

# The new thermometric test in diagnosis and estimation of the therapeutic effects in patients with vascular diseases

## Nowy test termometryczny w diagnostyce i ocenie efektów terapii schorzeń naczyńowych

Witold Kollątaj<sup>1</sup>, Marek Durakiewicz<sup>2</sup>, Leszek Szewczyk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Paediatrics, Endocrinology and Neurology, Medical University, Lublin, Poland; <sup>2</sup>Department of Vascular Surgery, The Pope John Paul II SPST, Zamość, Poland (<sup>1</sup>Klinika Pediatrii, Endokrynologii i Neurologii Akademii Medycznej w Lublinie; <sup>2</sup>Pododdział Chirurgii Naczyń SPSW im. Papieża Jana Pawła II w Zamościu)

### Abstract

**Background.** The work concerns the possibilities of application of the new thermometric test — cooling test.

**Material and methods.** A study group consisted of 45 subjects, aged 10–60 years. These were patients with diseases causing peripheral circulatory dysfunction — 2 patients with peripheral artery occlusive disease (PAOD), 9 with Raynaud disease, 9 with anorexia nervosa, 2 with psychoneurosis and symptoms suggesting angioneurosis (but clinically without signs of vascular dysfunction), 6 with after-effects of chilblains and 17 with diabetes mellitus type 1.

The control group consisted of 51 healthy patients aged 10–50 years.

The test is based on continuous thermometry method, using original electronic equipment and innovative software. It refers to well-confirmed clinical observations referring to the relationships between parameters of heat distribution and function of local microcirculation.

**Results.** The results of our observations showed, that the thermometric parameters in patients with angioneurosis, anorexia nervosa, diabetes mellitus type 1 with symptoms of microangiopathy, patients with after-effects of chilblains as well as subjects with PAOD differ from the parameters typical of healthy subjects.

**Conclusions.** Our observations suggest, that the new thermometric test can be useful in the differential diagnosis of Raynaud syndrome and angioneurosis as well as in the estimation of evolution of microcirculatory dysfunction. It can be useful in the estimation of the usefulness of administered drugs.

**Key words:** microcirculation, microangiopathy, thermometry, thermometric test, heat distribution

### Streszczenie

**Wstęp.** Praca dotyczy zastosowania nowego testu termometrycznego — testu oziębieniowo-termometrycznego. Istotą testu jest ocena wybranych parametrów dystrybucji energii cieplnej w organizmie, prowadzona metodą termometrii ciągłej.

**Materiał i metody.** Badano 45 pacjentów w wieku 10–60 lat, ze schorzeniami prowadzącymi do pojawiania się objawów sugerujących dysfunkcję układu krążenia, w tym: 2 osoby z zaawansowaną miażdżycą zarsostową tętnic (PAOD), 9 — z chorobą Raynauada, 9 — z jądłowstrętem psychicznym, 2 — z psychogennymi napadami charakteryzującymi się uczuciem napadowego ziębnięcia kończyn górnych bez objawów dysfunkcji naczyniowej, 6 — z następstwami odmrożeń rąk i palców kończyn górnych oraz 17 — z cukrzycą typu 1. Grupę kontrolną stanowiło 51 zdrowych pacjentów w wieku 10–50 lat.

Wykorzystano oryginalne oprzyrządowanie oraz oprogramowanie. Metoda nawiązuje do dobrze udokumentowanych spostrzeżeń klinicznych łączących parametry dystrybucji ciepła ze stanem mikrokrążenia, a efekty

Address for correspondence (Adres do korespondencji):

Dr med. Witold Kollątaj, Klinika Pediatrii, Endokrynologii i Neurologii AM w Lublinie, ul. Chodźki 2, 20–093 Lublin, Poland  
tel: +48 (0 81) 718 54 40, e-mail: Witold.6298177@pharmanet.com.pl

wszelkich prób zachwiania miejscowej gospodarki cieplnej — z reakcjami występującymi przede wszystkim na obszarze małych naczyń.

**Wyniki.** Obserwacje wskazują, że w następujących grupach schorzeń: nerwice naczyniowe, jądłowstręt psychiczny, cukrzyca typu I z potwierdzoną mikroangiopatią, następstwa odmrożeń palców rąk oraz PAOD, wartości ocenianych parametrów termometrycznych znacznie odbiegają od wartości odnotowanych u osób zdrowych.

**Wnioski.** Na podstawie obserwacji stwierdzono, że nowy test może znaleźć zastosowanie w diagnostyce różnicowej zespołu Raynauda i dolegliwości psychogennych, w ocenie ewolucji zmian naczyniowych w schorzeniach prowadzących do dysfunkcji mikrokrążenia oraz w ocenie wpływu stosowanej terapii na stan funkcjonalny mikrokrążenia.

W celu prezentacji możliwości zastosowań wspomnianej metody porównywano zmiany parametrów termometrycznych obserwowanych u pacjentów z PAOD w trakcie leczenia alprostadilem lub lekami alternatywnymi. Niniejsza praca stanowi doniesienie wstępne.

**Słowa kluczowe:** mikrokrążenie, mikroangiopatia, termometria, test termometryczny, dystrybucja ciepła

## Introduction

Currently used, non-invasive methods of estimation of parameters of microcirculation can not give a full satisfaction to a physician. As a matter of fact, a numerous methods can be used, their numerous limitations are evident, so the process of diagnosis can be unsatisfied. Some of mentioned limitations result from the necessity to visualise a very small blood vessel (ophthalmoscopy or capillaroscopy), some limitations result from difficulties with finding a good vessel for usg examination (RI, resistance index) some of these methods can be provided only with a help of difficult to get and expensive equipment (laser Doppler flowmetry). The laser Doppler flowmetry has some technical limitations, too. It enables to examine very small areas, and estimate of microcirculation parameters in vessels located at a depth of only 1–2 mm.

Recently, some faiths are placed in laser Doppler method using dual laser beams [1] (red and green beams). This method has his own limitations. It a new method, so it don't permit us to draw unquestionable conclusions.

A very good method — laser Doppler flow estimation with computer analysis of vessel image [2] can be useful only in the case of retinal vessels flow estimation.

Very precision myographs (they enable to examine blood vessels being 200–300  $\mu\text{m}$  in diameter) can be useful in laboratory (experimental) investigations only.

Because, the microcirculation system consists of vessels with dynamic changes of blood flow parameters, it is obvious, that the best methods of microcirculation diagnosis should be based on functional tests.

These tests can enable setting the diagnosis in the early stages of microangiopathy (endothelopathy) that is before the physical destruction of vessels is done.

## Wstęp

Dotychczas częściej stosowane nieinwazyjne, przeżyciowe metody służące do oceny stanu krążenia obwodowego nie dają zadowalającego wglądu w stan mikrokrążenia.

Co prawda arsenał środków, jakim dysponuje współczesna medycyna wydaje się dość bogaty, jednak posiadają one liczne ograniczenia, które zawężają możliwości diagnostyczne jedynie do nielicznych obszarów mikrokrążenia (kapilaroskopia i badanie oftalmoskopowe). Wymagają także dobrej wizualizacji większego naczynia tętniczego i niosą ryzyko istotnych błędów przy mniejszych prędkościach przepływu (ocena oporu naczyniowego, tzw. RI [resistance index] w badaniu dopplerowskim metodą fali pulsacyjnej) lub jak w przypadku metod laserowo-dopplerowskich są trudno dostępne, drogie i ograniczają zasięg badania do bardzo małych powierzchni i głębokości (1–2 mm).

Ostatnio wiele nadziei pokłada się w badaniach laserowo-dopplerowskich opartych na zastosowaniu podwójnych wiązek laserowych (czerwonej i zielonej) [1]. Badania tego typu mają pewne ograniczenia, są jeszcze „nowinką techniczną” i wymagają (jak na razie) dużej ostrożności w formułowaniu kategoriycznych wniosków. Nieco większe potencjalne możliwości niesie skojarzenie metody laserowo-dopplerowskiego pomiaru przepływu z komputerową analizą obrazu naczynia [2] — badanie to ma jednak bardzo ograniczone zastosowanie (ocena naczyń siatkówki) i nie należy do grupy metod bardziej dostępnych. Precyzyjnych technik badawczych odwołujących się do stosowania miografów [3] pozwalających oceniać funkcje naczyń nawet bardzo małego kalibru (średnica 200–300  $\mu\text{m}$ ) wciąż się używa (ze zrozumiałych względów) tylko w laboratoriach naukowych (badania *in vitro*).

The new thermometric test, cooling test, can be considered as one of desired method of functional microcirculation examination.

### Material and methods

A study group consisted of 45 subjects, aged 10–60 years. These were patients with diseases causing peripheral circulatory dysfunction — 2 patients with peripheral artery occlusive disease (PAOD), 9 with Raynaud's disease, 9 with anorexia nervosa, 2 with psychoneurosis and symptoms suggesting angioneurosis (but clinically without signs of vascular dysfunction), 6 with after-effects of chilblains and 17 with diabetes mellitus type I.

The control group consisted of 51 healthy patients aged 10–50 years.

