

KRZYSZTOF SKIBA<sup>1</sup>, KRZYSZTOF DUDEK<sup>2</sup>, ROMAN RUTOWSKI<sup>1</sup>, EDWARD WICZKOWSKI<sup>2</sup>

## Termograficzna ocena metod leczenia chirurgicznego urazowych rozerwań ścięgna Achillesa

### Thermographics Evaluation of Ruptured Achilles Tendon Surgical Treatment

<sup>1</sup> Katedra i Klinika Chirurgii Urazowej i Chirurgii Ręki AM we Wrocławiu

<sup>2</sup> Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn PWr.

<sup>3</sup> Wydziałowy Zakład Wytrzymałości Materiałów PWr.

#### Streszczenie

**Wprowadzenie.** Termografia jako nieinwazyjna i bezkontaktowa metoda pomiaru temperatury doskonale nadaje się do badania procesów cieplnych zachodzących na powierzchni ciała ludzkiego. Może być uzupełnieniem rutynowych metod stosowanych między innymi w diagnostyce urazowych zerwań ścięgna Achillesa oraz odzwierciedleniem wyników leczenia operacyjnego.

**Cel pracy.** Ocena przydatności termografii w monitorowaniu procesu leczenia urazowych przerwań ścięgna Achillesa oraz określenie związku między asymetrią temperatury powierzchni skóry kończyny operowanej i nieoperowanej a sprawnością stawu skokowego.

**Materiał i metody.** Badaniu poddano 50 pacjentów operowanych w Klinice Chirurgii Urazowej i Chirurgii Ręki AM we Wrocławiu z powodu podskórnego rozerwania ścięgna Achillesa. Pacjenci byli leczeni zarówno tradycyjnymi metodami operacyjnymi (15%), jak i nową metodą mikrochirurgicznej rekonstrukcji (85%). Za pomocą kamery termowizyjnej mierzono rozkład temperatury na tylnej powierzchni łydki operowanej kończyny (ze szczególnym uwzględnieniem miejsca rekonstrukcji ścięgna) i porównywano z rozkładem temperatury na kończynie zdrowej. Takim samym pomiarem poddano grupę kontrolną 175 osób nieoperowanych i na podstawie tych wyników opracowano „mapę termiczną” kończyny „zdrowej” oraz 95% przedział ufności dla różnicy między temperaturami tylnych powierzchni podudzi kończyny dolnej lewej i prawej.

**Wyniki.** Na podstawie zarejestrowanych termogramów tylnych powierzchni podudzi w grupie kontrolnej wyznaczono graniczne wartości asymetrii temperatur występujące między kończynami zdrowymi. Wartości te posłużyły do określenia zakresu asymetrii patologicznej u pacjentów operowanych różnymi metodami.

**Wnioski.** Termografia jako bezkontaktowa i nieinwazyjna metoda pomiaru temperatury może być stosowana jako metoda uzupełniająca do monitorowania procesów naprawczych w organizmie po leczeniu chirurgicznym oraz do oceny przydatności sposobów leczenia i oceny sprawności ruchowej operowanej kończyny (*Adv Clin Exp Med* 2005, 14, 3, 485–490).

**Słowa kluczowe:** ścięgno Achillesa, mikrochirurgia, termografia.

#### Abstract

**Background.** Thermography as non-invasive and non-contact method is suitable for investigation of thermal processes on human body surface. It can be perfect supplement for routine methods applicated in Achilles tendon lesions as well as in estimation of surgical treatment results.

**Objectives.** Goal of the study was evaluation of thermographic methods usefulness for traumatic Achilles tendon lesions treatment monitoring as well as for estimation of relationship between superficial skin temperature asymmetry on operated and nonoperated site in connection with ankle joint functionality.

