

# OCENA EFEKTÓW ODLEGŁYCH ZABIEGU OPERACYJNEGO I POSTĘPOWANIA USPRAWNIAJĄCEGO U PACJENTÓW PO REKONSTRUKCJI ZERWANEGO ŚCIĘGNA ACHILLESA MATERIAŁEM WĘGLOWYM

ROBERT WALASZEK<sup>1\*</sup>, TADEUSZ KASPERCZYK<sup>1</sup>,  
WIESŁAW CHWAŁA<sup>2</sup>, EMIL STASZKÓW<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ZAKŁAD ODNOWY BIOLOGICZNEJ AWF, KRAKÓW

<sup>2</sup> ZAKŁAD BIOMECHANIKI AWF, KRAKÓW

<sup>3</sup> SZPITAL IM. G. NARUTOWICZA, KRAKÓW

\* E-MAIL: ROBERT.WALASZEK@NEOSTRADA.PL

## Streszczenie

*W pracy dokonano oceny efektów odległych zabiegu operacyjnego i postępowania usprawniającego u pacjentów, u których dokonano zabiegu zszycia przerwanego ścięgna Achillesa nićmi i taśmami wykonanymi z materiału węglowego. Stosowano metodę Łukasika w modyfikacji dr. Staszkowa (szwy kotwiczące pojedyncze + pięć szwów ciągnących). Od lutego do września 2008 roku udało się przebadać 16 z 37 uprzednio operowanych osób. Wiek pacjentów obojga płci mieścił się w zakresie od 43 do 69 lat. Badania obejmowały: pomiary zakresów ruchów czynnych i biernych wyprostu grzbietowego i zgięcia podszwowe w stawach skokowych kończyn operowanych i nieoperowanych, pomiary obwodów kończyn dolnych oraz pomiary grubości ścięgien Achillesa. Po wielu latach od operacji zerwanego ścięgna Achillesa badanym pacjentom nie udało się odbudować w pełni masy mięśniowej mięśnia trójgłowego łydki w kończynach operowanych.*

**Słowa kluczowe:** materiał węglowy, rekonstrukcja ścięgien Achillesa, rehabilitacja ruchowa, ocena narządu ruchu

[Inżynieria Biomateriałów, 87, (2009), 13-23]

## Wprowadzenie

Ścięgno Achillesa będące najsilniejszym mechanicznie ścięgnem ciała człowieka, jako element łączący mięsień trójgłowy łydki z guzem piętowym, spełnia bardzo ważną rolę w mechanizmie prawidłowego chodu, biegu czy skoku. Jego wytrzymałość na obciążenie wynosi około 2000-3500 N [1]. U ludzi między 30 a 40 rokiem życia zanika tętnica centralna ścięgna, czego efektem są zmiany wsteczne oraz gorsza wytrzymałość mechaniczna [2].

Uszkodzenie ścięgna piętowego wynika przede wszystkim z sumowania się mikro urazów działających na nieosłonięte ścięgno oraz z przeciążeniami jakim ono podlega będąc jednocześnie objęte procesami zwyrodnieniowymi na tle zaburzeń odżywczych w obrębie ścięgna. Do takich procesów należy zapalenie przyczepów ścięgna Achillesa, powstające najczęściej w wyniku przeciążenia mięśnia trójgłowego łydki [3].

# EVALUATION OF REMOTE EFFECTS OF OPERATIVE PROCEDURE AND REHABILITATION TREATMENT OF PATIENTS WHO HAVE UNDERGONE RECONSTRUCTION OF RUPTURED ACHILLES TENDON WITH CARBON MATERIAL

ROBERT WALASZEK<sup>1\*</sup>, TADEUSZ KASPERCZYK<sup>1</sup>,  
WIESŁAW CHWAŁA<sup>2</sup>, EMIL STASZKÓW<sup>3</sup>

<sup>1</sup> DEPARTMENT OF BIOLOGICAL RENOVATION,

ACADEMY OF PHYSICAL EDUCATION, CRACOW, POLAND

<sup>2</sup> BIOMECHANICS DEPARTMENT,

ACADEMY OF PHYSICAL EDUCATION, CRACOW, POLAND

<sup>3</sup> G. NARUTOWICZ MUNICIPAL HOSPITAL, CRACOW, POLAND

\* E-MAIL: ROBERT.WALASZEK@NEOSTRADA.PL

## Abstract

*This paper aims to assess the remote effects of operative procedure and rehabilitation treatment of patients whose ruptured tendon has been reconstructed with sutures and tapes made of carbon material. Dr. Staszków's modification of Łukasik's method has been used (single anchoring suture + five pulling sutures). During the period from February to September 2008, 16 of 37 operated patients were examined. The patients were both male and female, aged between 43 and 69. The examination included: measurements of active and passive mobility of dorsal extension and plantar flexion in ankle joints of operated limbs and non-operated limbs, measurements of circumference of both lower limbs and measurements of thickness of Achilles tendons. Even many years after the reconstruction of a ruptured Achilles tendon with carbon material, patients did not manage to rebuild the muscle mass of the triceps calf muscle entirely in operated limbs.*

**Keywords:** carbon material, reconstruction of Achilles tendon, physiotherapy, research of the Motor System

[Engineering of Biomaterials, 87 (2009), 13-23]

## Introduction

The Achilles tendon, as an element joining the calf triceps muscle with the calcanean tuber, is mechanically the strongest of all tendons of the human body. It plays a crucial role in the process of walking, running and jumping. Its load resistance comes to approximately 2000-3500 N [1]. At the age between 30 and 40, the central artery of the tendon disappears, which causes certain involutions and weaker mechanical resistance [2].

Achilles tendon injuries are mainly due to microlesions affecting its uncovered part as well as an overload of the tendon, which is simultaneously undergoing degeneration processes resulting from trophic disturbances in the area. Inflammation of tendon attachments is one of those processes. In most of the cases it results from the overload of the calf triceps muscle [3].

Uprawianie sportu wyczynowego i rekreacyjnego, przebyte kilkakrotnie zapalenia ścięgna są czynnikami usposabiającymi do występowania zmian degeneracyjnych w ścięgnie Achillesa [4]. Do przerwania ścięgna dochodzi zazwyczaj 2-6 cm powyżej guza piętowego [5,6].

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 przy ucisku na mięsień brzuchaty łydki (test Thomsona) oraz wyczuwalny ubytek na przebiegu ścięgna [7].

Chirurgiczne zszycie zerwanego ścięgna Achillesa, umożliwiające przywrócenie pierwotnie właściwej, funkcjonalnej długości jednostki ścięgnisto-mięśniowej mięśnia trójgłowego łydki jest obecnie metodą z wyboru [8-10]. Wspólną cechą wszystkich metod leczenia operacyjnego ścięgna Achillesa jest zbliżenie kikutów ścięgna mocnym szwem, a ostateczny efekt funkcjonalny czyli pozabiegowa sprawność kończyny dolnej zależy od właściwie ukierunkowanej rehabilitacji [11].

W 1971 roku prof. Łukasik wdrożył tzw. szew piętowy, który prawidłowo kształtuje kikuty zerwanego ścięgna nie zaburzając równocześnie krążenia w ich obrębie, a także posiada bardzo dobrą wytrzymałość. Wiąże się poszczególne włókna, przesywając je wielokrotnie okrężnym szwem nierozpuszczalnym i tak uformowane kikuty ścięgna łączą się szwem piętowym wzdłuż włókien ścięgna [3,12].

W pracy dokonano oceny efektów odległych zabiegu operacyjnego i postępowania usprawniającego u pacjentów, u których dokonano zabiegu zszycia zerwanego ścięgna Achillesa nićmi i taśmami wykonanymi z materiału węglowego. Stosowano metodę Łukasika w modyfikacji dr. Staszki (szwy kotwiczące pojedyncze + pięć szwów ciągnących). Przeprowadzone badania miały odpowiedzieć na pytania: czy badanym osobom udało się odbudować w pełni masę mięśniową w operowanej kończynie, jakim zakresem ruchów biernych i czynnych dysponuje aktualnie staw skokowy operowanej kończyny i jak rekonstrukcja ścięgna materiałem węglowym zmieniła jego grubość.