To estimate the parameters of microcirculation, we used the new test called the new cooling-thermometric test (abbreviation — thermometric test)

The test is based on continuous thermometry method, using original electronic equipment and innovative software. It refers to well-confirmed clinical and experimental observations referring to the relationships between parameters of heat distribution and function of local microcirculation

The mentioned equipment consists of:

1. Temperature probe (K-type thermocouple) with a very low thermal capacity. This thermocouple is a modified part of professional TES I 300 digital thermometer.
2. Professional digital thermometer TES I 300 (resolution 0.1°C; accuracy  $\pm [0.3\% + 1^\circ\text{C}]$ ; sampling rate 2.5 times per second; power requirement 9-Volt battery 6LR6 I [quite safe for a human being]; output signal for temperatures 10–50°C : analogue signal 1 mVdc/°C with accuracy  $\pm 0.3\%$ ). The analogue output signal (direct current) is transmitted to a V/f (voltage/frequency) converter.
3. The V/f converter with linearity  $\pm 0.05\%$  for 10 kHz FS is a very stable electronic unit. It is based on the integrated circuit AD537 (Analog Devices, USA). It's power requirement: 9-Volt battery 6LR6 I. This V/f converter functions as the interface between digital thermometer TES I 300 and the digital recorder.
4. The digital recorder, by sampling the analogue signals (coming from V/f converter), converts them to digital ones and records them in the form of \*.dmr files (Toshiba specific format of compressed audio files). By doing this, it makes possible storing these signals for the future purpose and restore them in any time without any distortion of recorded frequency/time informations. The digital memory of the recorder can store

Ponieważ mikrokrążenie stanowi układ naczyń o dynamicznie zmieniających się parametrach przepływu, oczywiste jest, że poszukiwania nowych rozwiązań powinny iść w kierunku badań czynnościowych i oceny parametrów krążeniowych w trakcie stosowania bodźców prowokujących zmiany lokalnego przepływu.

Odwołanie się do badań czynnościowych umożliwia diagnostykę mikroangiopatii już na etapie endotelopatii, a nie tylko przy zmianach utrwalonych.

Próbą sprostania takim oczekiwaniom może być zastosowanie nowego, proponowanego przez autorów niniejszego artykułu, testu termometrycznego.

### Material i metody

Przebadano 45 pacjentów w wieku 10–60 lat ze schorzeniami związanymi z wystąpieniem objawów sugerujących dysfunkcję układu krążenia. Wśród tych osób odnotowano: u 2 — zaawansowaną miażdżycę zarostową tętnic (PAOD, *peripheral artery occlusive disease*), u 9 — chorobę Raynauada, u 9 — jadłowstręt psychiczny, u 2 — psychogenne napady charakteryzujące się uczuciem napadowego ziębnięcia kończyn górnych bez objawów dysfunkcji naczyniowej, u 6 — następstwa odmrożeń rąk i palców kończyn górnych oraz u 17 chorych — cukrzycę typu I.

U pacjentów z PAOD badanie przeprowadzono przed podaniem alprostadilu i po zastosowaniu leku.

Grupę kontrolną stanowiło 51 zdrowych pacjentów w wieku 10–50 lat.

W celu oceny stanu mikrokrążenia zastosowano nowy test, którego istotą jest ocena wybranych parametrów dystrybucji energii cieplnej w organizmie, prowadzona metodą termometrii ciągłej.

W badaniu wykorzystano oryginalne oprzyrządowanie oraz oprogramowanie i nawiązano do dobrze udokumentowanych spostrzeżeń klinicznych łączących parametry dystrybucji ciepła z aktualnym stanem mikrokrążenia, a efekty wszelkich prób zachwiania miejscowej gospodarki cieplnej — z reakcjami toczącymi się przede wszystkim w obszarze małych naczyń.

Aparatura badawcza zawierała następujące elementy składowe:

1. Punktowy czujnik temperatury badanego obiektu. Jest to czujnik termoparowy (*K-type thermocouple*) o bardzo małej pojemności cieplnej, a przez to posiadający niską bezwładność cieplną. Czujnik ten jest trochę zmodyfikowanym elementem wyposażenia profesjonalnego termometru cyfrowego TES I 300 (mierzącego temp. obiektów z dokładnością do 0,1°C). Pomiar odbywa się ciągle, temp. jest próbkowana z częstotliwością ok. 2,5/s.

up to 60 results of thermometric tests. The power requirement of mentioned recorder: 3 V (2 x AAA). The build-in interface and a special cable, enable to transfer recorded files (\*.dmr files) to any PC computer (transferring through a printer port, LPT1).

5. The PC computer with innovative software (author: W. Kołłątaj) enables checking the format of analyzed files, converting stored frequency/time informations to values describing relationship temperature/time. The software enables to draw thermometric curves (graphs) and estimate values of numerous so called thermometric parameters.

To get a comparable results, the tests are carried out in precisely defined conditions:

- the test is carried out 1.5–2 hours after a meal;
- the room with no air flow, with the air temperature +23°C to +24.5°C and air humidity 35–50%;
- no exposition to direct sunlight;
- patient's clothing adequate to the air temperature;
- physical comfort (patient is sitting on a chair; comfortable body position).

Two types of tests were performed.

The tests were provided to determine the parameters of upper limb or lower limb finger skin microcirculation.

When the upper limb was tested, the test was carried out in the following way:

- estimation the skin temperature (determining the value of so called initial skin temp.);
- cooling (the medial and distal part of a finger immersed in +10°C water for a period of 90 s);
- wiping the finger;
- continuous (for 8 min) measurement and recording the finger surface temperature. The temperature sensor placed in a 1/2 fingertip length.

When the big toe skin circulation was tested, the test was carried out in the following way:

- estimation the skin temperature (determining the value of so called initial skin temp.);
- cooling (the medial and distal part of a finger immersed in +12°C water for a period of 60 s);
- wiping the finger;
- continuous (for 8 min) measurement and recording the finger surface temperature. The temperature sensor placed in a 1/2 fingertip length. The effects of these tests were presented as graphs: temperature/time (Fig. 1A) or numerical values called thermometric values (Fig. 1B).

We present the characteristics of thermometric values:

- T\_PO CZ — initial temperature (the temp. of tested surface before the cooling stage);

2. Profesjonalny termometr cyfrowy TES 1300 zasilany napięciem stałym 9 V — bateria 6LR61 (napięcie uznane za zupełnie bezpieczne dla człowieka). Termometr ten posiada wyjście analogowe wytwarzające napięcie proporcjonalne do mierzonej temperatury (napięcie rzędu kilku-kilkudziesięciu mV). Napięcie z wyjścia termometru cyfrowego jest kierowane do specjalizowanego przetwornika V/f (napięcie/częstotliwość), cechującego się dużą stabilnością działania i liniową charakterystyką przetwarzania.

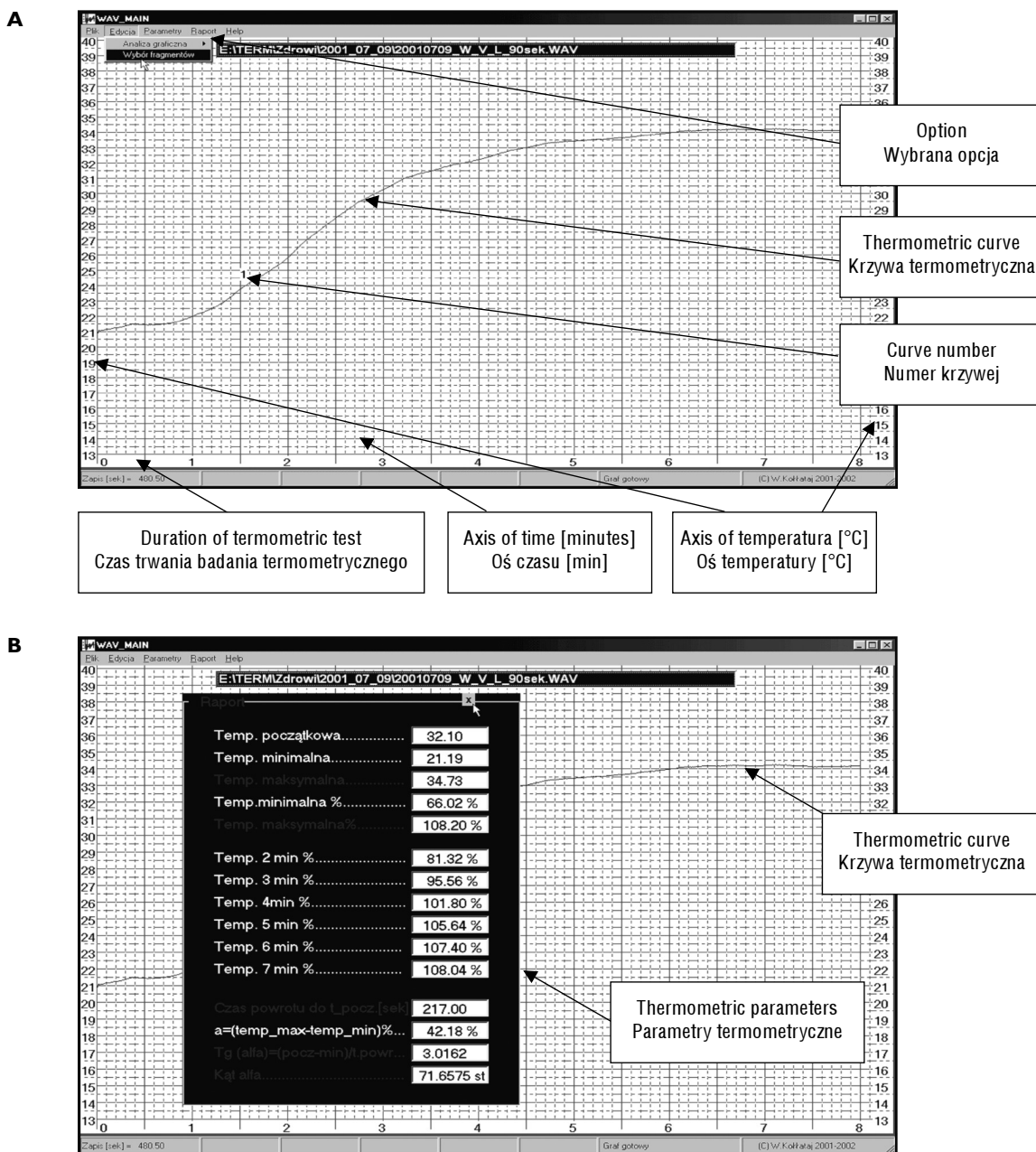
3. Przetwornik V/f stanowi interfejs między termometrem cyfrowym a magnetofonem cyfrowym. Przetwornik jest oryginalnym rozwiązaniem bazującym na układzie scalonym AD537 firmy Analog Devices. Urządzenie to jest zasilane napięciem 9 V — bateria 6LR61 (bezpiecznym dla człowieka).