**Material and Methods.** 50 patients treated in the Department of Traumatic and Hand Surgery for the traumatic Achilles tendon rupture were evaluated. Patients were treated with traditional surgical procedure (15%) and with new microsurgical reconstructional method (85%). Using thermovision camera, the average temperature on the posterior surface of the calf was measured (with special attention paid to the tendon anastomosis site). Results were compared with average temperature on the healthy calf. The same measurements were performed for the 175 patients treated nonoperatively. Basing on the results the “thermic map” of healthy leg was formed and 95% of confidence interval was obtained for the temperature difference between left and right leg posterior back surfaces.

**Results.** Basing on registered thermograms in control group, the boundry values of temperature between healthy legs were estimated. These values were useful for pathological asymmetry estimation for patients operated with different methods.

**Conclusions.** Thermography as non-contact and non-invasive measuring method is of great importance as additional help for monitoring of healing process after surgical treatment. It is applicable also for evaluation of treatment methods and functional recovery of the operated leg (*Adv Clin Exp Med* 2005, 14, 3, 485–490).

**Key words:** Achilles tendon, microsurgery, thermography.

Termografia jako bezkontaktowa i nieinwazyjna metoda pomiaru temperatury nadaje się doskonale do badania procesów cieplnych zachodzących na powierzchni ciała ludzkiego oraz do oceny zmian patologicznych. Może być cennym uzupełnieniem innych rutynowych metod (ultrasonografia, tomografia komputerowa, rezonans magnetyczny) stosowanych w diagnostyce urazowych zerwań ścięgna Achillesa oraz odzwierciedleniem wyników leczenia operacyjnego. Temperatura ciała zależy od umiejscowienia anatomicznego i zmienia się w czasie. Temperatura danego organu zależy od natężenia własnych przemian metabolicznych oraz procesów transportu ciepła za pośrednictwem płynów ustrojowych (głównie krwi). Każda ingerencja chirurgiczna wiąże się z lokalnym uszkodzeniem układu krwionośnego, co prowadzi do zakłóceń procesu termoregulacji, a tym samym znajduje odzwierciedlenie w obrazach termalnych. Analiza termogramów umożliwia określenie zmian temperatury co do wartości i rozkładu przestrzennego. Autorzy oceniali możliwość zastosowania techniki termograficznej do analizy zakresu zmian pooperacyjnych temperatury kończyn w obrębie mięśnia trójgłowego łydki, a szczególnie obszaru ścięgna Achillesa u pacjentów operowanych zarówno nową metodą mikrochirurgicznej rekonstrukcji przerwanego ścięgna

[1–3], jak i tradycyjnymi metodami leczenia operacyjnego. Ocenę tych metod przez analizę temperatury w wybranych miejscach kończyny dolnej operowanej i „zdrowej” powiązano ze stopniem jej sprawności po wykonanej rekonstrukcji. Jako odniesienie przyjmuje się temperaturę podobnego obszaru po symetrycznej stronie ciała. Margines błędu dokładności pomiaru termograficznego ustalono na podstawie grupy kontrolnej na 0,5K. Stąd przyjęto, że zmiana temperatury powyżej 0,5K może oznaczać proces patologiczny.

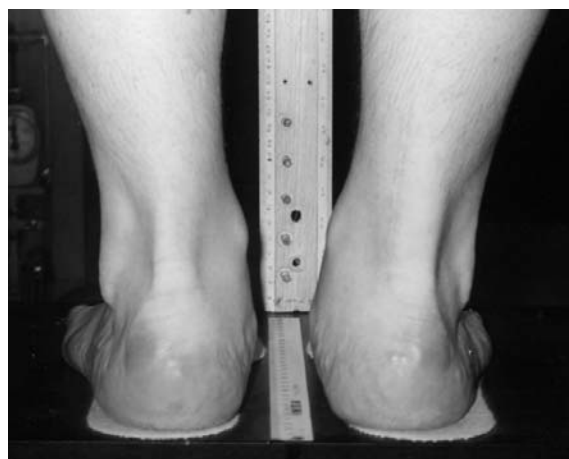
Ponieważ wymiana ciepła jest procesem dynamicznym, w przypadku ciała ludzkiego zależnym od warunków zewnętrznych i samego organizmu, wszystkie termogramy były wykonywane w podobnych ustalonych warunkach [4–6]:

- o tej samej porze dnia (10.00–12.00),
- po dwudziestominutowej adaptacji do warunków zewnętrznych,
- w tych samych warunkach klimatycznych (temperatura 20–23°C, wilgotność względna 55–65%),
- z tej samej odległości, z użyciem tej samej kamery (Thermovision®550 z obiektywem 40°).