Włókna węglowe w formie protez zostały po raz pierwszy zastosowane w roku 1977 do rekonstrukcji ścięgna u zwierząt eksperymentalnych. Doświadczenia te wykazały, że włókna węglowe w formie wstążek działały jako podłoże, w obrębie których narastała gęsta włóknista tkanka, mająca zbliżoną charakterystykę do ścięgna w pełni rozwiniętego. Od tego czasu wiele pacjentów poddano operacjom rekonstrukcji i zastąpienia więzadeł przyśrodkowych, pobocznych kolana, kruczo-obojęczykowych i obojęczykowych za pomocą protez wykonanych z włókien węglowych w formie plecionek [13-16]. W Katedrze Biomateriałów Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie opracowano włókna węglowe dla medycyny formie nici i protez, które zostały wprowadzone w ograniczonej skali do praktyki klinicznej w 1982 roku, w pierwszej kolejności wykorzystując je do odbudowy ścięgien Achillesa i więzadeł [17].

Rehabilitację rozpoczynano bezpośrednio po operacji i unieruchomieniu kończyny w gipsie udowym na 4 tygodnie przy ustawieniu stopy pod kątem 0° wg SFTR [18], natomiast staw kolanowy zgięty pod kątem 15-30°. Celem terapii było zapobieganie zanikom masy mięśniowej i osłabieniu siły mięśnia czworogłowego uda i mięśnia pośladkowego wielkiego. Po 10-12 dniach od zabiegu (usunięcia szwów z rany operacyjnej) zaopatrywano pacjenta w obcas gumowy mocowany do podeszwy gipsu. Umożliwiał on szybką pionizację oraz możliwość lokomocji bez użycia kul łokciowych w obszarze mieszkania, pozwalał też na

Playing sports (either professionally or as a leisure) and having endured multiple inflammations of the tendon in the past are both factors of degenerative changes in the Achilles tendon [4]. The rupture usually takes place 2-6 cm above the calcanean tuber [5,6].

Diagnosis of the injury is based on the medical history of the patient, a clinical examination and an ultrasound examination. Patients often claim they suffer from acute, abrupt pain beneath the calf which causes them to fall and makes it impossible to continue their physical activity. The clinical examination finds an incapacity to stand on the toes of an injured limb, no plantar flexion while pressing the gastrocnemius muscle (Thomson's test) and a palpable defect in the form of the tendon [7].

Surgical suturing of the ruptured Achilles tendon, which enables restitution of the proper and functional length of the muscle-tendon unit of the calf triceps muscle, is currently the preferred method [8-10]. The common trait of all surgical methods of the kind is to draw together the ends of the ruptured tendon with a strong suture. Postoperative efficiency of the lower limb, which is the eventual functional effect of the surgery, depends on appropriate rehabilitation [11].

In 1971, professor Łukasik introduced a "storied suture", which aims to form the ends of the ruptured tendon accurately without causing circulation disorders in the area. Moreover, that type of suture has a remarkably high durability. The method consists of tying up separate fibers and sewing through them repeatedly with the insoluble circular suture. The ends of the tendon formed in that way are then joined using the storied suture along the tendon fibers [3,12].

This paper aims to assess the remote effects of operative procedure and rehabilitation treatment of patients whose ruptured tendon has been reconstructed with sutures and tapes made of carbon material. Dr. Staszki's modification of Łukasik's method has been used (single anchoring suture + five pulling sutures). The purpose of the research was to answer the following questions whether or not the patients obtained full reconstruction of muscle mass of the operated limb, what the range of active and passive mobility of the ankle joint of the operated limb is and how the tendon's reconstruction with carbon material affected its thickness.

Carbon fiber was applied for the first time as a prosthesis material in 1977 to reconstruct tendons of laboratory animals. Experiments have shown that a dense fibrous tissue grows within the premises of ribbon-like structure of the carbon fibres. Properties of the tissue were similar to a fully developed tendon. Since 1977, reconstruction and replacement of knee fibular collateral ligaments, coracoclavicular and clavicular ligaments with prostheses made of carbon fiber of a plaited structure were performed on many patients [13-16]. Carbon fibers for medical use, in the form of threads and prostheses, were developed in the Department of Biomaterials of AGH University of Science and Technology in Cracow. In 1982 they were introduced on a limited scale into clinical practice. They were first used to reconstruct Achilles tendons and ligaments [17].

Rehabilitation began right after the operation, with the limb placed in thigh plaster for a 4-week period and the foot positioned at a 0° angle according to the SFTR [18]. The knee joint was bent at a 15-30° angle. The purpose of the therapy was to prevent muscle mass atrophy as well as a weakening of the quadriceps thigh muscle and the gluteus maximus. Ten to twelve days after the operation (removal of stitches from the surgical wound) the patient received a rubber heel attached to the sole of the plaster. The heel enabled the patient to assume the erect position quickly and to move without the help of elbow crutches in his house as well as on stairwells. Moreover, the heel conducted to a

chodzenie po schodach i sprzyjał szybkiej przebudowie tworzącej się blizny w zespolonym ścięgnię. Po upływie 4 tygodni od zabiegu rozpoczęto drugi etap usprawniania. Po skróceniu opatrunku gipsowego do wysokości podkolanowej umożliwiono pacjentowi rozpoczęcie ruchów zginania i prostowania w stawie kolanowym, a po następnych 4-6 dniach uwolniono podudzie, zaopatrując je tylko w łuskę gipsową. Celem ćwiczeń stosowanych w tym okresie była stopniowa eliminacja przykurczów elementów miękkich, które powstały na skutek 4-tygodniowego unieruchomienia. Po upływie 6 tygodni od operacji rozpoczęto trzeci etap usprawniania. Jego celem było zwiększenie elastyczności nowotworzonego ścięgna oraz zwiększenie masy i siły mięśnia trójgłowego łydki [19].

## Material i metody

Oceny narządu ruchu dokonano u osób po przebytej w latach 1989-1998 operacji zerwanego ścięgna Achillesa. Zabiegi zszycia ścięgna materiałem węglowym wykonano w szpitalu im. Stefana Żeromskiego w Krakowie.

Od lutego do września 2008 roku udało się przebadać 16 osób z 37 w sumie operowanych, wśród nich były zarówno kobiety jak i mężczyźni w wieku od 43 do 69 lat (TABELA 1). Zerwania ścięgna Achillesa były najczęściej efektem aktywności ruchowej o wysokiej intensywności, czego skutkiem było powstanie 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”) [20]. Najczęściej doszło do uszkodzenia ścięgna piętowego podczas uprawiania zespołowych gier sportowych (63% przypadków) oraz sportów indywidualnych (25% przypadków). Pozostała część osób zerwała ścięgno podczas innych form aktywności fizycznej (12% przypadków) (TABELA 2). Średni okres unieruchomienia po zabiegu rekonstrukcyjnym wyniósł 6,3 tygodnia, zaś średni czas oczekiwania na operację 16 dni (TABELA 3).

**TABELA 1. Charakterystyka badanej grupy.**  
**TABLE 1. Characteristics of examined patients.**

	X	S	Min	Max
Wiek (lata) / Age (years)	52.4	7.7	43	69
Masa ciała / Weight (kg)	85.6	12.8	64.4	109.1
Wzrost / Height (cm)	176	6.9	162	185

**TABELA 2. Przyczyny zerwania ścięgna Achillesa.**  
**TABLE 2. Events that caused ruptures of the Achilles tendon.**

	Liczba / Number	Procent / Percent
Gry zespołowe / Team sports	10	63
Sporty indywidualne / Individual sports	4	25
Inne formy aktywności / Other forms of activity	2	12

Badania obejmowały: pomiary zakresów ruchów czynnych i biernych wyprostu grzbietowego (WGC i WGB) i zgięcia podszewowego (ZPC i ZPB) w stawach skokowych kończyn operowanych i nieoperowanych, pomiary obwodów kończyn dolnych (Okd) oraz pomiary grubości ścięgien Achillesa (GŚA).

quick remodeling of the scar that had been forming in the reconstructed tendon. The second stage of the rehabilitation treatment began four weeks after the operation. The plaster was reduced to a below-knee cast and the patient was able to begin flexing and extending the knee joint. Four to six days later, the plaster was also removed from lower leg, with only a plaster splint remaining. Exercises performed at this stage aimed to gradually eliminate soft tissue contractures which occurred due to the four-week long immobilization. The third stage of the rehabilitation treatment began six weeks after the operation. It aimed to increase flexibility of the newly formed tendon as well as to increase the force and muscle mass of the calf triceps muscle [19].

## Materials and methods

Evaluation of the motor organ condition was carried out among patients whose ruptured Achilles tendon had been operated between 1989 and 1998. The reconstructive surgeries using carbon material were performed at the Stefan Żeromski Hospital in Cracow.

