węglowych.

Otrzymane wyniki poddano następnie analizie statystycznej. Dla badanych parametrów obliczono średnie arytmetyczne, odchylenia standardowe, współczynniki zmienności oraz wartości maksymalne i minimalne w grupie. Na ich podstawie obliczono korelacje rang Spearmana oraz liniową Pearsona, celem określenia siły związku pomiędzy badanymi parametrami w obu kończynach oraz pomiędzy wartościami parametrów, a czasem który upłynął od operacji, deklarowaną aktywnością ruchową po operacji i wiekiem osób badanych. Dla porównania średnich wartości parametrów dla obu kończyn posłużono się testem t - Studenta dla cech zależnych [15].

W TABELI 2 zaprezentowano względne różnice procentowe aktywności bioelektrycznej mięśni gastrocnemius obu kończyn zarejestrowane w trakcie ruchów lokomocyjnych o różnych prędkościach i kącie nachylenia bieżni.

Wynika z nich zdecydowana przewaga przypadków, w których kończyna operowana jest silniej pobudzana od kończyny nie operowanej. Różnice względne w tym przypadku wahają się w granicach od (-2,5% do -60,8%). Największe różnice zanotowano dla przypadków: 7, 8, 17. Prawdopodobnie warunki mechaniczne współpracy ścięgna Achillesa z mięśniem gastrocnemius uległy dość znacznej zmianie, co spowodowało konieczność silniejszej aktywacji mięśni kończyn operowanych zwłaszcza w fazie odbicia. Mięsień wraz

The electromyographic examinations were carried out in a group of patients operated on the ruptured Achilles tendon. The injured tendons were sewn-up with carbon threads in the Żeromski Hospital in Kraków (Poland). Examined were 18 people, both sexes, age 36-59. Time interval after the operation varied between 4 months and 9 years. The Achilles tendon ruptures were mostly caused by injuries associated with intensive motor activity: high impulses in a short time along with fast changes of the character of muscular work (sudden run to the ball, jumps up, amortisation at jumps down, mechanical injuries). Characteristics of the examined group are given in TABLE 1.

The investigations involved measurements of bioelectrical activity of triceps surae muscles (Hausmanowa-Petrusewicz

1986) during locomotive tests on a running track with alternating velocity and angle of inclination. The examined people performed walking at different velocities of the running track: 2, 4, 6 km/h, 4 km/h uphill (angle of inclination 15.6%, i.e. 9°) and running at a rate of 8 km/h. The measurements were carried out by means of an electromyograph, Muscle Tester Me3000. The recorded EMG data were subsequently analysed with Me3000 software.

The parameter representing area under the EMG plot (parameter  $A_i$  [mVs]) recorded at stable motion velocity was used in the analysis. The obtained  $A_i$  values served for the calculation of relative differences in % between the non-operated and operated limbs.

The investigations allowed evaluating the co-operation of triceps surae muscles with the Achilles tendons in both lower limbs in the range of dynamic work.

The level of parameters obtained with the examined patients allowed estimating real functional differences between the operated and non-operated limb and efficiency of the method using carbon thread sutures.

The obtained results were subjected to statistical analysis. For the tested parameters calculated were the values of arithmetic mean, standard deviation, variation coefficient, minimum and maximum value within the group. These data were next used to calculate Spearman's and Pearson's linear correlation, in order to check how strong is the correlation between the values of determined parameters and time after the operation, declared motor activity after the operation and age of the examined people. The mean values of parameters for both limbs were compared by means of Student's test for the interdependent characteristics [15].

In TABLE 2 given are relative percent differences between the bioelectrical activity of gastrocnemius muscles of both limbs recorded in locomotion at varying velocity and angle of inclination of the running track.