4. Magnetofon cyfrowy, za pomocą którego dokonuje się próbkowania i zapisu sygnału w postaci cyfrowej, a więc niepodlegającej ewentualnemu późniejszemu zniekształceniu. Wynik jednego badania termometrycznego, po kompresji w tego typu magnetofonie, zajmuje (pliki formatu \*.dmr) ok. 500 kB pamięci, po dekompresji już ok. 4 MB. Magnetofon cyfrowy pozwala na dokonanie zapisu przebiegu prawie 60 badań. Fabryczny interfejs umożliwia transfer danych do komputera PC. Magnetofon cyfrowy jest zasilany napięciem zaledwie 3 V (2 ogniwa AAA).

5. Komputer klasy PC z oryginalnym oprogramowaniem (autor: W. Kołłątaj) napisanym w języku wysokiego poziomu — Borland Delphi 3. Oprogramowanie to pozwala, między innymi, na sprawdzanie poprawności konwersji plików, konwersję danych: częstotliwość/czas na macierz temp./czas, wykreślanie wykresów temp./czas oraz obliczenie wartości kilkudziesięciu parametrów charakteryzujących przebieg zmian temperatury badanego obiektu. Oprogramowanie zajmuje (w formacie pliku \*.exe) zaledwie około 300 kB pamięci (listing wersji źródłowej — ok. 40 stron maszynopisu).

W celu otrzymania porównywalnych wyników test termometryczny prowadzi się w ściśle określonych warunkach: badanie 1,5–2 godziny po posiłku, pomieszczenie zamknięte (ruch powietrza minimalny), brak bezpośredniej ekspozycji na promieniowanie słoneczne, temp. powietrza 23–24,5°C, wilgotność względna powietrza 35–50%, ubiór adekwatny do warunków otoczenia, komfort fizyczny (wygodna pozycja siedząca).

Dwa warianty testu oziębieniowo-termometrycznego pozwalają na wnioskowanie o parametrach mikrokrążenia na terenie dystalnych odcinków kończyny górnej bądź dystalnych odcinków kończyny dolnej.



**Figure I.** Graphic documentation of thermometric test: **A.** Graph: temperature/time; **B.** Thermometric parameters  
**Rycina I.** Dokumentacja graficzna badania termometrycznego: **A.** Wykres temp./czas; **B.** Parametry termometryczne

- T\_MIN — the lowest value of measured temperature (the lowest value during 8 min of the test);
- T\_MAX — the maximal value of measured temperature (the highest value during 8 min of the test);
- T\_MIN% — the result of expression  $(T\_MIN / T\_POCZ) \times 100\%$ ;
- T\_MAX% — the result of expression  $(T\_MAX / T\_POCZ) \times 100\%$ ;
- T2% — the temperature of tested surface after 120 s (2 min) of the test duration presented as a percentage of T\_POCZ;

Test dotyczący paliczków dystalnych kończyny górnej przebiega następująco:

- badanie temperatury opuszki palca (oznaczanie temp. początkowej);
- ochładzanie palca przez 90-sekundowe zanurzenie paliczka dystalnego i środkowego w wodzie o temp. 10°C;
- osuszanie opuszki;
- 8-minutowy ciągły pomiar i zapis zmian temperatury powierzchni opuszki (punktowy czujnik umieszczony w 1/2 długości opuszki).

- T3% — the temperature of tested surface after 180 s (3 min) of the test duration presented as a percentage of T\_PO CZ;
- T4% — the temperature of tested surface after 240 s (4 min) of the test duration presented as a percentage of T\_PO CZ;
- T5% — the temperature of tested surface after 300 s (5 min) of the test duration presented as a percentage of T\_PO CZ;
- T6% — the temperature of tested surface after 360 s (6 min) of the test duration presented as a percentage of T\_PO CZ;
- T7% — the temperature of tested surface after 420 s (7 min) of the test duration presented as a percentage of T\_PO CZ;
- CZ\_POWER — the time [s] elapsed from the beginning of test to the moment, the tested surface reaches the temperature equal to T\_PO CZ;
- A — the result of expression  $\{[(T\_MAX) - (T\_MIN)] / (T\_PO CZ)\} \times 100\%$ ;
- TG — the result of expression  $(T\_PO CZ - T\_MIN) / (CZ\_POWER)$ ;
- $KAT_{\alpha}$  — the result of expression (angular degrees)  $\text{ArcTg}(\alpha)$  where  $Tg(\alpha)$  is equal to the TG value (presented above).

In the case of reduced microvascular circulation we can observe the lowering the following values: T\_MIN, T\_MAX, T\_MIN%, T\_MAX%, T2%, T3%, T4%, T5%, T6%, T7%, TG,  $KAT_{\alpha}$  and (eventually) A.

In the case of good treatment results — the increment of above parameters should be observed. The increment of these values can be explained as the effect of:

- a better blood flow in normal environment conditions (before the test) — higher value of T\_PO CZ (T\_PO CZ is proportional to the tissue circulation quantity);
- a better blood flow during the stage of cooling (T\_MIN, T\_MIN%);
- a better blood flow after the stage of cooling (more effective temperature regulation) — T2%, T3%, T4%, T5%, T6%, T7%, TG,  $KAT_{\alpha}$ .

The increment of T\_MIN value represents the decrement of susceptibility to cooling, that means better efficiency of tissue microcirculation.

The similar interpretation applies to T\_MIN%.

When the T2–T7% values are close to 100%, that means, the temperature of tested surface is almost equal to T\_PO CZ.

The high values of TG and  $KAT_{\alpha}$  expressions are typical for a good circulation and suggest fast and efficient process of temperature normalisation (temp. of a cooling surface achieves the T\_PO CZ value).

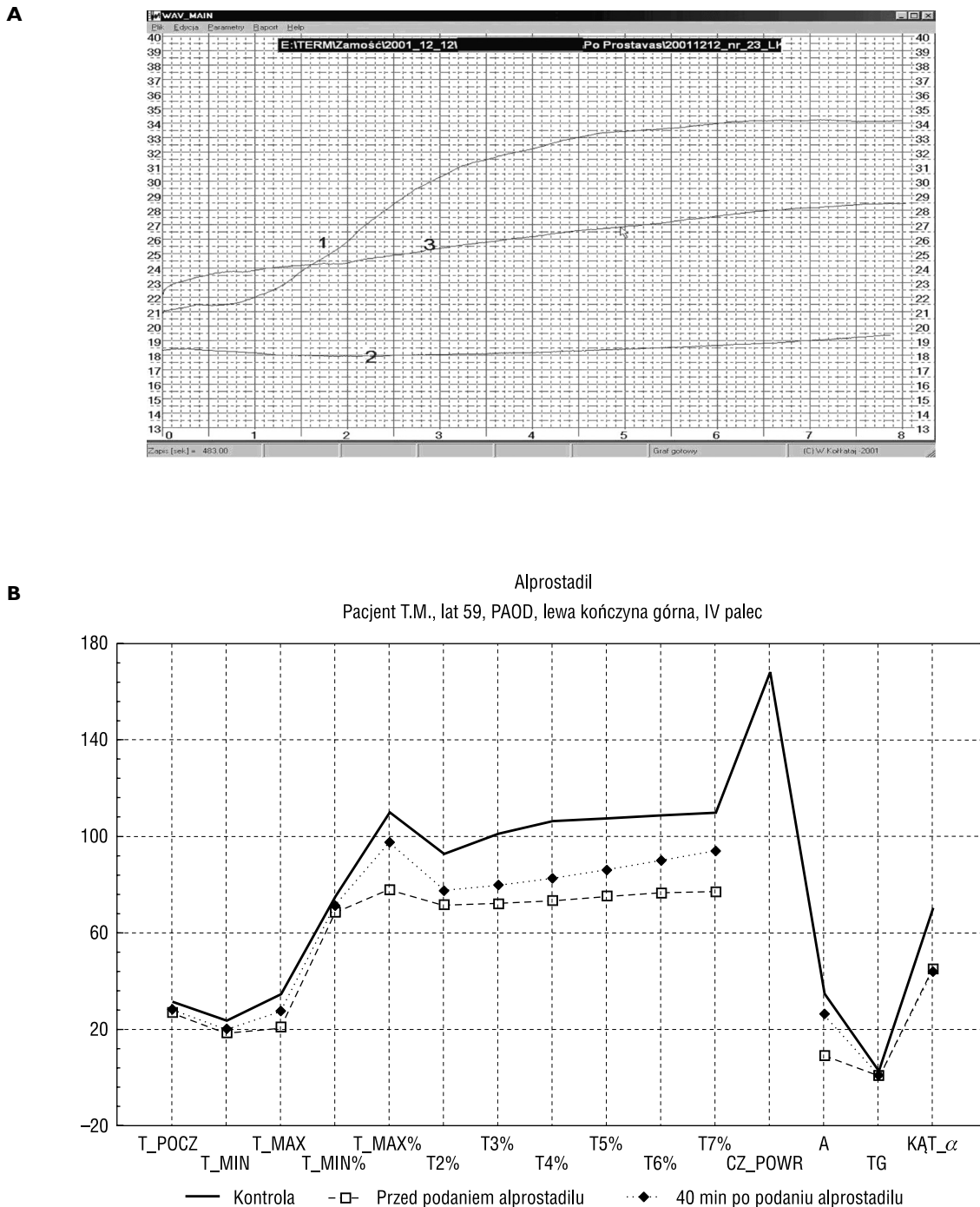
Test w odniesieniu do V palca kończyny dolnej przebiega według poniższego schematu:

- badanie temperatury opuszki V palca (oznaczanie temp. początkowej);
- oziębienie opuszki V palca przez 60-sekundowy bezpośredni kontakt z elastycznym pojemnikiem foliowym wypełnionym wodą o temp. 12°C; V palec kończyny dolnej siłą własnej ciężkości uciska i modeluje ścianki pojemnika;
- 8-minutowy ciągły pomiar i zapis zmian temperatury powierzchni opuszki (punktowy czujnik umieszczony w 1/2 długości opuszki).

Efektom powyższych testów termometrycznych są dane zapisane w magnetofonie cyfrowym, które w dowolnym czasie można poddać przetworzeniu (dekodowaniu) i analizie. Analiza przeprowadzona przy użyciu wspomnianego komputera PC i oprogramowania pozwala na uzyskanie wykresów temp./czas (ryc. 1A) i wartości liczbowych nazywanych wartościami parametrów termometrycznych (ryc. 2B).

Poniżej przedstawiono charakterystykę powyższych parametrów:

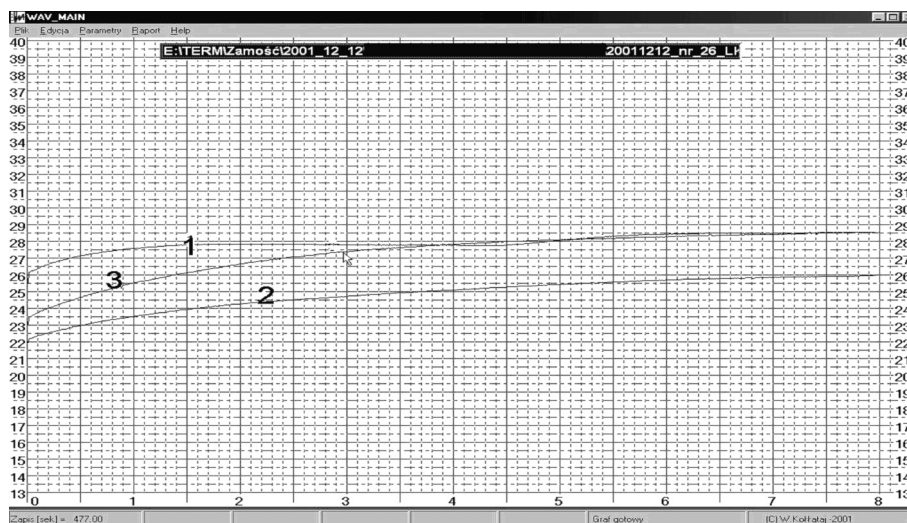
- I. Parametry termometryczne
- T\_PO CZ — temp. początkowa (temp. badanej powierzchni w okresie bezpośrednio poprzedzającym procedurę oziębienia);
- T\_MIN — temp. minimalna (najniższa temp. zanotowana w trakcie badania termometrycznego);
- T\_MAX — temp. maksymalna (najwyższa temp. zanotowana w trakcie badania termometrycznego);
- T\_MIN% — wartość wyrażenia  $(\text{temp. minimalna} / \text{temp. początkowa}) \times 100\%$ ;
- T\_MAX% — wartość wyrażenia  $(\text{temp. maksymalna} / \text{temp. początkowa}) \times 100\%$ ;
- T2% — temp. w 120 s (2 min) badania wyrażona jako odsetek temp. początkowej;
- T3% — temp. w 180 s (3 min) badania wyrażona jako odsetek temp. początkowej;
- T4% — temp. w 240 s (4 min) badania wyrażona jako odsetek temp. początkowej;
- T5% — temp. w 300 s (5 min) badania wyrażona jako odsetek temp. początkowej;
- T7% — temp. w 420 s (7 min) badania wyrażona jako odsetek temp. początkowej;
- CZ\_POWER — czas [s], jaki upływa od momentu rozpoczęcia badania termometrycznego do chwili, gdy temp. badanego obiektu osiągnie temp. początkową;
- A — różnica temp. maksymalnej (T\_MAX) i temp. minimalnej (T\_MIN) wyrażona jako odsetek temp. początkowej (T\_PO CZ);
- TG — wartość wyrażenia  $(T\_PO CZ - T\_MIN) / (CZ\_POWER)$ ;



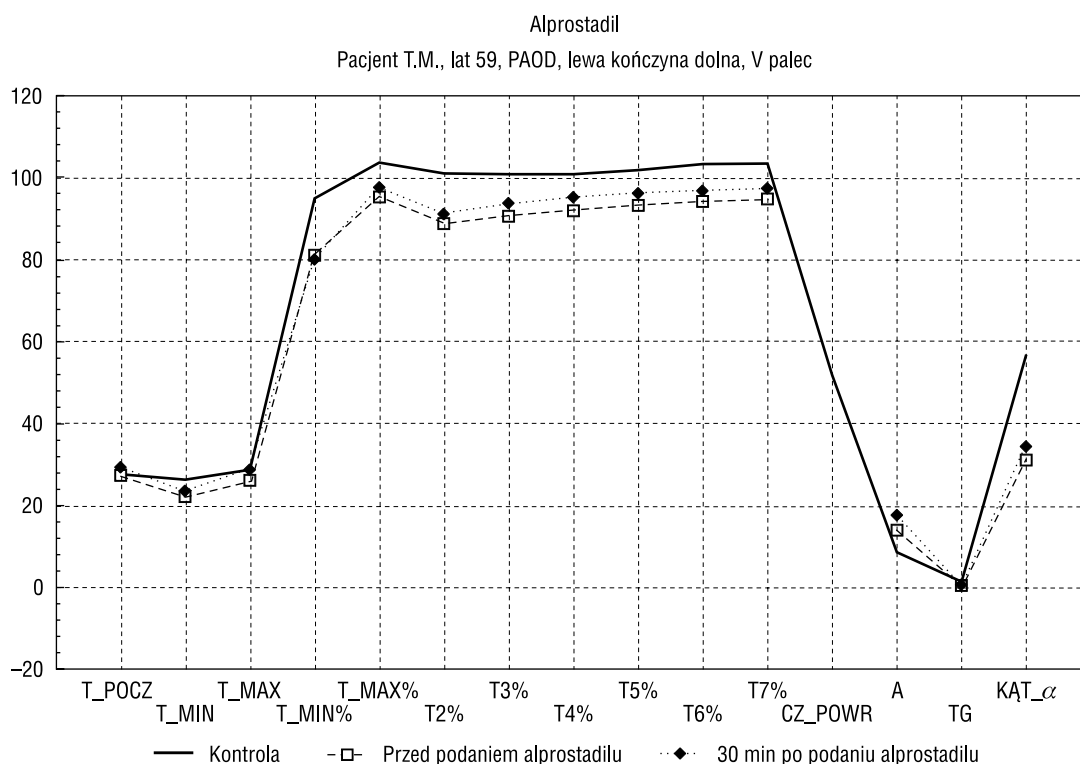
**Figure 2.** Patient TM, at the age of 59. PAOD. (*Occlusio a. femoris superficialis bilat., Ulceratio cruris sin.*). **A.** Left, upper limb. Finger: IV. Graph: temperature/time (1 — healthy subject, 2 — patient before Alprostadil infusion, 3 — patient after alprostadil infusion); **B.** Left, upper limb. Finger: IV. Thermometric parameters: healthy subject, patient before alprostadil infusion, patient after alprostadil infusion; **C.** Left leg. Big toe (V). Graph: temperature/time (1 — healthy subject, 2 — patient before Alprostadil infusion, 3 — patient after Alprostadil infusion); **D.** Left leg. Big toe (V). Thermometric parameters: healthy subject, patient before alprostadil infusion, patient after alprostadil infusion

**Rycina 2.** Pacjent T.M., lat 59. PAOD (*Occlusio a. femoris superficialis bilat., Ulceratio cruris sin.*). **A.** Lewa kończyna górna (lkg), palec IV. Wykres temp./czas (1 — wzorzec, 2 — badanie przed leczeniem alprostadilem, 3 — badanie po podaniu alprostadilu); **B.** Lewa kończyna górna, palec IV. Wartości parametrów termometrycznych przed podaniem alprostadilu i po zażyciu leku w porównaniu z wynikami osoby zdrowej (kontrola); **C.** Lewa kończyna **dolna** (lkd), palec V. Wykres temp./czas (1 — wzorzec, 2 — badanie przed leczeniem alprostadilem, 3 — badanie po podaniu alprostadilu); **D.** Lewa kończyna **dolna** (lkd), palec V. Wartości parametrów termometrycznych przed podaniem alprostadilu i po zażyciu leku w porównaniu z wynikami osoby zdrowej (kontrola)

C



D



**Figure 2.** (Continued)  
**Rycina 2.** (cd.)

The increment of A value in patients with low T\_MIN values should be interpreted the symptom of improvement of local circulation.