During the period from February to September 2008, 16 of 37 operated patients were examined. The patients were both male and female, aged between 43 and 69 (TABLE 1). Rupture of tendons was mainly the effect of intensive physical activity which implied high force impulses in a short time together with fast changes in the type of muscle activity (“starting to run towards the ball”, “jumping towards the ball”, “amortization of landing”, “mechanical injury”) [20]. The tendon’s injuries occurred most often while playing team and individual sports (63% and 25% of all cases, respectively). The rest of the cases occurred during physical activities of other kinds (12%) (TABLE 2). The average postoperative immobilization period was 6.3-weeks, and patients waited for surgery for an average of 16 days (TABLE 3).

**TABELA 3. Okres unieruchomienia (OU) operowanej kończyny (w tygodniach) i czas oczekiwania (CO) na operację (w dniach).**

**TABLE 3. Time of immobilization (OU) of operated limb (weeks) and waiting time (CO) before the operation (days).**

	x	OS SD	Min	Max
OU (tyg.) / (weeks)	6.31	2.3	4	14
CO (dni) / (days)	16.06	23.9	1	92

The examination included: measurements of active and passive mobility of dorsal extension (WGC and WGB) and plantar flexion (ZPC and ZPB) in ankle joints of operated limbs and non-operated limbs, measurements of circumference of both lower limbs (Okd) and measurements of thickness of Achilles tendons (GŚA).

The electronic goniometer produced by Bosh, with a precision of 0.1°, was used to measure the range of mobility. The sole surface of the foot was positioned at a 90° angle against the long axis of the shank as the initial position to take the measurements. The patient sat on the examination table with his/her lower legs hanging freely from the side and the goniometer axis being placed against the lateral ankle. The stable arm was placed in line with the long axis of the shank and was pointed at the head of the fibula while the movable arm was positioned perpendicularly to it. The goniometer was then moved down in parallel so that the movable arm reached the external part of the foot. Dorsal extension and plantar flexion movements of the foot manipulated the goniometer movable arm.



Pomiaru zakresów ruchów dokonywano za pomocą goniometru elektronicznego firmy Bosch z dokładnością do 0,1°. Pozycją wyjściową do pomiaru było ustawienie płaszczyzny podeszwowej stopy pod kątem 90° w stosunku do długiej osi podudzia. Badany siedział z podudziami opuszczonymi poza brzeg kozetki, oś goniometru przyłożona była do kostki bocznej. Ramię nieruchome, pokrywając się z długą osią podudzia zwracało się w kierunku głowy strzałki, natomiast ramię ruchome ustawione było prostopadłe do niego. Po ustaleniu tej pozycji goniometr przesuwano równolegle w dół, aby ramię ruchome oparło się o zewnętrzną krawędź stopy. Prostowana grzbietowo i zginana podeszwowo stopa sterowała ramieniem ruchomym goniometru.

Pomiaru obwodu kończyn dolnych dokonywano w pozycji leżenia tyłem badanego na 6 poziomach z dokładnością do 0,5 cm; mierzono [21]:

- pomiar uda na wysokości 20 cm od podstawy rzepki (Okd\_1),
- pomiar uda na wysokości 10 cm od podstawy rzepki (Okd\_2),
- pomiar przez staw kolanowy (Okd\_3),
- pomiar podudzia na wysokości 15 cm od szczytu rzepki (Okd\_4),
- pomiar podudzia na wysokości 25 cm od szczytu rzepki (Okd\_5),
- pomiar przez kostkowy (Okd\_6).

Pomiaru grubości ścięgien Achillesa dokonywano przyrządem „suwmiarka” z dokładnością do 1 mm, na wysokości linii łączącej szczyty kostki przyśrodkowej i bocznej u badanego leżącego na kozetce przodem ze stopami poza krawędzią kozetki (stawy kolanowe wyprostowane).

Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej. Dla badanych parametrów obliczono średnie arytmetyczne i odchylenia standardowe. Do oceny istotności różnic statystycznych pomiędzy wartościami średnimi parametrów dla obu badanych kończyn posłużono się testem t-Studenta [22].

## Wyniki

Analizę rozpoczęto od porównania wartości obwodów kończyn operowanych i nieoperowanych. Wyniki średnich wartości zmiennych przedstawiono na RYS. 1.

Analizując różnice między średnimi wartościami obwodów badanych kończyn (TABELA 4) można stwierdzić, że tylko Okd\_4 był istotnie statystycznie wyższy w wypadku kończyny nieoperowanej. Pozostałe zmienne nie wykazały znamiennej różnic na poziomie  $p < 0,05$ .

**TABELA 4. Różnice między kończynami operowanymi i nieoperowanymi w zakresie obwodu kończyn dolnych (testy t- Studenta dla danych powtarzanych).**

**TABLE 4. Differences in circumference of operated and non-operated limbs (repeated measures t-test).**

	X		s		T(15)	p
	Oper.	Nieop. / Non-op.	Oper.	Nieop. / Non-op.		
Okd_1 [cm]	53.7	53.8	3.29	3.75	-.25	.810
Okd_2 [cm]	46.8	46.6	3.07	3.43	.56	.586
Okd_3 [cm]	39.4	39.7	2.19	2.57	-1.10	.289
Okd_4 [cm]	34.3	35.7	3.63	3.31	-2.91	.011*
Okd_5 [cm]	25.4	26.0	2.84	3.11	-1.32	.206
Okd_6 [cm]	25.2	24.9	1.32	1.42	1.43	.173

\* różnice znamienne dla  $p < 0,05$   
\* differences significant for  $p < 0.05$

Measurements of the circumference of lower limbs were taken on 6 levels with a precision of 0.5 cm while the patient was laying in supine position. The following levels have been examined [21]:

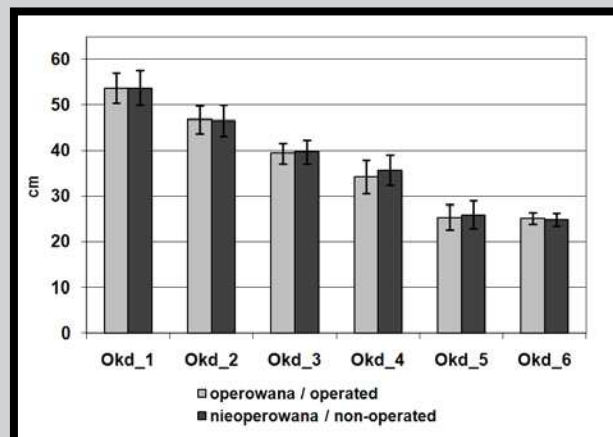
- thigh circumference 20 cm above base of patella (Okd\_1),
- thigh circumference 10 cm above base of patella (Okd\_2),
- circumference of knee joint (Okd\_3),
- shank circumference 15 cm below apex of patella (Okd\_4),
- skank circumference 25 cm below apex of patella (Okd\_5),
- circumference of ankle joint (Okd\_6).

Thickness of the Achilles tendons was measured with a “slide caliper” precise to 1 mm, at the level of the apexes of the medial and lateral ankles, while the patient was laying on a table in prone position, his feet extending beyond the table's end (knee joints extended).

Research results were then subjected to statistic analysis. Arithmetic means and standard deviations were calculated for the above-mentioned parameters. Student's t-test was applied to evaluate the significance of statistical differences between the average value of parameters measured in both examined limbs [22].

## Results

Analysis began by comparing the parameter values between operated and non-operated limbs. The average values of the variables are shown in FIG. 1.



**RYS. 1. Różnice między kończynami operowanymi i nieoperowanymi w zakresie obwodów kończyn dolnych.**

**FIG. 1. Differences in circumference of lower limbs between operated limbs and non-operated limbs.**

Analyses of the differences between the average value of circumferences of both limbs (TABLE 4) state that only the Okd\_4 was statistically significantly higher for the non-operated limb. The other data did not reveal significant differences for  $p < 0.05$ .

TABLE 5 shows that only the GSA was statistically significantly higher for the operated limb (FIG. 2).

TABLE 6 shows that the average value of the WGC, ZPC and ZPB parameters was significantly higher for the operated right limb. The values for the remaining data do not differ significantly (FIG. 3).

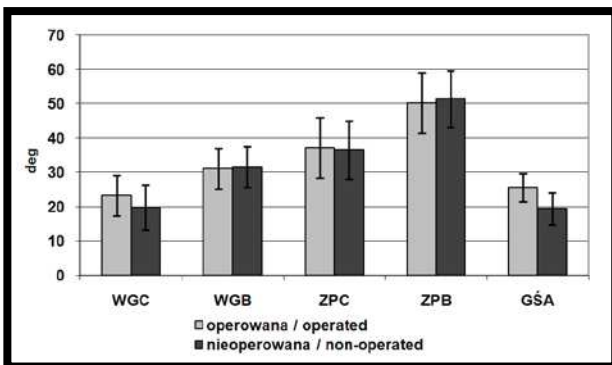
The TABLE 7 shows that the only value significantly lower for the non-operated right limb was the average value of the GSA parameter (FIG. 4).