In the majority of cases the operated limb is stimulated more than the non-operated one. The relative differences range from -2.5% to -60.8%. The biggest differences were noted for cases 7, 8 and 17. Probably the mechanical conditions of co-operation between the Achilles tendon and the gastrocnemius muscle underwent significant changes due to which stronger activation of the operated limbs was necessary, particularly at the stage of bouncing. The muscle along with the tendon constitutes a peculiar system that cumulates energy in the eccentric work of the muscle at the stage of amortisation and next it utilises the energy at the stage of bouncing to put in motion the biomechanism [2]. The efficiency of such an energy storage system seems to depend

Cecha Characteristic	$\bar{x} \pm s$	min - max	V [%]
Wiek [lata] Age [years]	41.1 ± 7.1	36 - 59	16.0
Masa [kg] Mass [kg]	78.7 ± 14.5	49 - 103	18.4
Czas od operacji [miesiące] Time after operation [months]	58.7 ± 32.3	19 - 114	55.0

TABELA 1. Charakterystyka badanej grupy.  
TABLE 1. Characteristics of the examined group.

Lp. No.	Płeć Sex	Wiek Age	Aktywność ruchowa Activity	Czas od operacji [miesiące] Time after operation [months]	Różnica aktywności bioelektrycznej kończyny nie operowanej i operowanej Difference of bioelectrical activity of the non-operated and operated limb [%]				
					2km/h	4km/h	6km/h	8km/h	4km/h
1	K	39	a	55	-57,5	-58,5	-57,4	-45,2	-54,3
2	M	54	n	114	-6,5	-26,1	-45,6	-7,8	-2,0
3	K	36	n	61	-16,9	-28,5	-19,5	-9,3	-26,5
4	K	41	a	83	-5,3	-8,9	-15,3	-20,2	-1,5
5	M	42	a	35	-17,5	-19,2	-33,6	-21,2	-16,8
6	M	41	a	78	-23,7	-14,5	-26,1	-7,8	1,0
7	M	40	a	90	-50,0	-39,4	-44,8	-41,6	-14,8
8	M	59	a	59	-57,5	-58,5	-57,4	-45,2	-58,5
9	K	50	n	4	37,1	18,4	25,3	15,2	89,8
10	M	39	a	104	-14,9	-8,3	1,5	-2,6	-7,7
11	M	43	a	19	-32,6	-25,8	-27,3	-15,0	-30,0
12	K	49	n	97	66,5	22,3	13,3	14,0	18,3
13	K	38	a	22	-50,0	-44,3	-29,0	-15,7	-30,3
14	M	36	n	22	-14,6	-2,5	-19,5	-10,7	-11,4
15	M	52	a	40	-6,8	0,0	0,6	1,9	4,9
16	M	53	a	75	-3,4	-19,1	-30,3	-34,8	-32,1
17	M	36	a	20	-60,8	-55,9	-55,9	-42,5	-36,0
18	M	46	a	24	-34,9	-38,0	-34,9	-29,2	-11,7

M – mężczyźni / male ; K – kobiety / female; a – aktywny / active; n – nieaktywny / non-active

**TABELA 2. Wartości względnych różnic procentowych biopotencjałów czynnościowych mm triceps surae w lokomocji.**

**TABLE 2. Values of relative percent differences of functional biopotentials in triceps surae muscles in locomotion.**

ze ścięgnem stanowi swoisty układ kumulujący energię w trakcie ekscentrycznej pracy mięśnia w fazie amortyzacji, a następnie wykorzystuje ją w fazie odbicia napędzając biomechanizm [2]. Sprawność wykorzystania zmagazynowanej energii wydaje się zależeć od wstępnego rozciągnięcia układu mięsień-ścięgno i stopnia pobudzenia jednostek motorycznych [9]. Wyraźne zachwianie różnicy w pobudzeniu jednostek motorycznych obu kończyn świadczy o zmniejszeniu sprawności tego układu. Wnioski te potwierdzają inne badania [10]. W większości obserwowanych przypadków różnice procentowe pobudzenia kończyn maleją znacznie podczas biegu z prędkością 8 km/h. Wynikać to może z odmiennych warunków mechanicznych pracy mięśni polegających na wystąpieniu fazy lotu i większego udziału innych zespołów mięśniowych w ruchach lokomocyjnych (szczególnie mięśni prostujących i zginających staw kolonowy) [3]. Odmienną zależność zaobserwowano dla przypadku 16, gdzie różnice względne zwiększały się wraz ze wzrostem prędkości. W dwu przypadkach (9 i 12) zaobserwowano przewagę biopotencjału po stronie kończyny nie operowanej, jeden z nich dotyczył krótkiego czasu od operacji (4 miesiące), a drugi bardzo wyraźnego zmniejszenia masy mięśniowej w kończynie operowanej. Silniejsze obciążenie pracą kończyny nie operowanej wydaje się w tych przypadkach podyktowane przejęciem przez nią części zadań lokomocyjnych od kończyny operowanej.