Autorzy założyli, że kończyna nieoperowana stanowi wzorzec obszarów zdrowych dla potrzeb analizy obszarów z podejrzeniem zmian pooperacyjnych występujących w operowanej kończynie.



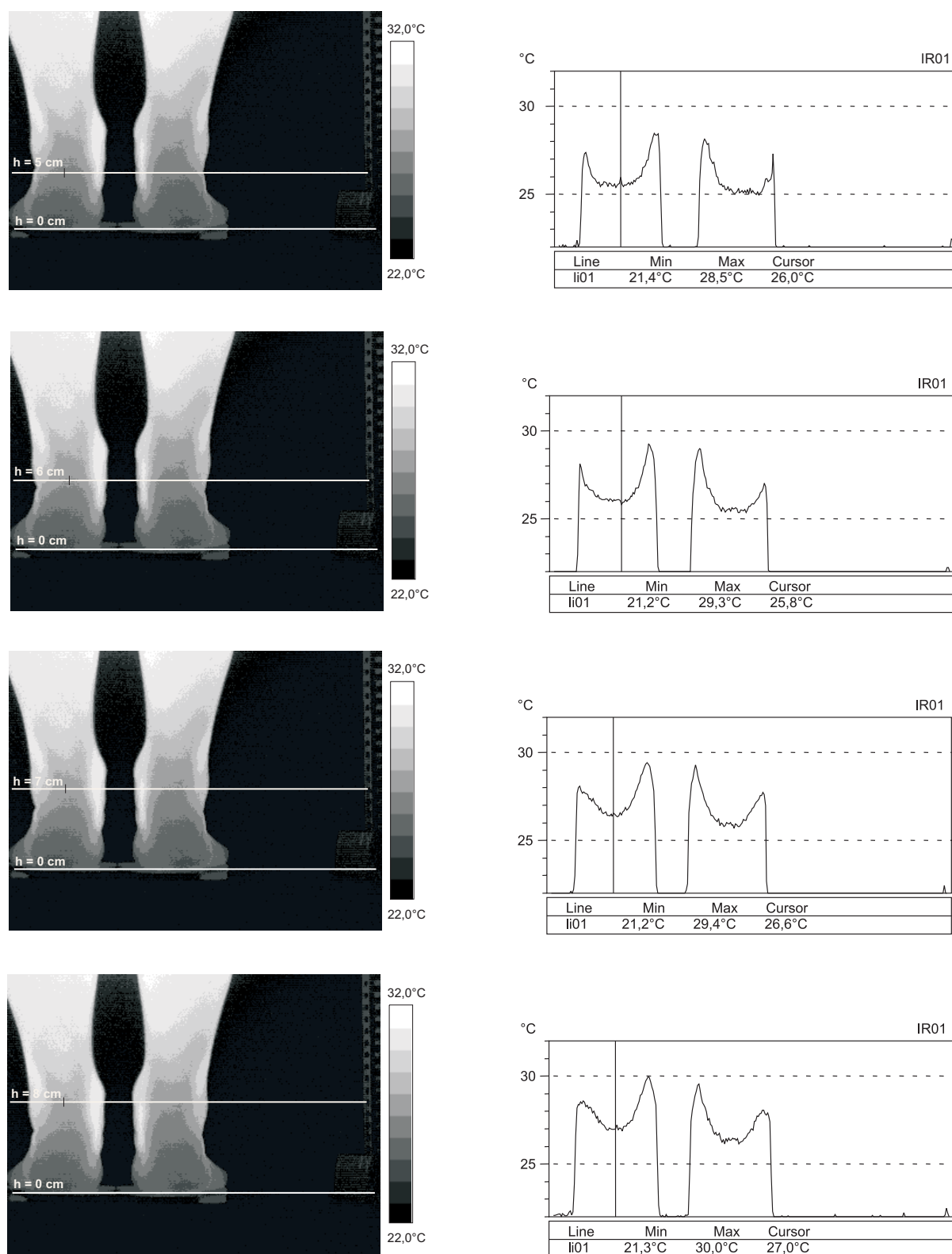
a)