TABELA 5. Różnice między kończynami operowanymi i nieoperowanymi w zakresie pozostałych zmiennych (testy t-Studenta dla danych powtarzanych).

TABLE 5. Differences between operated and non-operated limbs for the remaining variables (repeated measures t-test).

	X		s		T(15)	P
	Oper.	Nieop. / Non-op.	Oper.	Nieop. / Non-op.		
WGC [deg]	23.2	19.8	5.89	6.50	1.83	0.087
WGB [deg]	31.0	31.5	5.96	5.86	-0.36	0.725
ZPC [deg]	37.2	36.5	8.86	8.43	0.28	0.787
ZPB [deg]	50.3	51.4	8.85	8.30	-0.39	0.704
GŚA [deg]	25.6	19.4	4.02	4.70	10.43	<.001*

\* różnice znamienne dla p<0,001  
\* differences significant for p<0.001



RYS. 2. Różnice między kończynami operowanymi i nieoperowanymi w zakresie pozostałych zmiennych.

FIG. 2. Differences between operated limbs and non-operated limbs for the remaining variables.

TABELA 7. Różnice pomiędzy kończynami nieoperowanymi prawymi (NP) i lewymi (NL) (test t Studenta dla danych międzygrupowych).

TABLE 7. Differences between non-operated right (NR) and left (NL) limbs (Student's t-test for intergroup data).

	X		s		t(14)	p
	NP / NR	NL	NP / NR	NL		
Okd_1 [cm]	53.2	54.5	3.40	4.32	-0.69	0.500
Okd_2 [cm]	46.3	46.9	2.99	4.16	-0.33	0.743
Okd_3 [cm]	39.6	39.9	2.28	3.07	-0.28	0.784
Okd_4 [cm]	35.3	36.2	2.84	4.02	-0.51	0.615
Okd_5 [cm]	25.0	27.2	2.26	3.75	-1.47	0.164
Okd_6 [cm]	24.3	25.6	1.27	1.37	-1.87	0.083
WGC [deg]	20.5	19.0	6.73	6.61	0.44	0.669
WGB [deg]	33.1	29.5	6.51	4.55	1.25	0.230
ZPC [deg]	36.4	36.6	8.99	8.36	-0.04	0.965
ZPB [deg]	51.8	50.8	7.14	10.17	0.22	0.829
GŚA [deg]	17.1	22.3	3.02	5.06	-2.55	0.023*

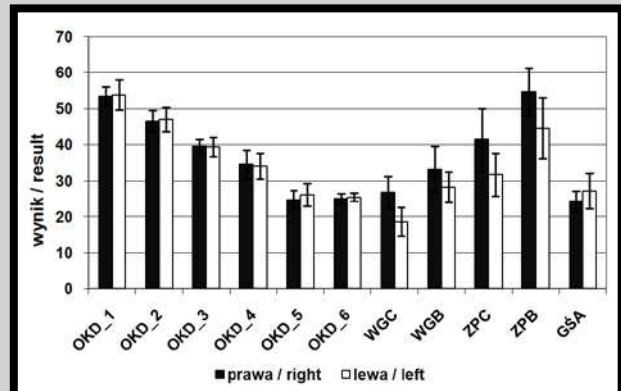
\* różnice znamienne dla p<0,05  
\* differences significant for p<0.05

TABELA 6. Różnice między kończynami operowanymi prawymi (OP) i lewymi (OL) w zakresie obwodu kończyn dolnych (test t Studenta dla danych międzygrupowych).

TABLE 6. Differences between circumference of operated right (OR) and left (OL) limbs (Student's t-tests for intergroup data).

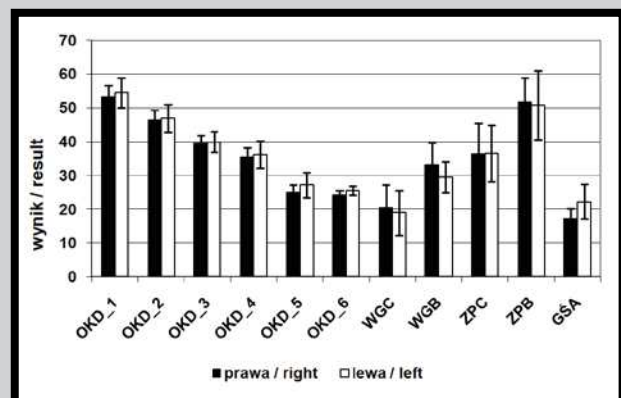
	X		S		t(14)	P
	OP / OR	OL	OP / OR	OL		
Okd_1 [cm]	53.5	53.9	2.63	4.21	-0.21	0.838
Okd_2 [cm]	46.6	47.1	3.00	3.37	-0.29	0.777
Okd_3 [cm]	39.4	39.4	2.01	2.58	0.08	0.940
Okd_4 [cm]	34.5	34.0	3.91	3.54	0.26	0.795
Okd_5 [cm]	24.8	26.2	2.58	3.16	-1.00	0.333
Okd_6 [cm]	25.00	25.5	1.48	1.12	-0.74	0.470
WGC [deg]	26.8	18.6	4.50	4.00	3.77	0.002*
WGB [deg]	33.2	28.2	6.42	4.21	1.77	0.098
ZPC [deg]	41.4	31.7	8.68	5.87	2.52	0.024*
ZPB [deg]	54.6	44.6	6.72	8.39	2.64	0.019*
GŚA [deg]	24.3	27.1	2.87	4.91	-1.44	0.173

\* różnice znamienne dla p<0,05  
\* differences significant for p<0.05



RYS. 3. Różnice pomiędzy kończynami operowanymi prawymi i lewymi.

FIG. 3. Differences between operated right and left limbs.



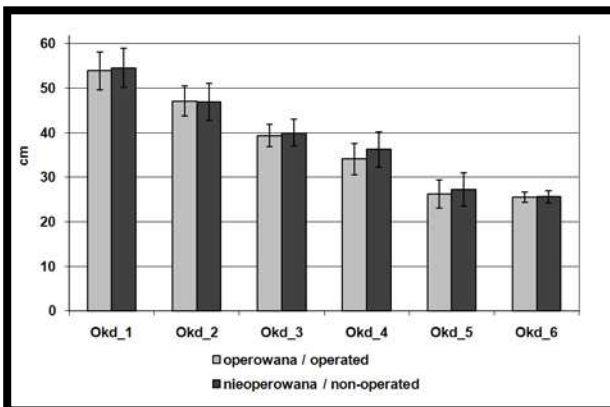
RYS. 4. Różnice między kończynami nieoperowanymi prawymi i lewymi.

FIG. 4. Differences between non-operated right and left limbs.

**TABELA 8. Różnice między kończynami lewymi w zakresie obwodów kończyn dolnych.**  
**TABLE 8. Differences between circumference of left limbs.**

	X		S		T(15)	P
	Oper.	Nieop. / Non-op.	Oper.	Nieop. / Non-op.		
Okd_1 [cm]	53.9	54.5	4.21	4.32	-1.12	0.306
Okd_2 [cm]	47.1	46.9	3.37	4.16	0.24	0.821
Okd_3 [cm]	39.4	39.9	2.58	3.07	-1.62	0.156
Okd_4 [cm]	34.0	36.2	3.54	4.02	-4.07	0.007*
Okd_5 [cm]	26.2	27.2	3.16	3.75	-1.55	0.172
Okd_6 [cm]	25.5	25.6	1.12	1.37	-0.18	0.864

\* różnice znamienne dla  $p < 0,05$   
 \* differences significant for  $p < 0.05$



**RYS. 5. Różnice między kończynami operowanymi i nieoperowanymi w zakresie obwodu kończyn dolnych (kończyny lewe).**  
**FIG. 5. Differences in circumference of operated and non-operated limbs (left limbs).**

TABELA 5 pokazuje, że tylko GŚA była istotnie statystycznie wyższa w wypadku kończyny operowanej. Graficznie przedstawia to RYS. 2.

TABELA 6 pokazuje, że średnie wartości parametrów WGC, ZPC i ZPB były istotnie wyższe w przypadku kończyny operowanej prawej. Wartości pozostałych parametrów nie różnią się istotnie statystycznie. Powyższe zmiany obrazuje RYS. 3.