W kolejnych dwóch przypadkach (10 i 15) różnice względne są niewielkie (bliskie pełnej kompensacji) - dotyczą jednak osób o wyjątkowej aktywności ruchowej i dość długim czasie od operacji (104 i 40 miesięcy).

Zaobserwowano również nieco większe różnice u osób starszych i o krótszym czasie od operacji.

Zmniejszanie aktywności bioelektrycznej kończyny opero-

on initial stretching of the muscle-tendon system and stimulation degree of the motor units [9]. Distinct disturbance of the difference in stimulation of motor units in both limbs is an indication of decreased efficiency of this system. These conclusions are in agreement with previous investigations [10]. In the majority of observed cases the percent differences in limb stimulation strongly decrease in running at a rate of 8 km/h. This may be related to different mechanical conditions of muscular work, the occurrence of flying stage and greater contribution of other muscular groups in locomotion (particularly extensors and flexors of the knee joint) [3]. Case 16 where the relative differences increased with the increasing velocity, was an exception. In two cases, 9 and 12, the biopotential of the non-operated limb was higher and in the first case it was connected with short time after the operation (4 months) whereas in the second one - with a significant decrease of muscular mass in the operated limb. Stronger loading of the non-operated limb in these two cases seems to be connected with partial taking over of the locomotive tasks from the operated limb.

In the next two cases (10 and 15) the relative differences are small (close to full compensation) - but they concern people with exceptional motor activity and quite long time after the operation (104 and 40 months).

Bigger differences were observed in the case of older patients and shorter time after the operation.

Decreased bioelectrical activity of the operated limb (i.e. its more ergonomic work) seems to be dependent on time after the operation, motor activity and age of the patient.

Standard statistical analysis was carried out in order to find the characteristic trends within the examined group. A sample of 17 people was used for statistical calculations. Case 9 was not taken into consideration because of very short

wanej (czyli jej bardziej ergonomiczna praca), wydaje się być uzależnione od czasu jaki upłynął od operacji, aktywności ruchowej i wieku osoby operowanej.

W dalszym etapie przeprowadzono standardową analizę statystyczną w celu znalezienia charakterystycznych tendencji w badanej grupie. Do obliczeń statystycznych wykorzystano próbę 17 osób. Przypadek 9 został usunięty z analizy ze względu na zdecydowanie krótszy czas jaki upłynął od zabiegu operacyjnego (4 miesiące) w porównaniu z pozostałymi osobami (średnia wartość 58,7 miesiąca). Podyktowane to zostało koniecznością uniknięcia sztucznego wpływu tego przypadku na rzeczywisty obraz siły związków badanych parametrów w grupie. Przypadek ten został omówiony w analizie kazuistycznej przedstawionej powyżej.

TABELA 3 przedstawia wartości średnie w badanej grupie, poziom istotności różnic, względne różnice procentowe, procentowy współczynnik zmienności w kontekście porównania kończyn nie operowanych i operowanych.

Parametr Parameter [ $\mu$ Vs]	n	Kończyna Limb	$\bar{x} \pm s$	Istotność różnic Significance of differences	Różnica względna Relative difference	V [%]
A_2 km/h	17	Nie operowana / Non-operated	291.9 $\pm$ 84.9	117.6 p = 0.012	-28.7%	29.1
		Operowana / Operated	409.5 $\pm$ 159.8			
A_4 km/h	17	Nie operowana / Non-operated	331.5 $\pm$ 85.5	137.2 p = 0.003	-29.3%	25.8
		Operowana / Operated	468.7 $\pm$ 156.1			
A_6 km/h	17	Nie operowana / Non-operated	416.8 $\pm$ 115.8	192.7 p = 0.000	-31.6%	27.8
		Operowana / Operated	609.5 $\pm$ 174.3			
A_8 km/h	17	Nie operowana / Non-operated	770.9 $\pm$ 276.0	195.5 p = 0.049	-20.2%	35.8
		Operowana / Operated	966.4 $\pm$ 274.9			
A_G 4 km/h	17	Nie operowana / Non-operated	467.9 $\pm$ 155.1	116.8 p = 0.041	-20.0%	33.1
		Operowana / Operated	584.7 $\pm$ 165.5			