The increment of T\_MAX% and T2%, T3%, T4%, T5%, T6% or T7%, especially when T2%, T3%, T4%, T5%, T6% or T7% exceeds 100% (the temp. of a tested surface exceeds T\_PO CZ) means that the local humoral, hormonal and neural processes are engaged. The presence of symptoms of mentioned mechanisms is a very

—  $KA T_\alpha$  — wartość (w stopniach kątowych) wyrażenia  $ArcTg(\alpha)$ , gdzie  $Tg(\alpha)$  jest wartością TG zdefiniowaną powyżej. Kąt ten, na wykresie, odpowiada kątowi nachylenia prostej łączącej punkt o współrzędnych [czas = 0; temp. = T\_PO CZ] oraz punkt, w którym krzywa wskazuje na powrót temperatury badanej powierzchni do wartości wyjściowej. Wzrost miary tego kąta świadczy o bardziej stromym przebiegu prostej i szybszym powrocie temperatury ba-



positive symptom which tell us that the microcirculation system can effectively react on regulatory stimuli.

The decrement CZ\_POWR is a positive symptom, too. This decrement (the time, the tested surface reaches its normal temperature) show the improvement of heat supply (that means tissue microcirculation improvement, first of all).

## Results

The essential results are presented as the tables (Table I–V) and graphs (Fig. 2–6).

Our observations suggest, that the thermometric parameters in patients with angioneurosis, diabetes mellitus type I (especially patients with late diabetic complications), effects of chilblains, anorexia nervosa and PAOD are different then parameters taken from healthy subjects (Fig. 2, 4–6, Tables I–V).

Diabetes mellitus leads to worsening thermometric parameters, especially when the late complications are present (retinopathy, nephropathy, cardiopathy) — Table II, Figure 5 and 6. There are statistically significant differences between almost all thermometric values observed in the mentioned group and in the group consisted of healthy subjects ( $P < 0.01$ ) — Table II.

The results of tests suggest differences between heat disturbance parameters in patients with Raynaud's disease and patients with psychoneurosis (Table IV). Patients with psychoneurosis but without symptoms of angioneurosis can feel cold, but their parameters of cutaneous blood flow (as well as parameters of heat distribution) are normal. Their thermometric parameters (Table IV) and thermometric curves are normal, too (Fig. 3).

Patients with Raynaud's disease have got abnormal peripheral circulation parameters, so their thermometric values T\_POCZ, T\_MIN, T\_MAX, T\_MAX%, T2–T7%, A and  $KA\dot{T}_\alpha$  are lowered ( $P < 0.01$ ).

The patients with so called effects of chilblains of hands and fingers present abnormal low values of T\_POCZ, T\_MAX%, T2–T6% ( $P < 0.01$ ).

The correction of body metabolism and body deficiencies as well as quitting smoking or using alprostadil can have a positive influence on blood flow, heat distribution and thermometric parameters (Table V, Fig. 2, 4, 6).

## Discussion

To avoid complications caused by a diagnostic procedure, we should prefer harmless methods. Our new method can be called harmless. A short-time immersion (60 s for a toe or 90 s for a finger) in not very cold water (+10°C or +12°C) can not cause serious local

danej powierzchni do wartości notowanej w okresie poprzedzającym wykonanie testu.

W schorzeniach naczyniowych charakteryzujących się zmniejszeniem przepływu tkankowego obniży się wartość T\_MIN, T\_MAX, T\_MIN%, T\_MAX%, T2%, T3%, T4%, T5%, T6%, T7%, TG,  $KA\dot{T}_\alpha$  i ewentualnie A.

W przypadku zastosowania leczenia zwiększenie wartości powyższych parametrów będzie dowodem na korzystny wpływ terapii. Zwiększenie wartości tych parametrów będzie świadczyć o większym przepływie zarówno przed wykonaniem testu (wyższa T\_POCZ, która w dużej mierze odzwierciedla przepływ tkankowy), w trakcie oziębiania (mniejsza podatność na oziębianie wynikająca ze zwiększonego przepływu tkankowego (parametry: T\_MIN, T\_MIN%), jak i po oziębianiu (szybszy powrót do temp. sprzed testu — parametry: T2%, T3%, T4%, T5%, T6%, T7%, TG,  $KA\dot{T}_\alpha$ ).

Wzrost T\_MIN wskazuje na mniejszą podatność na działanie czynnika ochładzającego, a więc pośrednio potwierdzi zwiększenie naczyniowej podaży energii cieplnej, czyli wzrost przepływu tkankowego.

Podobna interpretacja dotyczy parametru T\_MIN%.

Wartości T2%–T7% zbliżające się do 100% świadczą o zbliżaniu się temperatury badanej powierzchni do wartości rejestrowanej w okresie poprzedzającym wykonanie testu.

Wzrost wartości TG oraz  $KA\dot{T}_\alpha$  wskazuje na szybszy powrót temperatury do wartości wyjściowej.

Zwiększenie wartości A należy rozpatrywać w kontekście zmian parametru T\_MIN. Zasadniczo wzrost wartości parametru A wskazuje na poprawę przepływu tkankowego, jednak gdy oziębianie nie spowodowało znacznego spadku temperatury badanej powierzchni, nie należy oczekiwać, aby parametr A przyjmował wysokie wartości.

Wzrost T\_MAX% oraz wartości T2%, T3%, T4%, T5%, T6% lub T7% przekraczające 100% (osiągnięcie temp. przekraczających temp. wyjściową) dowodzi obecności zaangażowania mechanizmów kompensacyjnych (humoralnych, hormonalnych i nerwowych, odruchowych związanych m.in. z zaangażowaniem włókien C) zwiększających przepływ w odpowiedzi na zadziałanie bodźca oziębiającego. Wystąpienie takiej reakcji jest bardzo pozytywnym objawem świadczącym o podatności (lub poprawie podatności) mikrokrążenia na działanie czynników regulacyjnych.

Pozytywnym efektem leczenia będzie zmniejszenie wartości CZ\_POWR. Zmniejszenie tych wartości (czyli czasu, w jakim badana powierzchnia ponownie osiągnie temp. równą zarejestrowanej przed testem) świadczy o większej podaży energii cieplnej (większy przepływ tkankowy).



**Table III.** IV finger. Left hand. The thermometric parameters in patients with after-effects of so called chilblains of hands and fingers**Tabela III.** Palec IV, lewa kończyna górna. Parametry termometryczne u pacjentów z następstwami odmrożenia I stopnia obejmującego palce kończyn górnych

Groups of patients Grupy pacjentów	Sex Płeć	Age (years) Wiek (lata)	Thermometric parameters Parametry termometryczne												
			T_PO CZ	T_MIN%	T_MAX%	T2%	T3%	T4%	T5%	T6%	CZ_POWR	A	KĄTA_α		
Patients with after-effects of so called chilblains Pacjenci z następstwami tzw. przemrożeń rąk	MS	K	15	58.76	72.79	60.13	61.94	65.67	68.58	69.95	NN	14.21	56.58		
	BA	K	14	66.53	76.18	67.15	68.78	70.6	72.11	73.49	NN	9.66	47.1		
	CE	K	10	66.64	80.23	68.27	71.08	73.50	75.72	77.42	NN	13.59	45.83		
	SP	M	10	67.67	97.67	73.68	84.54	95.29	97.18	96.43	NN	28.89	46.73		
	ZK	K	19	65.91	80.04	67.37	69.75	71.7	73.83	75.84	NN	14.13	48.44		
	RW	M	12	28.9	67.76	72.2	75.34	78.54	81.56	83.87	NN	24.23	47.66		
Healthy subjects (n = 35; age 10–18 years) Osoby zdrowe (n = 35; wiek 10–18 lat)	x		13.33	65.55#	83.13*	68.13*	71.91*	75.88*	78.16*	79.50*	NN*	17.45#	48.72		
	SD		3.44	3.40#	9.62*	4.75*	7.56*	10.38*	10.26*	9.49*	NN*	7.40#	3.95		
	x		14.1	79.05	106.4	89.71	95.98	99.49	102.33	104.2	239.86	29.95	59.53		
			1.35	15.12	3.52	9.51	7.06	5.98	8.44	3.65	110.7	11.41	12.73		

K — female/płeć żeńska; M — male/płeć męska; NN — undetermined (above 8 min)/wartości nieznaczące (czas > 8 min); x — mean/wartość średnia; SD (standard deviation) — odchylenie standardowe; \*Differences between the value of parameter in this group and the control group (healthy subjects) are statistically significant p < 0.01; różnice pomiędzy wartością parametru w danej grupie i grupie osób zdrowych są istotne statystycznie (p < 0.01); #Differences between the value of parameter in this group and the control group (healthy subjects) are statistically significant p < 0.05; różnice pomiędzy wartością parametru w danej grupie i grupie osób zdrowych są istotne statystycznie (p < 0.05)

## Wyniki

Najistotniejsze wyniki zebrano w tabelach I–V oraz przedstawiono na rycinach 2–6.