TABELA 7 pokazuje, że tylko średnia wartość parametru GŚA była istotnie niższa w przypadku kończyny nieoperowanej prawej. Różnice przedstawiono graficznie na RYS. 4.

W dalszej kolejności dokonano analizy porównawczej kończyny operowanej z nieoperowaną, z tym, że analizę przeprowadzono osobno dla kończyn lewych i osobno dla prawych (test t Studenta dla powtórzonego pomiaru). W pierwszej kolejności porównywano kończyny lewe (TABELA 8, RYS. 5).

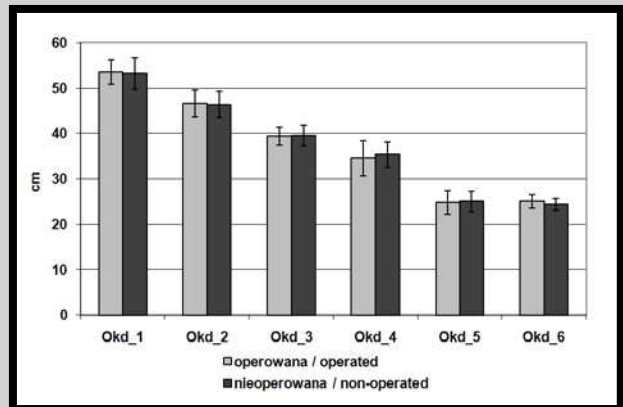
W przypadku kończyn lewych, nogi nieoperowane miały istotnie statystycznie wyższą wartość parametru Okd\_4 niż nogi operowane. Oznacza to niedobór masy mięśniowej podudzia w kończynach operowanych na poziomie 15 cm od szczytu rzepki.

W przypadku kończyn prawych, nogi nieoperowane miały niższą wartość parametru Okd\_6 niż nogi operowane (TABELA 9, RYS. 6). Wynika to z tego powodu, że ów pomiar był dokonywany na wysokości najpierw zerwanego a później zszywanego ścięgna Achillesa – jak wykazała już wcześniejsza analiza w tym miejscu ścięgno jest najbardziej pogrubione.

**TABELA 9. Różnice między kończynami prawymi w zakresie obwodów kończyn dolnych.**  
**TABLE 9. Differences between circumference of right limbs.**

	X		S		T(15)	p
	Oper.	Nieop. / Non-op.	Oper.	Nieop. / Non-op.		
Okd_1 [cm]	53.5	53.2	2.63	3.40	0.68	0.518
Okd_2 [cm]	46.6	46.3	3.00	2.99	0.51	0.625
Okd_3 [cm]	39.4	39.6	2.01	2.28	-0.26	0.803
Okd_4 [cm]	34.5	35.3	3.91	2.84	-1.14	0.287
Okd_5 [cm]	24.8	25.0	2.58	2.26	-0.39	0.708
Okd_6 [cm]	25.0	24.3	1.48	1.27	2.53	0.035*

\* różnice znamienne dla  $p < 0,05$   
 \* differences significant for  $p < 0.05$



**RYS. 6. Różnice między kończynami operowanymi i nieoperowanymi w zakresie obwodu kończyn dolnych (kończyny prawe).**  
**FIG. 6. Differences between circumference of operated and non-operated limbs (right limbs).**

Subsequently, a comparative analysis of operated and non-operated limbs was performed. The comparative analysis was performed for left and right limbs separately (repeated measures t-test). First, the left limbs were compared (TABLE 8, FIG. 5)

As far as the left limb is concerned, non-operated limbs had statistically significantly higher values of the Okd\_4 parameter than operated limbs. This means that there was muscle mass deficiency in the shank, on the level of 15 cm below the apex of the patella.

As far as the right limb is concerned, non-operated limbs had a lower value of the Okd\_6 parameter (TABLE 9, FIG. 6). The reason for this is that the measurement was taken on the level of the ruptured and reconstructed Achilles tendon – as the above-mentioned analysis revealed already, this is the place where the tendon is thickest.

As far as the right limb is concerned, operated limbs had significantly higher values of the WGC parameter than non-operated limbs (TABLE 11, FIG. 8). This proves the operated tendon elongation, which enables a wider range of active dorsal extension mobility (by means of extensor muscle force).

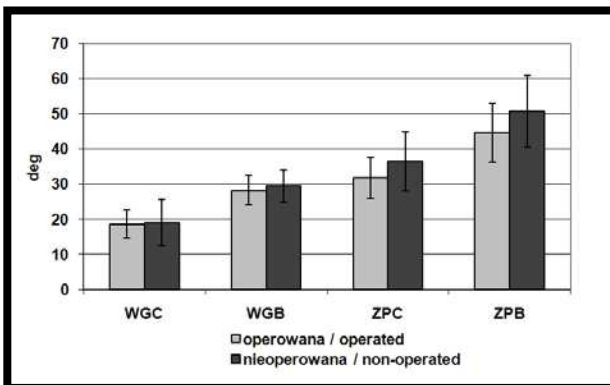
In both the left and the right limbs, a higher value of the GŚA parameter for operated limbs than for non-operated limbs was observed (TABLE 12 and 13, FIG. 9).

TABELA 10. Różnice między kończynami lewymi w zakresie ruchów wyprostu grzbietowego i zgięcia podszwowego.

TABLE 10. Differences in range of dorsal extension and plantar flexion mobility between left limbs.

	x		S		T(15)	p
	Oper.	Nieop. / Non-op.	Oper.	Nieop. / Non-op.		
WGC [deg]	18.6	19.0	4.00	6.61	-0.13	0.905
WGB [deg]	28.2	29.5	4.21	4.55	-0.91	0.399
ZPC [deg]	31.7	36.6	5.87	8.36	-1.50	0.184
ZPB [deg]	44.6	50.8	8.39	10.17	-1.29	0.244

\* różnice znamienne dla  $p < 0,05$   
\* differences significant for  $p < 0.05$



RYS. 7. Różnice między kończynami operowanymi i nieoperowanymi w zakresie ruchów wyprostu grzbietowego i zgięcia podszwowego (kończyny lewe).

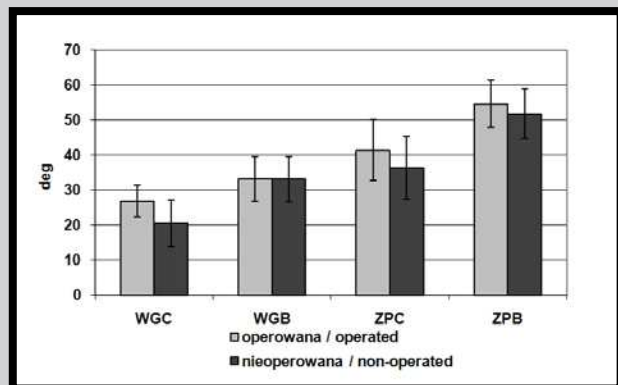
FIG. 7. Differences in range of dorsal extension and plantar flexion mobility between operated and non-operated limbs (left limbs).

TABELA 11. Różnice między kończynami prawymi w zakresie ruchów wyprostu grzbietowego i zgięcia podszwowego.

TABLE 11. Differences in range of dorsal extension and plantar flexion mobility between right limbs.

	x		S		T(15)	p
	Oper.	Nieop. / Non-op.	Oper.	Nieop. / Non-op.		
WGC [deg]	26.8	20.5	4.50	6.73	3.20	.013*
WGB [deg]	33.2	33.1	6.42	6.51	.02	.983
ZPC [deg]	41.4	36.4	8.68	8.99	1.63	.141
ZPB [deg]	54.6	51.8	6.72	7.14	.91	.387

\* różnice znamienne dla  $p < 0,05$   
\* differences significant for  $p < 0.05$



RYS. 8. Różnice między kończynami operowanymi i nieoperowanymi w zakresie ruchów wyprostu grzbietowego i zgięcia podszwowego (kończyny prawe).

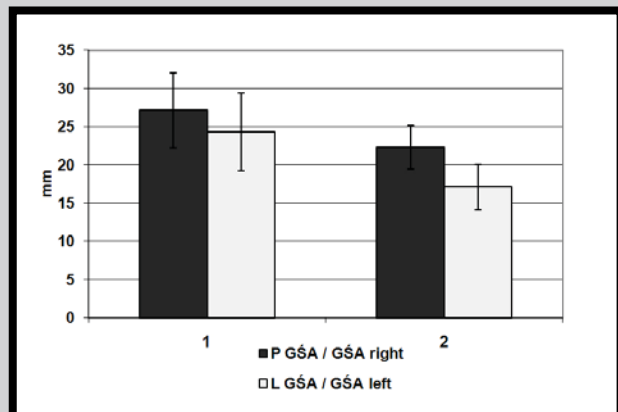
FIG. 8. Differences in range of dorsal extension and plantar flexion mobility between operated and non-operated limbs (right limbs).