TABELA 3. Średnie wartości biopotencjałów badanych zespołów mięśni.

TABLE 3. Mean values of biopotential in tested muscular systems.

We wszystkich przypadkach średnie wartości biopotencjałów w kończynach nie operowanych są istotnie mniejsze od średnich kończyn operowanych. Różnice te wahają się w granicach od 116.8 do 195.5 mVs. Względne różnice utrzymują się na stałym poziomie (ok. 30%) dla EMG rejestrowanych przy prędkościach 2,4,6 km/h, natomiast są mniejsze o ok. 10% dla biegu z prędkością 8 km/h i chodu pod górę. Potwierdza to wyniki, omówione wcześniej przy okazji analizy pojedynczych przypadków. Statystyczna analiza średnich różnic wskazuje, że w przypadku wymuszenia większej aktywności badanych mięśni poprzez zwiększenie prędkości lub kąta nachylenia bieżni, obserwujemy wystąpienie większej kompensacji biopotencjałów w obu kończynach.

Kolejnym etapem analizy statystycznej podjętym w tej pracy była próba znalezienia związków między wybranymi cechami (wiek, czas od operacji, aktywność ruchowa) a aktywnością bioelektryczną oraz określenie podobieństwa badanych kończyn pod kątem obliczonych parametrów (TABELA 4 i 5).

Spośród danych zawartych w TABELI 4 na uwagę zasługują istotne związki pomiędzy aktywnością ruchową po zabiegu operacyjnym badanych osób (intensywna rehabilitacja i aktywna rekreacja ruchowa), a wartościami badanych parametrów biomechanicznych. Współczynnik korelacji poziomemu EMG kończyn nie operowanych i aktywności ruchowej rośnie wraz z rosnącą prędkością lokomocji od  $r = 0.41$  przy  $V = 2$  km/h do  $r = 0.74$  przy  $V = 8$  km/h. Wskazuje to na silniejszy wpływ aktywności ruchowej na ergonomiczne sterowanie pobudzeniem jednostek motorycznych w kończynie nie operowanej w porównaniu z kończyną operowaną, gdzie zanotowano niższe wartości współczynników

time after the operation (4 months) compared to the other cases (mean value 58.7 months). In this way false effect of this case on the interrelation between the examined parameters within the group was avoided. The case was discussed in the casuistic analysis given above.

TABLE 3 presents mean values in the tested group, significance level of differences, relative percent differences, percent variation coefficient in the context of comparing the non-operated and operated limbs.

In all cases the mean values of biopotentials in non-operated limbs are significantly lower than in the operated limbs. The differences vary from 116.8 to 195.5 mVs. The relative differences remain at a constant level (about 30%) for EMG recorded at the velocities 2, 4 and 6 km/h but they are by 10% lower in the case of running at a velocity of 8 km/h and uphill walk. This is in agreement with the earlier discussed single cases. The statistical analysis of mean differences indicates that greater activity of the tested muscles, forced by an increased velocity or angle of inclination, causes

greater compensation of biopotentials in both limbs.

The subsequent stage of statistical analysis undertaken in this work was to find correlations between the selected characteristics (age, time after operation, motor activity) and bioelectrical activity and to determine similarities of the examined limbs in terms of the calculated parameters (TABLES 4 and 5).