b)

**Ryc. 1.** Blizny pooperacyjne po leczeniu zerwania ścięgna Achillesa kończyny prawej: a) sposobem Bunnela, b) nową metodą mikrochirurgicznej rekonstrukcji

**Fig. 1.** Scars after surgical treatment of right Achilles tendon rupture: a) method by Bunnell, b) the new method microsurgical reconstruction



**Ryc. 2.** Poziome profile temperaturowe (na wysokościach 5, 6, 7 i 8 cm) na termogramie osoby z grupy kontrolnej służące do wyznaczenia przebiegu pionowego profilu wzdłuż ścięgna Achillesa kończyny dolnej lewej

**Fig. 2.** Horizontal temperature profiles (on the level 5, 6, 7 and 8 cm) on the patient's thermogram control group used to determine the course of perpendicular profile the Achilles tendon of the left leg

Zadaniem było określenie różnicy temperatur między symetrycznymi punktami kończyn oraz rozległości asymetrii (długości odcinka o różnicy temperatur większej niż 0,5°C).

## Material i metody

Badaniom poddano 50 pacjentów operowanych w Klinice Chirurgii Urazowej i Chirurgii Ręki Aka-

**Tabela 1.** Średnie wartości wyników pomiarów termograficznych, dynamometrycznych i ruchomości stawów skokowych w płaszczyźnie strzałkowej

**Table 1.** The averages of value results measurements of the thermographics, dynamometrics and the mobility ankle joint in arrow plane

Charakterystyka (Characteristics)	Grupa A (Group A)	Grupa B (Group B)	Grupa K (Group K)
Liczebność grupy N (Q Uantity "N")	42	8	175
Czas między operacją a pomiarami – lata (Time period between surgical procedure and tests – years)	3,3 ± 2,9	4,8 ± 3,2	–
Różnica temperatur na wysokości 3 cm $\Delta T^{(3)}$ (Difference of temperatures for altitude of 3 cm $\Delta T$ )	–0,35 ± 1,23	–0,45 ± 1,09	–0,20 ± 0,76
Różnica temperatur na wysokości 4 cm $\Delta T^{(4)}$ (Difference of temperatures for altitude of 4 cm $\Delta T$ )	–0,38 ± 0,94	–0,39 ± 1,02	–0,11 ± 0,74
Różnica temperatur na wysokości 5 cm $\Delta T^{(5)}$ (Difference of temperatures for altitude of 5 cm $\Delta T$ )	–0,45 ± 1,31	–0,55 ± 1,22	+0,11 ± 0,62
Różnica temperatur na wysokości 6 cm $\Delta T^{(6)}$ (Difference of temperatures for altitude of 6 cm $\Delta T$ )	–0,65 ± 0,93	–0,72 ± 0,93	0,00 ± 0,66
Różnica temperatur na wysokości 7 cm $\Delta T^{(7)}$ (Difference of temperatures for altitude of 7 cm $\Delta T$ )	–0,55 ± 1,12	–0,55 ± 0,99	0,00 ± 0,81
Różnica temperatur na wysokości 8 cm $\Delta T^{(8)}$ (Difference of temperatures for altitude of 8 cm $\Delta T$ )	–0,75 ± 1,03	–0,73 ± 1,17	–0,11 ± 1,17
Różnica temperatur na wysokości 9 cm $\Delta T^{(9)}$ (Difference of temperatures for altitude of 9 cm $\Delta T$ )	–0,66 ± 1,22	–0,65 ± 1,06	+0,17 ± 0,99
Różnica temperatur na wysokości 10 cm $\Delta T^{(10)}$ (Difference of temperatures for altitude of 10 cm $\Delta T$ )	–0,45 ± 0,97	–0,45 ± 1,03	+0,34 ± 0,94
Różnica temperatur na wysokości 11 cm $\Delta T^{(11)}$ (Difference of temperatures for altitude of 11 cm $\Delta T$ )	–0,35 ± 0,99	–0,33 ± 1,11	+0,29 ± 0,82
Różnica temperatur na wysokości 12 cm $\Delta T^{(12)}$ (Difference of temperatures for altitude of 12 cm $\Delta T$ )	–0,39 ± 1,28	–0,45 ± 1,33	+0,39 ± 0,90
Różnica sił wywieranych na dynamometr $\Delta P$ [N] (Difference of forces acting on the dynamometer $\Delta P$ [N])	–125 ± 105	–145 ± 126	–10 ± 25
Różnica kątów zgięcia podszwawego $\Delta \phi$ [°] (Difference of plantar flexion $\Delta \phi$ [°])	–5 ± 5	–6 ± 4	0 ± 3
Różnica kątów zgięcia grzbietowego $\Delta \epsilon$ [°] (Difference a top of foot flexion $\Delta \epsilon$ [°])	–12 ± 9	–11 ± 10	0 ± 5