TABELA 12. Różnice między kończynami lewymi w zakresie grubości ścięgna Achillesa.

TABLE 12. Differences in thickness of the Achilles tendon between left limbs.

	x		s		T(6)	P
	Oper.	Nieop. / Non-op.	Oper.	Nieop. / Non-op.		
GŚA	27.14	22.29	4.91	5.06	5.67	.001

\* różnice znamienne dla  $p < 0,05$   
\* differences significant for  $p < 0.05$



RYS. 9. Różnice w grubości ścięgna Achillesa między kończynami operowanymi i nieoperowanymi.

FIG. 9. Differences in thickness of the Achilles tendon between operated limbs and non-operated limbs.

TABELA 13. Różnice między kończynami prawymi w zakresie grubości ścięgna Achillesa.

TABLE 13. Differences in thickness of the Achilles tendon between right limbs.

	X		s		T(8)	p
	Oper.	Nieop. / Non-op.	Oper.	Nieop. / Non-op.		
GŚA	24.33	17.11	2.87	3.02	10.91	<.001

\* różnice znamienne dla  $p < 0,001$   
\* differences significant for  $p < 0.001$



W przypadku kończyn prawych, nogi operowane miały istotnie wyższą wartość parametru WGC niż nieoperowane (TABELA 11, RYS. 8). Świadczy to o wydłużeniu operowanego ścięgna, które pozwala na osiągnięcie siłą mięśni prostowników większego zakresu czynnego wyprostu grzbietowego.

Zarówno w kończynach lewych, jak i prawych, stwierdzono, że nogi operowane mają wyższą wartość parametru GŚA od nieoperowanych (TABELA 12 i 13, RYS. 9).

## Dyskusja

Obecnie ścięgno Achillesa jest często narażone na przeciążenia. Okazjonalne wysiłki fizyczne u osób prowadzących siedzący tryb życia, bez wcześniejszego treningu i rozgrzewki, powodują występowanie patologicznych napięć i naprężeń, co prowadzi do wielu tzw. mikrourazów, które sumując się powodują patologiczne zmiany w ścięgnię Achillesa. U wyczynowych sportowców zmiany takie występują wcześniej niż w pozostałej części populacji.

U każdego człowieka pomiędzy 25 a 30 rokiem życia rozpoczynają się zmiany zwyrodnieniowe, które dotyczą także ścięgien. Powodują one osłabienie wytrzymałości ścięgien, a co za tym idzie zwiększają ryzyko uszkodzenia. Uważa się, że zmiany te można opóźnić poprzez regularny wysiłek fizyczny, a u sportowców wyczynowych poprzez unikanie nadmiernej eksploatacji.

Odzyskanie funkcji całkowicie zerwanego ścięgna Achillesa gwarantuje tylko leczenie operacyjne, a wspólną cechą wszystkich metod leczenia operacyjnego tych uszkodzeń jest zbliżenie kikutów ścięgna mocnym szwem. Pojawienie się włókien węglowych stworzyło przesłanki dla wypróbowania ich w zabiegach chirurgicznych w ortopedii, a pomysł użycia materiału węglowego powstał w wyniku analizy budowy chemicznej żywych tkanek, których dużą część stanowią związki węgla. Założono, że wszczepy składające się z chemicznie czystego węgla będą dobrze tolerowane przez biorcę. Doświadczenia wykazały, że wszczepione włókna pobudzają wrastanie tkanki łącznej wzdłuż filamentów węglowych, a w dalszej kolejności – odkładanie mocnych włókien kolagenowych. Nowo powstałe ścięgno nie tylko odgrywa rolę anatomiczną, ale dobrze pełni funkcję fizjologiczną [17].

Przeprowadzone badania potwierdziły, że włókno węglowe powoduje mocny wzrost przy niewielkim odczynie bliznowatym, stanowiąc rusztowanie dla wzrastającej tkanki łącznej. Istotna różnica między wszczepem węglowym, a materiałami stosowanymi dotychczas (jedwab, teflon, ceramika i inne) polega na powstawaniu na bazie węgla nowej struktury łącznotkankowej, podczas gdy inne materiały tworzą protezy – mechaniczny substytut uszkodzonego ścięgna. Z punktu widzenia oddziaływań ubocznych (przede wszystkim ewentualnego wpływu rakotwórczego) włókna węglowe są bezpiecznym materiałem implantacyjnym [16].

Aby uzyskać odpowiedzi na postawione we wstępie pracy pytania, autorzy pracy dokonali między innymi porównania wartości parametrów zmierzonych w kończynach operowanych z wartościami tych samych parametrów uzyskanych w kończynach nieoperowanych.

Porównując obwody masy mięśniowej obu kończyn dolnych stwierdzono, że statystycznie istotna różnica występuje tylko na poziomie Okd\_4 (obwód goleni na poziomie 15 cm poniżej szczytu rzepki). Średnia różnica wynosi 1,5 cm (TABELA 4). Podobna zależność występuje w przypadku analizy porównawczej kończyn operowanych i nieoperowanych lewych (TABELA 8); tu średnia różnica wynosi 2,2 cm.

## Discussion

Nowadays, the Achilles tendon is often exposed to different overloads. Occasional physical strains in people having a sedentary lifestyle, performed without prior training or warm up, cause pathologic tensions and tones to arise, which lead to multiple “microlesions”. Multiple microlesions may next lead to pathologic changes in the Achilles tendon. These types of changes can be observed much earlier among professional sportsmen than in the rest of the population.

Degenerative processes begin in every human body between the age of 25 and 30, and some of them affect tendons. They cause tendons to be less resistant and, consequently, increase the risk of injuries. It is believed that the changes can be postponed thanks to regular physical activities and, as for professional sportsmen, by avoiding excessive physical effort.

Only surgical treatment guarantees a full recovery in the case of a complete rupture of the Achilles tendon. The common trait of all surgical methods is to put together the tendon's ends with a strong suture. Once carbon fibers had been introduced, the idea of testing it for the orthopedic surgeries was put forward. The idea was based on a chemical analysis of the structure of living tissues which are mostly composed of carbon components. It was believed that the implants made with chemically pure carbon would be well-tolerated in recipients. Experiments have shown that implanted fibers stimulate connective tissue growth alongside carbon filaments and, subsequently, deposition of strong collagen fibers. This method of tendon reconstruction allows re-establishment not only of its anatomical functions but also of its physiological functions [17].

This research has proved that carbon fibers enable strong union of the ruptured parts, leaving a relatively small scar mark, it also creates a scaffold for a growing connective tissue. The fact that there is a new structure of connective tissue growing on the base of the carbon material, while the use of other materials creates only prostheses—mechanic substitutes for ruptured tendons—constitutes the major difference between carbon implants and other materials (silk, teflon, ceramics, etc.) As for side effects (possibility of carcinogenic influence), carbon fibers are considered a safe implantation material [16].

In order to answer the questions raised in the introduction to this paper, the authors have first compared the values of parameters measured on operated limbs with the values of the same parameters measured on non-operated limbs.

While comparing circumferences of muscle mass of both lower limbs, the statistically significant difference was observed only on the level of Okd\_4 (shank circumference 15 cm below apex of patella). The average difference is 1.5 cm (TABLE 4). A similar relation results from the comparative analysis of operated and non-operated left limbs (TABLE 8); the average difference is 2.2 cm in this case. The differences prove that even many years after the surgery patients did not manage to rebuild the muscle mass of the triceps calf muscle entirely. Circumferences on other levels do not differ statistically.

In the comparative analysis of the remaining parameters, the big difference (6 mm on average) in the thickness of the Achilles tendon (TABLE 5) should be examined carefully. It seems that surgical reconstruction of the tendon with carbon material caused a significant postoperative tendon hypertrophy.

Next, the authors compared operated left and right limbs. The result states no statistically significant differences in the average value of the circumference on any of the measured levels. This proves that postoperative physiotherapy



Różnice te świadczą o tym, że pomimo upływu wielu lat od operacji, badanym pacjentom nie udało się odbudować w pełni masy mięśniowej mięśnia trójgłowego łydki. Na pozostałych poziomach obwody porównywanych kończyn nie różnią się statystycznie.