Among the data collected in TABLE 4 attention should be drawn to the significant correlation between the motor activity after surgical treatment (intensive rehabilitation and active motor reaction) and the values of tested biomechanical parameters. The correlation coefficient of the EMG level of non-operated limbs and motor activity increases together with the increasing locomotion velocity from  $r = 0.41$  at  $V = 2$  km/h to  $r = 0.74$  at  $V = 8$  km/h. This indicates a stronger influence of motor activity on ergonomic control of the motor units stimulation in the non-operated limb compared to the operated one where lower values of correlation coefficients were noted [5].

As regards the relative percent differences between the examined parameters, their correlation with the motor activity remains at a similar level (correlation coefficient slightly increases). Only in the case of uphill walk the correlation is weaker  $r = -0.39$ .

On the basis of the obtained results it can be stated that intensive recreation (team games, swimming, biking, running etc.) advantageously affects both limbs although somewhat more the bioelectrical activity of the non-operated limb where the muscle work is more effective with the increasing effort.

The analysis of relation between the time after operation and EMG values has shown a moderate correlation for the

Cecha Characteristic	Kończyna Limb	A_2km/h [μVs]	Różnica Difference [%]	A_4km/h [μVs]	Różnica Difference [%]	A_6km/h [μVs]	Różnica Difference [%]	A_8km/h [μVs]	Różnica Difference [%]	A_G4km [μVs]	Różnica Difference [%]
Wiek [lata] Age [years]	operowana operated	-0.05	-0.38	0.01	-0.20	0.12	0.03	0.31	-0.14	0.27	-0.22
	nie operowana non- operated	0.10		-0.04		0.14		0.11		0.30	
Czas od operacji time after operation	operowana operated	-0.38	-0.30	-0.40+	-0.12	-0.27	-0.03	-0.28	-0.14	-0.20	-0.25
	nie operowana non- operated	-0.05		-0.10		-0.14		-0.03		0.03	
Aktywność ruchowa motor activity	operowana operated	-0.12	-0.49*	0.05	-0.49*	0.05	-0.57*	0.23	-0.51*	0.44+	-0.39
	nie operowana non- operated	0.41*		0.52		0.51*		0.74***		0.46*	
+ p < 0.10    * p < 0.05    ** p < 0.01    *** p < 0.001											

**TABELA 4. Korelacja między wybranymi cechami charakteryzującymi badaną grupę a aktywnością bioelektryczną badanych mięśni**

**TABLE 4. Correlation between selected characteristics of the examined group and bioelectrical activity of tested muscles.**

korelacji [5].

Jeśli chodzi o względne różnice procentowe pomiędzy badanymi parametrami to ich związek z aktywnością ruchową utrzymuje się na zbliżonym poziomie (współczynnik korelacji nieznacznie rośnie). Tylko dla chodu pod górę siła związku jest mniejsza  $r = -0.39$ .

Na podstawie wyników można zatem stwierdzić, że oddziaływanie na układ ruchu poprzez intensywną rekreację ruchową (gry zespołowe, pływanie, jazda na rowerze, bieganie itp.) wpływa korzystnie na obie kończyny, choć nieco silniej na aktywność bioelektryczną kończyny zdrowej, powodując efektywniejszą pracę jej mięśni w przypadku zwiększającej się intensywności wysiłku.

Analiza korelacji pomiędzy czasem od operacji a wartościami EMG wykazała umiarkowany związek dla kończyn operowanych (szczególnie przy mniejszych prędkościach: 2, 4 km/h). Przy większych prędkościach siła związku maleje. Należy pamiętać, że średnia czasu od operacji wynosi 58.7 miesiąca, zatem progresja badanych parametrów jest zapewne niższa niż w początkowym okresie rehabilitacji pooperacyjnej. Wskazuje to na konieczność rozpoczęcia monitorowania parametrów układu ruchu niezwłocznie po zdjęciu unieruchomienia kończyny operowanej.

Nie stwierdzono również istotnych związków statystycznych pomiędzy wiekiem badanych osób a wartościami parametrów biomechanicznych. Na związki takie wskazano jedynie przy okazji analizy pojedynczych przypadków.