demii Medycznej we Wrocławiu z powodu rozerwania ścięgna Achillesa. Pacjenci byli leczeni zarówno tradycyjnymi metodami operacyjnymi (15%), jak i nową metodą mikrochirurgicznej rekonstrukcji (85%). Celem badań termograficznych była ocena tych sposobów leczenia z punktu widzenia różnicy rozkładu temperatury w obszarze mięśnia trójgłowego łydki, szczególnie w obrębie zrekonstruowanego ścięgna oraz ścięgna „zdrowego”. Równoległe z pomiarami temperatury mierzono maksymalne siły wywierane obiema stopami na dynamometr oraz zakres ruchomości stawu skokowego obu kończyn (maksymalne kąty zgięcia podszwawego i grzbietowego).

W tych samych warunkach klimatycznych dokonano pomiarów w grupie kontrolnej, którą stanowiło 175 osób (w wieku 23–52 lat), które nie przechodziły żadnej operacji ścięgna Achillesa. Na podstawie wyników pomiarów w grupie kontrolnej oszacowano 95% przedziały ufności dla asymetrii termicznej kończyny lewej i prawej oraz asymetrii ruchomości obu stawów.

Na podstawie grupy kontrolnej stworzono nor-

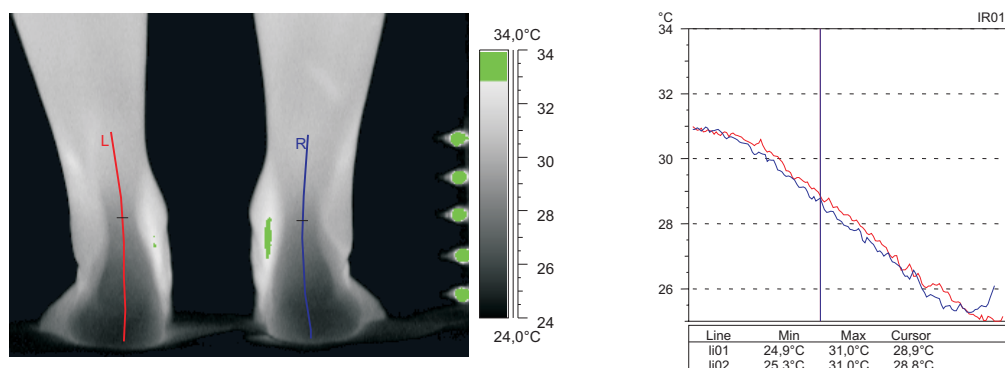
mę obrazów termograficznych podudzi dla osób zdrowych. Profile temperaturowe wzdłuż kończyny prowadzono przez miejsca o najniższej temperaturze w przekroju poziomym (ryc. 2). Ponieważ ścięgna są mniej ukrwione niż mięśnie, mają więc niższą temperaturę (o ok. 1°C). Miarą asymetrii temperatur kończyny operowanej  $t_{op}$  i nieoperowanej  $t_{nop}$  (a w przypadku grupy kontrolnej – kończyny lewej  $t_L$  i prawej  $t_P$ ) na wysokościach kończyn od  $h = 3$  cm do 18 cm były różnice:

$$\Delta T^{(h)} = (t_{op} - t_{nop})^{(h)} \text{ lub } (t_L - t_P)^{(h)} [^{\circ}\text{C}].$$

Miarą efektu leczenia zerwania ścięgna była różnica w sile wywieranej na dynamometr kończyną leczoną  $P_{op}$  i zdrową  $P_{nop}$ :

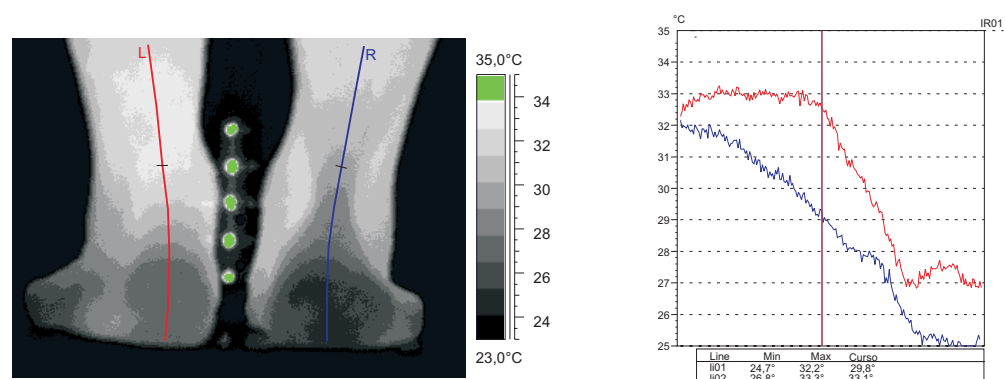
$$\Delta P = P_{op} - P_{nop} \text{ lub } P_L - P_P [N],$$

oraz różnica w ruchomości stawów skokowych w płaszczyźnie strzałkowej kończyny operowanej i nieoperowanej, mierzona za pomocą goniometru:



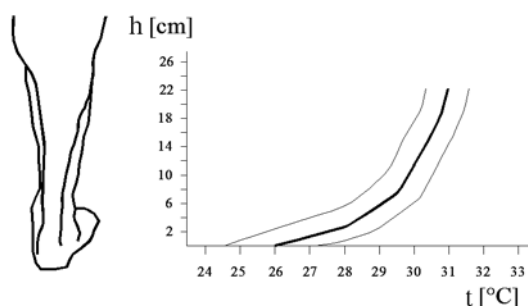
**Ryc. 3.** Przykładowy termogram okolic ścięgna Achillesa osoby z grupy kontrolnej oraz profile temperaturowe (rozkłady temperatury wzdłuż linii L i R)

**Fig. 3.** The example thermogram of the area of tendon Achilles control group patient and temperature profiles (the random of temperature along line the L and the R)



**Ryc. 4.** Termogram i profile temperaturowe u pacjenta (trzy miesiące po operacji ścięgna Achillesa kończyny dolnej lewej)

**Fig. 4.** Thermogram and the temperature profiles in patient (three months after operation of left Achilles tendon)



**Ryc. 5.** Średnia temperatura (oraz 95% przedział ufności) tylnej powierzchni podudzia w funkcji wysokości h u osób z grupy kontrolnej

**Fig. 5.** The average temperature (as well 95%) confidence interval of the leg posterior surface in h level function in control group patients

dla kąta zgięcia podszwowego  
 $\Delta\varphi = \varphi_{op} - \varphi_{nop}$  lub  $\varphi_L - \varphi_P$  [°],

dla kąta zgięcia grzbietowego  
 $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{op} - \varepsilon_{nop}$  lub  $\varepsilon_L - \varepsilon_P$  [°].