W analizie porównawczej pozostałych parametrów na szczególną uwagę zasługuje duża różnica (średnio ponad 6 mm) w grubości ścięgien Achillesa (TABELA 5). Wydaje się, że operacyjna rekonstrukcja ścięgna materiałem węglowym spowodowała wyraźny pooperacyjny przerost ścięgna.

W dalszej kolejności autorzy dokonali porównania między kończynami operowanymi lewymi i prawymi. Okazało się, że średnie wartości obwodów obu kończyn na wszystkich zmierzonych poziomach nie różnią się statystycznie, co oznacza, że zastosowana po operacji fizjoterapia tak samo odbudowała masę mięśniową kończyn lewych i prawych (TABELA 6). W przypadku pozostałych badanych parametrów okazało się, że zakres ruchów wyprostu grzbietowego czynnego, zgięcia podaszowego zarówno czynnego jak i biernego są istotnie wyższe w kończynach operowanych prawych. We wszystkich trzech w/w zakresach ruchów średnie różnice wynoszą ok. 10° (TABELA 6). Osiągany przez badanych większy zakres ruchu wyprostu grzbietowego czynnego (biernego też) w kończynach operowanych prawych może świadczyć o większym operacyjnym wydłużeniu ścięgien Achillesa w tych właśnie kończynach.

Grubość ścięgien w operowanych kończynach nie różnią się statystycznie, co oznacza, że zszycie ścięgien materiałem węglowym spowodowało w ścięgnach lewych i prawych nóg takie same zmiany, czyli, jak już stwierdzono wcześniej – znaczne pogrubienie (TABELA 5).

W analizie porównawczej kończyn nieoperowanych da się zauważyć tylko istotną różnicę w grubości ścięgien obu kończyn. Ścięgna w kończynach lewych są grubsze średnio o 5 mm od ścięgien w kończynach prawych (TABELA 7). Może to świadczyć o większym kompensacyjnym przerostie ścięgien kończyn nieoperowanych lewych w przypadku rekonstrukcji operacyjnej kończyn prawych.

W TABELACH 8-13 dokonano porównania w zakresie badanych parametrów kończyn operowanych z nieoperowanymi, z tym, że analizę przeprowadzono oddzielnie dla kończyn lewych i prawych.

W analizie parametrów kończyn lewych znaleźć można potwierdzenie dla wcześniej już wyciągniętych wniosków. Średnia wartość obwodu na poziomie Okd\_4 w kończynach operowanych jest istotnie statystycznie mniejsza od obwodu w kończynach nieoperowanych (TABELA 8), zaś grubość ścięgien kończyn operowanych jest większa średnio o 4,9 mm od grubości nieoperowanych (TABELA 12).

W przypadku kończyn prawych średnia różnica w grubości ścięgien jest jeszcze większa i wynosi 7,2 mm (TABELA 13). Dużą różnicę można zaobserwować również w przypadku zakresu ruchu wyprostu grzbietowego czynnego. W kończynach operowanych prawych średnia wartość WGC jest większa o ponad 6° od wartości WGC w kończynach nieoperowanych (TABELA 11). W analizie porównawczej kończyn lewych nie stwierdzono takiej zależności. Fakt ten dowodzi większemu wydłużeniu operacyjnemu ścięgien kończyn prawych. W obszarze obwodów kończyn poza jednym poziomem (Okd\_6) nie zauważono różnic statystycznie istotnych (TABELA 9).

W latach 1998-2006 dokonano wielu badań pacjentów po operacyjnej rekonstrukcji zerwanych ścięgien Achillesa materiałem węglowym. Pierwsze z nich obejmowały pomiary aktywności bioelektrycznej mięśni trójgłowych łydki wykonywane podczas ruchów lokomocyjnych na bieżni o zmiennej prędkości i kącie nachylenia [20].

helps to rebuild muscle mass equally in left and right limbs (TABLE 6). As for other parameters, the range of active dorsal extension and active and passive plantar flexion mobility is significantly wider in operated right limbs. The average difference in all three cases is about 10° (TABLE 6). The wider range of active (and passive) dorsal extension in operated right limbs may prove more postoperative elongation of the Achilles tendon in those limbs.

Thickness of tendons in operated limbs is not statistically different, which shows that sutures of carbon material caused the same changes in left and right limbs – significant thickening, as was stated before (TABLE 5).

Analysis of non-operated limbs reveals only an important difference in the thickness of tendons of the left and right limbs. Left limbs' tendons are on average 5 mm thicker than right limbs' tendons (TABLE 7). This may prove more compensatory hypertrophy of left non-operated limbs' tendons while right limbs were surgically reconstructed.

Results of comparative analysis of parameters for operated and non-operated limbs are shown in TABLES 8-13; analysis was performed separately for left and right limbs.

Results of the left limb analysis confirm the conclusions that have been drawn earlier in the text. On one hand, circumference average value on the level Okd\_4 of operated limbs is statistically significantly lower than circumference value of non-operated limb (TABLE 8). On the other hand, tendons in operated limbs are on average 4.9 mm thicker than tendons in non-operated limbs (TABLE 12).

The difference in thickness of right limb tendons is even larger – 7.2 mm (TABLE 13). A large difference can also be observed in the range of active dorsal extension mobility. The average value of the WGC parameter for operated right limbs is more than 6° higher than the value of the WGC parameter for non-operated limbs (TABLE 11). Comparative analysis of left limbs did not give the same results. This fact proves more postoperative elongation of right limb tendons. Limb circumferences were not statistically significantly different, except for one level (Okd\_6) (TABLE 9).

Between 1998-2006 a lot of research was done among patients who had undergone surgical reconstruction of ruptured Achilles tendons with carbon material. The first research concerned measurements of bioelectric activity of triceps calf muscle taken during ambulatory movements on a treadmill of variable speed and inclination [20]. Examined patients were asked to do treadmill walking at a speed of 2 km/h, 4 km/h, 6km/h, walking uphill at a speed of 4 km/h and running at a speed of 8 km/h. Relative percentage differences between operated and non-operated limbs were calculated based on the obtained results. Research has led to evaluate cooperation between the triceps calf muscle and the Achilles tendon of both lower limbs during dynamic activity.

Research results revealed statistically significant changes between average values of measured parameters for operated and non-operated limb muscles. While the intensity of exercise increased, the differences in bioelectric activity of the gastrocnemius muscle in both limbs decreased. After the surgery, with time and with increased physical activity, the economy of muscle activity improved.

In 2002 the same authors carried out a biomechanical analysis of force, speed and endurance parameters of the triceps calf muscle among the same patients [23]. Maximum force momentum of the triceps calf muscle under static conditions, speed of motor units recruitment during isometric contraction and fatigue resistance during 20-second isometric contraction of maximum intensity were measured.

Osoby badane wykonywały próby chodu przy następujących prędkościach biegni: 2 km/h, 4 km/h, 6 km/h, 4 km/h pod górę oraz biegu z prędkością 8 km/h. Na podstawie otrzymanych wyników obliczono względne różnice procentowe pomiędzy kończynami operowanymi i nieoperowanymi. Wykonane badania pozwoliły na ocenę współpracy mięśni trójgłowych łydki ze ścięgnami Achillesa w obu kończynach dolnych w zakresie ich dynamicznej pracy.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazywały na istnienie istotnych statystycznie różnic pomiędzy średnimi wartościami badanych parametrów w mięśniach kończyn operowanych i nieoperowanych, a różnice w poziomie aktywności bioelektrycznej mięśni brzuchatych łydki obu kończyn malały wraz ze wzrostem intensywności ich pracy. Okazało się również, że w miarę upływu czasu od operacji oraz przy większej aktywności ruchowej poprawiła się ekonomika pracy mięśni.

W 2002 roku ci sami autorzy dokonali biomechanicznej analizy parametrów siłowych, szybkościowych i wytrzymałościowych mięśni trójgłowych łydki u tych samych pacjentów co powyżej [23]. Mierzono maksymalne momenty sił mięśniowych mięśni trójgłowych w warunkach statyki, szybkość rekrutacji jednostek motorycznych w/w mięśni do pracy w próbie skurczu izometrycznego i ich odporność na zmęczenie w próbie 20 sekundowego skurczu izometrycznego o maksymalnej intensywności.

W badanych kończynach odnotowano istotne statystycznie różnice w przypadku zmiennych charakteryzujących poziom możliwości siłowych i prędkości skurczu badanych zespołów mięśni, nieistotne natomiast okazały się różnice w odporności na zmęczenie obu kończyn; i co ważne w zakresie możliwości siłowych w miarę upływu czasu od operacji stwierdzono wyrównywanie różnic pomiędzy kończynami nieoperowanymi a operowanymi.