Zaobserwowano, że w badanych grupach schorzeń: nerwice naczynioruchowe, cukrzyca typu I (szczególnie z towarzyszącą mikroangiopatią), następstwa odmrożeń, jądłowstręt psychiczny oraz zaawansowana miażdżyca zarostowa tętnic, wartości ocenianych parametrów termometrycznych odbiegają znacznie od wartości spotykanych u ludzi zdrowych (ryc. 2, 4–6; tab. I–V).

Dłużej trwająca cukrzyca typu I prowadzi do pogorszenia wartości parametrów termometrycznych. Staje się to szczególnie wyraźne w okresie wystąpienia klinicznych wykładników mikroangiopatii (retinopatia, nefropatia, kardiomiopatia) (tab. II, ryc. 5 i 6). Statystycznie istotne różnice (p < 0,01) pomiędzy wartościami termometrycznymi u osób zdrowych i pacjentów z angiopatią cukrzycową dotyczą wówczas niemalże wszystkich badanych parametrów (tab. II).

Obserwacje sugerują zupełnie odmienne kształtowanie się wartości parametrów termometrycznych u pacjentów z chorobą Raynaua i dolegliwościami nerwicowymi (tab. IV). U chorych z dolegliwościami nerwicowymi przebiegającymi bez objawów naczynioruchowych, mimo odczuwanego chłodu, odnotowano prawidłową funkcję układu krążenia, prawidłowe wartości parametrów termometrycznych (tab. IV) oraz prawidłowy kształt krzywych termometrycznych (ryc. 3).

Pacjenci z chorobą Raynaua charakteryzują się bardzo niskimi (statystycznie niższymi niż osoby zdrowe) wartościami parametrów: T\_PO CZ, T\_MIN, T\_MAX, T\_MAX%, T2%–T7%, A i KĄTA\_α (p < 0,01).

Wyraźnie obniżone wartości T\_PO CZ, T\_MAX%, T2%–T6% (p < 0,01) charakteryzują krążenie obwodowe u pacjentów z następstwami odmrożeń I stopnia palców rąk, powstałymi podczas pracy lub zabawy na mrozie przy niewłaściwej ochronie termicznej skóry.

Skorygowanie zaburzeń metabolicznych, leczenie stanów niedoborowych, zaniechanie palenia tytoniu oraz stosowanie alprostadilu prowadzi do korzystnych zmian w przebiegu krzywych termometrycznych oraz poprawy wartości analizowanych parametrów (tab. V, ryc. 2, 4, 6).

## Dyskusja

Biorąc pod uwagę stan zdrowia pacjenta, immersja palca kończyny górnej w wodzie o temp. 10°C w ciągu zaledwie 90 s lub kończyny dolnej — w temp. 12°C w ciągu 60 s nie wiąże się z ryzykiem wystąpienia negatywnych skutków zdrowotnych (taki czas ekspozycji nie jest w stanie obniżyć temp. skóry palca poniżej wartości krytycznej wynoszącej 13°C, w której drastycznie spada przepływ naczyniowy) [4].

**Table IV.** IV finger. Left hand. The thermometric parameters in patients with Raynaud's disease and psychoneurosis without symptoms of microcirculation dysfunctions  
**Tabela IV.** Palec IV, lewa kończyna górna. Parametry termometryczne u pacjentów z chorobą Raynauda i psychogennymi dolegliwościami przebiegającymi bez dysfunkcji krążenia

Disease Schorzenie	Groups of patients Charakterystyka pacjentów				Thermometric parameters Parametry termometryczne											
	Patient Inicjały	Age (years) Wiek (lata)	T_POZ	T_MIN	T_MAX	T_MIN%	T_MAX%	T2%	T3%	T4%	T5%	T6%	T7%	A	KAT_α	
Raynaud's disease Choroba Raynauda	HE	35	22.8	15.22	16.38	66.74	71.85	66.97	67.19	67.87	68.54	69.22	70.05	5.11	41.76	
	MB	35	18.60	14.88	15.90	79.97	85.50	80.99	81.72	82.55	83.38	84.02	84.76	5.52	23.69	
	SM	26	20.0	15.65	17.19	78.23	85.93	78.31	78.83	79.94	81.14	82.33	83.62	7.7	27.15	
	MM	20	22.2	15.05	16.88	67.78	76.03	68.32	69.55	70.86	72.02	73.94	75.02	8.25	40.11	
	RM	18	21.0	15.17	16.33	72.22	76.76	72.63	73.28	74.18	74.99	76.05	76.95	5.54	34.49	
	RH	49	22.3	14.98	16.74	67.16	75.07	68.16	69.47	70.77	72.0	73.23	74.23	7.91	40.77	
	ZE	29	20.3	14.96	16.72	73.7	82.38	74.71	76.14	77.49	78.76	79.85	80.87	8.69	32.16	
	PM	19	21.2	14.22	15.78	67.1	74.44	67.50	68.55	69.68	71.05	72.26	73.48	7.35	39.4	
	SzA	44	19.2	14.93	16.40	77.74	85.41	77.92	78.19	78.99	80.06	81.13	82.20	7.67	26.71	
	x	30.6	20.84*	15.01*	16.48*	72.29	79.26*	72.83*	73.66*	74.70*	75.77*	76.89*	77.91*	7.08*	34.03*	
Psychoneurosis (episodes of cold sensations) without symptoms of microcirculation dysfunctions Dolegliwości nerwicowe (napadowe uczucie ziębnienia kończyn) bez dysfunkcji naczyniowej	SD	11.1	1.44*	0.38*	0.45*	5.37	5.51*	5.37*	5.26*	5.22*	5.21*	5.12*	5.13*	1.33*	6.91*	
	MA	35	28.9	21.77	34.0	75.34	117.63	101.99	108.04	112.12	115.14	116.98	117.22	42.29	75.83	
	WA	17.5	32.1	23.79	34.95	74.12	108.89	101.0	104.94	104.62	106.6	108.46	108.62	34.77	77.06	
Healthy subjects Osoby zdrowe (n = 23)	x	28	30.63	23.09	33.76	75.42	109.97	91.7	98.12	102.55	105.54	107.66	109.18	34.56	67.65	
	SD	12.7	1.8	2.8	2.16	7.26	4.27	11.36	10.78	9.53	7.54	5.06	4.57	5.85	8.03	

x — mean/wartość średnia; SD (standard deviation) — odchylenie standardowe; Osoby zdrowe — healthy subjects/pacjenci bez oznak schorzeń układu naczyniowego; \*Differences between the value of parameter in this group and the control group (healthy subjects) are statistically significant p < 0.01/różnice pomiędzy wartością parametru w danej grupie i grupie osób zdrowych są istotne statystycznie (p < 0.01)

**Table V.** IV finger. Left hand. PAOD. Influence of alprostadil on thermometric parameters  
**Tabela V.** PAOD. Palec IV, lewa kończyna górna. Wpływ alprostadilu na wybrane parametry termometryczne

Patient Pacjent	Age (years) Wiek (lata)	Circumstances of test Warunki badania	Thermometric parameters Parametry termometryczne											
			T_PO CZ	T_MIN	T_MAX	T_MIN%	T_MAX%	T2%	T3%	T4%	T5%	T6%	T7%	KAT_α
PH	60	Before alprostadil infusion	29.3	23.69	28.88	80.86	98.56	86.41	88.04	89.38	91.25	94	97.68	17.7
		Przed podaniem alprostadilu												
TM	59	After alprostadil infusion	30	28.12	32.83	93.75	109.44	101.34	102.93	104.42	105.67	107.21	107.90	15.69
		Po podaniu alprostadilu												
Healthy subjects Osoby zdrowe (grupa kontrolna)	16-50 (x = 28, SD = 12.66)	Before Alprostadil infusion	27.5	22.36	26.26	81.29	95.48	89.07	90.82	92.19	93.43	94.43	94.99	14.19
		Przed podaniem alprostadilu												
Healthy subjects Osoby zdrowe (grupa kontrolna)	16-50 (x = 28, SD = 12.66)	After alprostadil infusion	29.5	23.67	28.89	80.25	97.85	91.33	93.94	95.45	96.38	97.02	97.54	17.70
		Po podaniu alprostadilu												
Healthy subjects Osoby zdrowe (grupa kontrolna)	16-50 (x = 28, SD = 12.66)	Without treatment	28.83	20.29	31.6	68.16	105.7	80.37	87.34	93.02	98	102.6	104.61	59.62
		Bez leczenia	30.63	23.09	33.76	75.42	109.97	91.7	98.12	102.55	105.54	107.66	109.18	67.65
			32.43	25.89	35.92	82.68	114.24	103.03	108.9	112.08	113.08	112.72	113.75	75.68