W analizie związków pomiędzy parametrami charakteryzującymi kończynę operowaną i nie operowaną (TABELA 5) stwierdzono, że wszystkie współczynniki korelacji (oprócz poziomu EMG przy prędkości 2 km/h) są statystycznie istotne, a siła związku rośnie wraz z prędkością lokomocji (od  $r = 0.35$  przy 2 km/h do  $r = 0.98$  przy 8 km/h), potwierdzając w ten sposób poprzednie spostrzeżenia.

## Wnioski

1. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na istnienie istotnych statystycznie różnic pomiędzy średnimi wartościami badanych parametrów w mięśniach kończyn operowanych i nie operowanych.
2. Różnice w poziomie aktywności bioelektrycznej mięśni brzuchatych łydki obu kończyn maleją wraz ze wzrostem intensywności ich pracy.
3. W miarę upływu czasu od operacji oraz przy większej

operated limbs (particularly at lower velocities 2 and 4 km/h). At higher velocities the correlation is weaker. It should be remembered that average time after operation was 58.7 months, so the progression of the examined parameters is probably lower than in the early postoperative rehabilitation. This suggests that it would be advisable to start monitoring the parameters of the motor system immediately after removal of the immobilising dressing.

No significant correlation has been found between the age of patient and the values of biomechanical parameters. Such relations were demonstrated only on analysing individual cases.

On analysing the correlation between the parameters characteristic for the operated and non-operated limb (TABLE 5) it has been stated that all correlation coefficients (except EMG level at 2 km/h) are statistically significant and that the correlation becomes stronger as the locomotion velocity increases (for  $r = 0.35$  at 2 km/h to  $r = 0.98$  at 8 km/h) which confirms the earlier observations.

O_2 km/h N_2 km/h	O_4 km/h N_4 km/h	O_6 km/h N_6 km/h	O_8 km/h N_8 km/h	O_G4km N_G4km
0.35	0.78 ***	0.94 ***	0.98 ***	0.78 ***

**TABELA 5. Korelacja między wybranymi wynikami kończyn operowanej i nie operowanej.**

**TABLE 5. Correlation between selected parameters for the operated and non-operated limb.**

## Conclusions

1. Results of the presented investigations indicate statistically significant differences between the mean values of tested parameters in the muscles of operated and non-operated limbs.
2. Differences in bioelectrical activity level in the gastrocnemius muscle of both limbs decrease with the increasing intensity of work.
3. Longer time after operation and greater motor activity advantageously affect muscle work economy.
4. Intensive recreation favourably affects both limbs (although more the bioelectrical activity of the sound limb) bringing about a more effective work of muscles at increasing

aktywności ruchowej stwierdza się lepszą ekonomikę pracy mięśni.

4. Intensywna rekreacja ruchowa wpływa korzystnie na obie kończyny, (choć nieco silniej na aktywność bioelektryczną kończyny zdrowej), powodując efektywniejszą pracę mięśni w przypadku zwiększającej się intensywności wysiłku.

5. Istnieje konieczność porównania uzyskanych wyników z wynikami chorych, których przerwane ścięgna Achillesa łączono innymi materiałami.

6. Otrzymane wyniki badań nie zawsze potwierdzały indywidualne odczucia badanych, co do stanu funkcjonalnego operowanej kończyny.

7. Koniecznym jest objęcie dalszymi badaniami osób bezpośrednio po usunięciu unieruchomienia, celem monitorowania układu ruchu w początkowym okresie rehabilitacji. Okres ten może charakteryzować się najbardziej dynamicznymi, korzystnymi dla kończyny zmianami.

effort intensity.

5. It is necessary to compare the obtained results with other cases when the ruptured Achilles tendon was repaired with different materials.

6. The obtained results were not always in agreement with individual feelings of patients about functioning of the operated limb.

7. It is necessary to include in the tested group patients directly after removal of the immobilising dressing in order to monitor the motor system at the initial stage of rehabilitation. This early period may be characterised by the most dynamic changes advantageous for the limb.