W 2006 roku Chwała [24] z zespołem przeprowadził jeszcze ocenę parametrów kinematycznych chodu i efektów fizjoterapii pacjenta po rekonstrukcji zerwanego ścięgna Achillesa nićmi węglowymi na podstawie trójwymiarowej analizy ruchu. Przeprowadzono analizę trójwymiarową stosując system Vicon 250. Badania zostały wykonane bezpośrednio po usunięciu opatrunku gipsowego i w okresie po intensywnej fizjoterapii. Analizowano zmiany kątowe głównych stawów kończyn dolnych. Parametry normalizowano względem pojedynczego cyklu krokowego i odnoszono do fizjologicznych parametrów chodu osób zdrowych. Zaobserwowano znaczącą dysfunkcję układu kostno-mięśniowego bezpośrednio po usunięciu opatrunku i wyraźną poprawę lokomocji po intensywnej terapii – kinematyczne parametry pracy stawu skokowego i kolanowego były porównywalne z normą biomechaniczną.

## Wnioski

1. Po wielu latach od operacji zerwanego ścięgna Achillesa materiałem węglowym, badanym pacjentom nie udało się odbudować w pełni masy mięśniowej mięśnia trójgłowego łydki w kończynach operowanych.

2. Osiągany przez badanych większy zakres ruchu czynnego i biernego wyprostu grzbietowego stopy w kończynach operowanych może świadczyć o operacyjnym wydłużeniu ścięgien Achillesa.

3. Operacyjna rekonstrukcja materiałem węglowym spowodowała wyraźne pogrubienie badanych ścięgien.

Statistically significant differences occurred in variables characterizing strength capabilities and contraction speed of muscle groups in examined limbs, whereas differences in fatigue resistance of both limbs were insignificant. What is important is that, in time, after the surgery, the differences in strength capabilities between operated and non-operated limbs were fading out.

In addition, in 2006, Chwała [24] and his team performed an evaluation of kinematic gait parameters and effects of physiotherapy of a patient who had undergone a reconstruction of a ruptured Achilles tendon, with carbon material. The evaluation was based on 3D motion analysis performed with the use of the Vicon 250 system. Examinations took place right after plaster cast removal and after intense physiotherapy. Angular changes of the lower limbs' main joints were subjected to analysis. Parameters were normalized in relation to a single-step cycle and they were next compared with physiological parameters of gait in healthy people. Analysis revealed a significant disorder of the osteomuscular system right after plaster removal and a remarkable improvement of locomotion after the intense therapy – kinematic parameters of ankle and knee joint activity were comparable to biomechanical norm.

## Conclusions

1. Even many years after the reconstruction of a ruptured Achilles tendon with carbon material, patients did not manage to rebuild the muscle mass of the triceps calf muscle entirely in operated limbs.

2. The wider range of active and passive dorsal extension of the foot in operated limbs may prove postoperative elongation of the Achilles tendon.

3. Surgical reconstruction of tendons with carbon material caused a significant postoperative thickening of the tendon.

## Piśmiennictwo

- [1] Tylman D., Dziak A.: Traumatologia narządu ruchu. PZWL, Warszawa 1996; 815-821.
- [2] Raunest J., Burring K.F., Derra E.: Pathogenesis of Achilles tendon rupture. *Chirurg Nov*; 61 (11): 815-819, 1990.
- [3] Malcewicz M., Malcewicz S., Stępień G.: Leczenie operacyjne metodą Łukasika rozerwań podskórnych ścięgien Achillesa powstałych w związku z uprawianiem sportu. *Medycyna Sportowa*, 1994, 32: supl. 4: 216-217.
- [4] Thermann H., Frerichs O., Biewener A., Krettek C., Schandellaier P.: Biomechanical studiem of human Achilles tendon rupture. *Unfallchirurg Nov*; 98 (11): 570-575, 1998.
- [5] Garlicki M.: Chirurgia urazowa. Wyd. I. PZWL, Warszawa 1987.
- [6] Garlicki J., Kuś W.M.: Traumatologia sportowa. Wyd. I. PZWL, Warszawa 1978.
- [7] Dziak A.: Zamknięte uszkodzenia tkanek miękkich narządu ruchu. PZWL, Warszawa 1985.
- [8] Tomaszewski W., Kurek J., Deszczyński J.: Kleje fibrynowe w operacyjnym leczeniu zerwanego ścięgna Achillesa – doświadczenia własne. *Medycyna Sportowa*. Warszawa 1996.
- [9] Świerczyński R.: Uszkodzenia ścięgna piętowego u sportowców. *Medycyna Sportowa*, Nr 40; s.2-4, 1994.
- [10] Sotowski R., Porębski P., Gołaszewski M., Fleming J., Król M.: Uszkodzenia ścięgna piętowego w wyniku rekreacyjnego uprawiania sportu. *Medycyna Sportowa*, Nr 102, 2000.
- [11] Góralczyk B., Kiwerska-Jagodzińska K., Mikuła W.: Diagnostyka i leczenie uszkodzeń ścięgna Achillesa. *Medycyna Sportowa*, Nr 103, 2000.
- [12] Łukasik S., Pietrzyk A.: Urazowe uszkodzenia ścięgna Achillesa - zmiany histologiczne i wyniki leczenia operacyjnego metodą własną. *Ch.N.R.iO.P.*, t.36; s. 153-156, 1971.
- [13] Amis A.A., Mukherjee S.K., Muller J.H., Heatley F.W., Allen P.R.: Operative Techniques in Secondary Reconstruction of Anterior Cruciate Ligament, *Proc. III Congress ESKA*, Amsterdam, 1988, 156.
- [14] Aragona J., Parsons J.R., Alexander H., Weiss A.B.: Soft Tissue Attachment of Filamentous Carbon - Absorbable Polymer Tendon and Ligament Replacement, *Clin. Orthop.*, 160, 1981; 19-25.

## References

- [15] Benson J.: Elemental Carbon as Biomaterial, *J. Biomed. Mater. Symp.* Nr 2, I, 1982; 41-47.
- [16] Forester J.W., Ralis Z.A., Mc Kibbin B., Jenkins D.H.R.: Biological Reaction to Carbon Fiber Implants. The Formation and Structure of a Carbon-Induced „ Neotendon”, *Clin. Orthop.*, 131, 1978, 299-307.
- [17] Górecki A., Kuś W.M., Pykało R., Pampuch R., Błażewicz S., Chłópek J., Powroźnik A.: Polskie włókniste materiały węglowe w chirurgii rekonstrukcyjnej narządu ruchu, 15 lat doświadczeń. *Inżynieria Biomateriałów*, Kraków 1997, s. 3-7.
- [18] Russe O.A., Gerhardt J.J.: International SFTR metod of measuring and recording motion. Bern, Stuttgart, Wien, H. Hubert PUBLISCHERS, 1975.
- [19] Walaszek R., Staszaków E., Chwała W.: Rekonstrukcja włóknami węglowymi zerwanego ścięgna Achillesa. Zbiór prac seminarium naukowego „ Mechanika w Medycynie”, Rzeszów 2000.
- [20] Chwała W., Staszaków E., Walaszek R.: Analiza aktywności bioelektrycznej mięśni trójgłowych łydki po rekonstrukcji włóknami węglowymi zerwanego ścięgna Achillesa. *Inżynieria Biomateriałów*, Kraków 2000, s.18-23.
- [21] Walaszek R., Kasperczyk T., Magiera L.: Diagnostyka w kinezyterapii i masażu. *Biosport*, Kraków 2007.
- [22] Ryłko A.: Metody analizy statystycznej. Wydawnictwo Skryptowe AWF Kraków, nr 104, 1989.
- [23] Chwała W., Staszaków E., Walaszek R.: Biomechaniczna analiza parametrów siłowych, szybkościowych i wytrzymałościowych mięśni trójgłowych łydki po rekonstrukcji włóknami węglowymi zerwanego ścięgna Achillesa. *Inżynieria Biomateriałów*, Kraków 2002, s. 26-33.
- [24] Chwała W., Ruchlewicz T., Staszaków E., Walaszek R., Błażewicz S.: Ocena parametrów kinematycznych chodu i efektów fizjoterapii pacjenta po rekonstrukcji zerwanego ścięgna Achillesa nićmi węglowymi na podstawie trójwymiarowej analizy ruchu. *Inżynieria Biomateriałów*, Kraków 2006, s. 35-42.