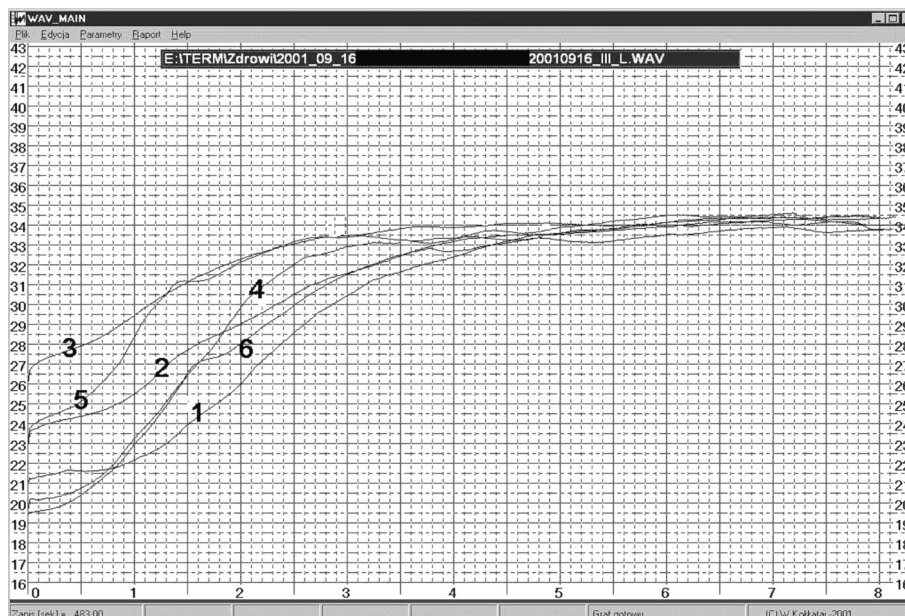
x — mean/wartość średnia; SD (standard deviation) — odchylenie standardowe; PAOD (peripheral artery occlusive disease) — zaawansowana miażdżyca zastawowa tętnic

U zdecydowanej większości badanych temp. powierzchni skóry nie osiąga nawet 15°C, czyli temperatury granicznej, w której obserwuje się zauważalne obniżenie sprawności manualnej palców [5].

W celu określenia rzeczywistego zasięgu (głębokości, penetracji) i oddziaływania bodźca oziębiającego dokonano pomiarów zmian temperatury wewnątrz fantomu imitującego **pozbawiony krążenia** palec ludzki (skóra, tkanka mięśniowa, tkanka kostna). Temperaturę mierzono podczas poddawania fantomu oziębianiu w warunkach imitujących przebieg testu. Ciągłego pomiaru temperatury dokonywano na głębokości 2–2,5 mm (czujnik wprowadzony przez sztucznie wytworzony kanał przebiegający wewnątrz fantomu) w trakcie oziębiania trwającego 90 s. Przed immersją w płynie ochładzającym fantom umieszczano w warunkach umożliwiających uzyskanie jednolitej temp. (19, 20, 25, 27, 30 lub 35°C). Temperaturę mierzono przy użyciu termometru cyfrowego TES 1300 z czujnikiem termoparowym TP-K01 pozwalającym na punktowe pomiary ciepłoty. Po 90-sekundowym oziębianiu w wodzie o temp. 10°C uzyskano temp. 14–25°C na głębokości skóry właściwej (pozbawionego krążenia (!) fantomu).

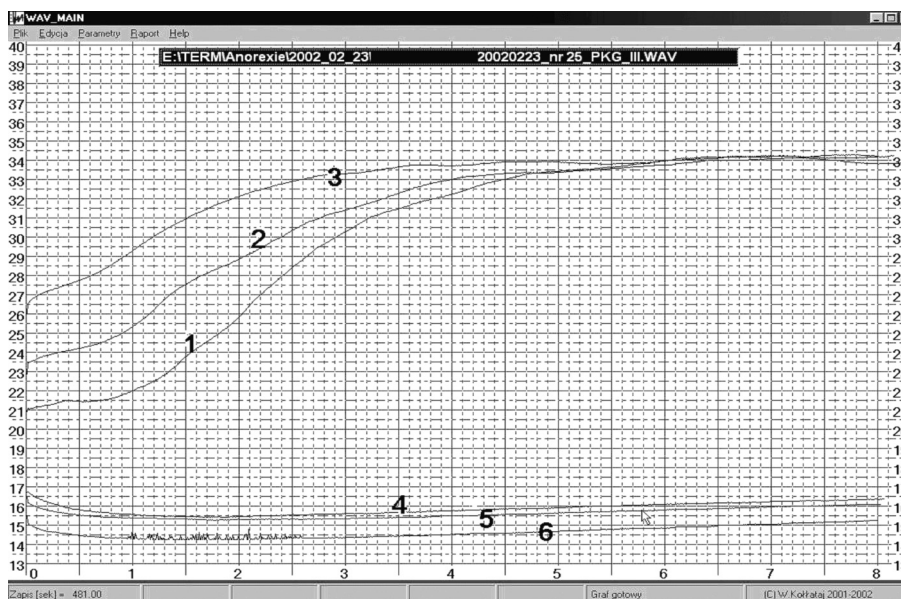
Wśród badań czynnościowych i procedur leczniczych, zaakceptowanych przez środowisko lekarskie, znajdują się i takie, które wiążą się ze stosowaniem znacznie niższych temperatur i/lub wymagają oziębiania większych powierzchni ciała. Do takich metod zalicza się:

- tzw. test presyjny na zimno [6], stosowany w diagnostyce neuropatii autonomicznej, polegający na obserwacji zmian ciśnienia skurczowego u pacjenta, u którego całą ręką zanurzono w wodzie z lodem (temp. ok. 0°C) na 1 min;
- test ekspozycji na zimno — ocena rozkurczu tętnic wieńcowych po 2-minutowym zanurzeniu dłoni pacjenta w lodowatej wodzie [7];
- testy ekspozycyjne przebiegające z 5–10-minutową immersją przedramienia w wodzie o temp. 5–10°C [8, 9];
- test ekspozycyjny z lokalnym 20-minutowym oziębieniem skóry wodą z lodem (0°C) [10];
- obniżanie temp. amputowanych części kończyn do 2–4°C przed planowaną replantacją (temp. tę uważa się za optymalną i niepowodującą uszkodzeń tkanek dystalnych odcinków ciała [11]);
- 1–4-minutowa ekspozycja całego ciała na temp. w granicach od –100°C do –160°C (pobyt w specjalnych komorach chłodniczych — wariant leczenia niektórych chorób narządu ruchu) [12];
- test 3-godzinnej ekspozycji kończyn na nawiew powietrza o temp. –15°C [13];



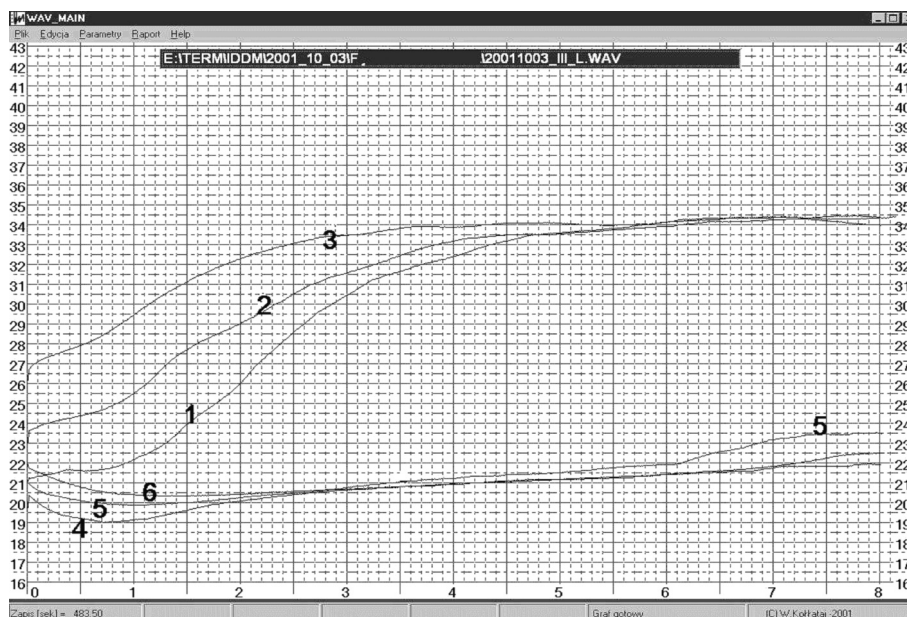
**Figure 3.** Patient WA at a age of  $17\frac{5}{12}$ . Psychoneurosis with subjective symptoms suggesting angioneurosis (but clinically without signs of vascular dysfunction (the test during an onset of “freezing”). (1 — healthy subject, left hand, V finger; 2 — healthy subject, left hand, IV finger; 3 — healthy subject, left hand, III finger; 4 — patient left hand, V finger; 5 — patient left hand, IV finger; 6 — patient left hand, III finger)

**Rycina 3.** Pacjentka W.A., lat  $17\frac{5}{12}$ . Nerwica z subiektywnymi objawami napadowego ziębnięcia kończyn górnych bez zaburzeń funkcji układu naczyniowego (badanie w trakcie „napadu”) (1 — krzywa wzorcowa, V palec lewej kończyny górnej (lkg); 2 — krzywa wzorcowa, IV palec lkg; 3 — krzywa wzorcowa, III palec lkg; 4 — krzywa pacjentki, V palec lkg; 5 — krzywa pacjentki, IV palec lkg; 6 — krzywa pacjentki, III palec lkg)