## Wyniki

Wyniki pomiarów termograficznych, dynamometrycznych i ruchomości stawów pacjentów poddanych nowej metodzie mikrochirurgicznej rekonstrukcji (grupa A), operowanych metodami tradycyjnymi (grupa B) oraz grupy kontrolnej (grupa K) zebrano w tab. 1.

## Omówienie

Pomiar temperatury powierzchni skóry w okolicy ścięgna Achillesa prowadzony w stałych warunkach badania umożliwia uzyskiwanie powtarzalnych i porównywalnych wyników. Umożliwia określanie rozległości zmian układu mikronaczyń krwionośnych wywołanych operacją oraz monitorowanie przebiegu i skuteczności leczenia. Należy podkreślić mały koszt badań. Pełna nieinwazyjność badań termograficznych umożliwia dowolną częstotliwość wykonywanych rejestracji.

Wartość asymetrii temperatur w obrębie zrekonstruowanego ścięgna Achillesa zależy zarówno od sposobu, jak i czasu, który upłynął od operacji. W okresie do pięciu miesięcy utrzymuje się stan zapalny i temperatura operowanej kończyny jest wyższa (nawet o 3°C). Po tym okresie tempe-



ratura kończyny w obrębie rekonstrukcji ścięgna jest wyraźnie niższa niż w tym samym miejscu na kończynie nieoperowanej (o ponad  $0,7^{\circ}\text{C}$ ) a rozległość strefy asymetrii zależy od sposobu operacji.

Obszar ten jest znacznie krótszy w przypadku nowej metody mikrochirurgicznej rekonstrukcji (podobnie jak i blizna pooperacyjna – ryc. 1).

### Piśmiennictwo

- [1] Kuś H, Maciejewska M, Rutowski R, Skiba K, Żynda L: Mikrochirurgiczna rekonstrukcja przerwanego ścięgna Achillesa. *Chir Narz Ruchu i Ortop Pol* 1994, LIX, Sup. 3, 515–519.
- [2] Kuś H, Rutowski R, Skiba K: Mikrochirurgiczna rekonstrukcja przerwanego ścięgna Achillesa. W: Wybrane zagadnienia z mikrochirurgii, Red.: Z. Mackiewicz, i G.A. Szymczyński. Wydawnictwo Andromed, Bydgoszcz 1998, 99–104.
- [3] Skiba K, Wiczowski E, Rutowski R: Determination of tensile forces breaking of Achilles tendon. 32<sup>nd</sup> Solid Mechanics Conference, Zakopane.
- [4] Dudek K: Thermography as a Diagnosis System. *SYSTEM Journal of Transdisciplinary System Science*, 1998, Vol. 3, No. 2, 68–79.
- [5] Nowakowski A (red.): Postępy termografii – aplikacje medyczne. Wydawnictwo Gdańskie, Gdańsk 2001, 112–117.
- [6] Supińska M, Jethon Z, Dudek K: Zastosowanie termowizji w badaniach wysiłkowych. IV Konferencja Naukowa „Biomechanika’99”, Polanica Zdrój, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1999, 465–468.

### Adres do korespondencji:

Krzysztof Skiba  
Katedra i Klinika Chirurgii Urazowej i Chirurgii Ręki AM  
ul. Traugutta 57/59  
50-417 Wrocław

Praca wpłynęła do Redakcji: 16.09.2004 r.

Po recenzji: 1.12.2004 r.

Zaakceptowano do druku: 14.12.2004 r.

Received: 16.09.2004

Revised: 1.12.2004

Accepted: 14.12.2004