## Piśmiennictwo

- [1] Bober T., Hay J.G.: Topografia siły mięśni kończyn człowieka. Wychowanie Fizyczne i Sport, 3, 1990.
- [2] Bosco C., Tarkka I., Komi P.V.: Effect of elastic energy and myoelectrical potentiation of triceps surae during stretch-shortening cycle exercise. Int. J. Sports Med., 3, (1982), 137-40.
- [3] Doński D.D.: Biomechanika ćwiczeń fizycznych. Sport i Turystyka, Warszawa, 1963.
- [4] Dziak A.: Zamknięte uszkodzenia tkanek miękkich narządu ruchu. PZWL, Warszawa, 1985.
- [5] Finni T., Komi P.V., Lukkariniemi J.: Achilles tendon loading during walking: application of a novel optic fiber technique. Eur. J. Appl. Physiol., 77, (1998), 289-91.
- [6] Garlicki J., Kuś W.M.: Traumatologia Sportowa. Wyd. I. PZWL, Warszawa 1978.
- [7] Garlicki M.: Chirurgia urazowa. Wyd. I, PZWL, Warszawa 1987.
- [8] Hausmanowa-Petrusewicz I.: Elektromiografia kliniczna. PZWL, Warszawa 1986.
- [9] Komi P.V., Bosco C.: Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. Med. Sci. Sports Winter; 10, (1978), 261-5.
- [10] Morecki A., Ekiel J., Fidelus K.: Bionika ruchu. PWN, Warszawa, 1971.

## References

- [11] Nikitin G.D., Lyskovets-Chernetskaia L.E., Linnik S.A.: Treatment of Achilles tendon injuries in athletes. Vestn. Khir., 123, (1979), 84-8.
- [12] Raunest J., Burrig K.F., Derra E.: Pathogenesis of Achilles tendon rupture. Chirurg, 61, (1990), 815-9.
- [13] Ruchlewicz T., Staszkiwicz R., Chwała W., Nosiadek L.: Spadek siły i wytrzymałość w warunkach skurczu izometrycznego. Biology of Sport, Volume 15, 1998.
- [14] Russe O.A., Gerhardt J.J.: International SFTR method of measuring and recording motion. Bern, Stuttgart, Wien, H. Hubert Publishers, 1975.
- [15] Rylko A.: Metody analizy statystycznej. Wydawnictwo Skrytowe AWF Kraków, nr 104, 1989.
- [16] Szopa J., Chwała W., Ruchlewicz T.: Identification structure and validity of testing of motor abilities, Journal of Human Kinetics. Kraków 1999.
- [17] Thermann H., Frerichs O., Biewener A., Krettek C., Schandelemaier P.: Biomechanical studies of human Achilles tendon rupture. Unfallchirurg, 98, (1998), 570-5.
- [18] Tylman D., Dziak A.: Traumatologia Narządu Ruchu. T.2, cz. 2, Wyd. I, PZWL, Warszawa, 1987.

## BIOTOLERANCJA IMPLANTÓW ZE STALI AISI 316L Z WARSTWAMI PASYWNYMI I PASYWNO - DIAMENTOWYMI

BOGDAN KOCZY\*, JAN MARCINIAK\*\*

\* SAMODZIELNY PUBLICZNY WOJEWÓDZKI SZPITAL CHIRURGII  
URAZOWEJ W PIEKARACH ŚLĄSKICH  
\*\* ZAKŁAD INŻYNIERII MATERIAŁÓW BIOMEDYCZNYCH  
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ W GLIWICACH

### Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań biotolerancji implantów metalicznych ze stali AISI 316L uszlachetnionych warstwami pasywnymi i pasywno - diamentowymi w doświadczeniach na modelach zwierzęcych jakim były

## BIOTOLERANCE OF IMPLANTS FROM THE AISI 316L STEEL WITH THE PASSIVE AND PASSIVE - DIAMOND COATINGS

BOGDAN KOCZY\*, JAN MARCINIAK\*\*

\* INDEPENDENT PUBLIC PROVINCIAL HOSPITAL FOR THE TRAUMATIC  
SURGERY IN PIEKARY ŚLĄSKIE  
\*\* DIVISION OF BIOMEDICAL MATERIALS ENGINEERING, SILESIAN  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN GLIWICE

### Abstract

Results of biotolerance investigations are presented of the metallic implants from the AISI 316L steel improved with the passive and passive-diamond coatings in experiments on the animal models fea-