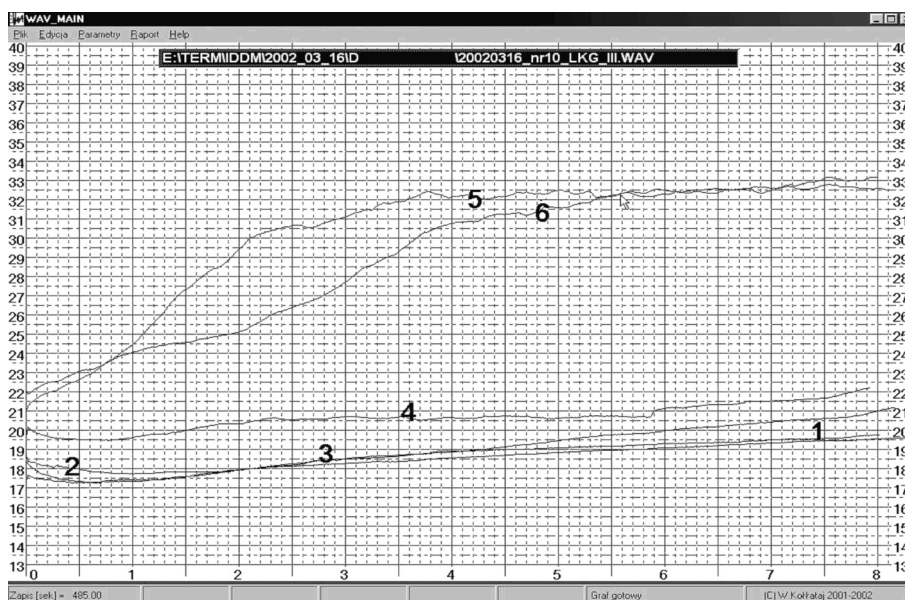
**Figure 4.** Patient ZM at a age  $13\frac{10}{12}$ . Anorexia nervosa. Malnutrition lasted for 12 months. Deficiency of body weight — 18%. Before treatment. (1 — left hand, V finger; 2 — left hand, IV finger; 3 — left hand, III finger). After 3 months of therapy. Deficiency of patient’s weight reduced to 4% (4 — left hand, V finger; 5 — left hand, IV finger; 6 — left hand, III finger)

**Rycina 4.** Pacjentka Z.M., lat  $13\frac{10}{12}$ . Anorexia nervosa. Zaburzenia odżywiania od 12 miesięcy. Niedobór masy ciała wynoszący 18%. Badanie przed rozpoczęciem leczenia (1 — krzywa pacjentki, V palec lewej kończyny górnej (lkg); 2 — krzywa pacjentki IV, palec lkg; 3 — krzywa pacjentki, III palec lkg) oraz po 3 miesiącach leczenia, gdy niedobór masy ciała zmniejszył się do ok. 4% (4 — krzywa pacjentki, V palec lkg; 5 — krzywa pacjentki, IV palec lkg; 6 — krzywa pacjentki, III palec lkg)



**Figure 5.** Patient FI at a age  $15 \frac{9}{12}$ . Diabetes mellitus type I. IDDM duration — 10 years. Microangiopathy (+): retinopathy, nephropathy (1 — healthy subject, left hand, V finger; 2 — healthy subject, left hand, IV finger; 3 — healthy subject, left hand, III finger; 4 — patient, left hand, V finger; 5 — patient, left hand, IV finger; 6 — patient, left hand, III finger)

**Rycina 5.** Pacjentka F.I., lat  $15 \frac{9}{12}$  z cukrzycą typu I. Choruje od 10 lat. Obecne cechy mikroangiopatii cukrzycowej (retinopatia, nefropatia — mikroalbuminuria) (1 — krzywa wzorcowa, V palec lewej kończyny górnej (lkg); 2 — krzywa wzorcowa, IV palec lkg; 3 — krzywa wzorcowa, III palec lkg; 4 — krzywa pacjentki, V palec lkg; 5 — krzywa pacjentki, IV palec lkg; 6 — krzywa pacjentki, III palec lkg)



**Figure 6.** A boy, DD at a age  $14 \frac{10}{12}$ . IDDM. IDDM duration 7 years. Badly controlled. No symptoms of microangiopathy. Smoker (up to 20 cigarettes, daily). Tests before improvement of diabetic control (1 — patient: left hand, V finger; 2 — patient: left hand, IV finger; 3 — patient: left hand, III finger). Tests after 10 days with good diabetic control and without smoking (4 — patient: left hand, V finger; 5 — patient: left hand, IV finger; 6 — patient: left hand, III finger)

**Rycina 6.** Chłopiec D.D., lat  $14 \frac{10}{12}$  z cukrzycą typu I. Choruje od 7 lat. Wyrównanie złe. Brak cech utrwalonej angiopatii. Od roku pali tytoń (do 20 sztuk/d.). Badanie przed osiągnięciem dobrego wyrównania (1 — krzywa pacjenta, V palec lewej kończyny górnej (lkg); 2 — krzywa pacjenta, IV palec lkg; 3 — krzywa pacjenta, III palec lkg) oraz po 10 dniach dobrego wyrównania i zaprzestania palenia tytoniu (4 — krzywa pacjenta, V palec lkg; 5 — krzywa pacjenta, IV palec lkg; 6 — krzywa pacjenta, III palec lkg)

circulation disturbances (significant reduction of local blood flow).

These complications would be expected when the local body temperature was reduced to  $+13^{\circ}\text{C}$  [4].

In almost all examined patients, the local cooling procedure did not reduce skin temperature beneath  $+15^{\circ}\text{C}$  (the temp. of reduced finger dexterity [5]).

We have performed special tests to determine the efficacy of mentioned local cooling. To do this we have used a model (phantom) — an artificial, **devoid of circulation finger** (cutaneous, muscular and osseous tissues). We have measured internal temperature (using the temp. thermocouple sensor TP-K01 located 2–2.5 mm below the external surface of a phantom). We have been repeating warming up this artificial finger to get a uniform internal temperature: 19, 20, 25, 27, 30 or  $35^{\circ}\text{C}$  and testing the changes of this temperature during the process of cooling (time: 90 s; temp.  $+10^{\circ}\text{C}$ ). The temperatures have been tested with the help of the electronic thermometer TES 1300 and the thermocouple TP-K01.

As a effect of cooling we have got temperature ranges from  $+14^{\circ}\text{C}$  to  $+25^{\circ}\text{C}$ . These have been internal temperatures (2–2.5 mm below the surface of an artificial, devoid of circulation finger).

These effects can prove, that our method is harmless.

We have found a lot of examples of medical tests and procedures making use of really lower temperatures or by cooling down spacious areas of human body surface.

For example:

- so called *test presyjny na zimno* (in polish language) [6], the test used to diagnose autonomic neuropathy — increment of arterial blood pressure as a effect of cooling down patient's hand in a ice-cold water ( $0^{\circ}\text{C}$ ). The stage of cooling lasts 60 s;
- so called cooling test in cardiology — estimation of coronary arteries dilatation in aftermath of 2 min patient's hand cooling down. This test is based on using ice-cold water [7];
- test based on 5–10 min stages of patient's forearm cooling down (water:  $+5^{\circ}\text{C}$  to  $+10^{\circ}\text{C}$ ) [8, 9];
- test with 20 min stage of a local cooling down by using ice-cold water ( $0^{\circ}\text{C}$ ) [10];
- keeping human organs in cool fluids (reducing the organ temp. to  $+2$  to  $+4^{\circ}\text{C}$  before transplantations [11]);
- 1–4 min of cooling by using external temperatures  $-100^{\circ}\text{C}$  do  $-160^{\circ}\text{C}$  as a method of treating chronic diseases of joints [12];
- test based on 3 hours period of cooling hands by using frosty air ( $-15^{\circ}\text{C}$ ) [13];
- so called immerse reflex (putting patient's face into cold water to stop supraventricular tachycardias.

— wywoływanie tzw. odruchu zanurzeniowego, polegającego na zanurzeniu twarzy na ok. 25 s w wodzie o temp.  $4^{\circ}\text{C}$  w celu przerwania napadowego częstoskurczu przedsionkowego [14];

— 2-minutowa miejscowa ekspozycja skóry kończyny górnej na bodziec termiczny  $5-6^{\circ}\text{C}$  u pacjentów z zespołem Raynauda [15];

Przebieg przeprowadzonych badań i bardzo dobra tolerancja testu u wszystkich pacjentów potwierdziły całkowite bezpieczeństwo stosowanej przez autorów metody.

Poczynione przez autorów obserwacje polegające na analizie wyników badań termometrycznych przeprowadzonych u pacjentów z różnymi schorzeniami powodującymi dysfunkcję układu naczyniowego, a zwłaszcza mikrokrążenia nie pozwalają jeszcze na wyciąganie zbyt daleko idących wniosków.

Jak dotychczas nie znaleziono typowych aberracji krzywych pozwalających na diagnostykę rodzaju schorzenia jedynie na podstawie kształtu krzywej.

Wyniki badań zdają się potwierdzać przesłanki teoretyczne, że zaistnienie warunków sprzyjających pogorszeniu lub poprawie krążenia tkankowego wiąże się ze zmianami w przebiegu krzywych termometrycznych.

U pacjentów, u których skorygowano zaburzenie metaboliczne oraz wyrównano niedobory składników ustrojowych (lepsze wyrównanie cukrzycy, leczenie następstw jądłowstrętu psychicznego) odnotowano mniej lub bardziej wyraźne zbliżanie się kształtu krzywej i wartości analizowanych parametrów do tych, jakie obserwowano u osób zdrowych. Szczególnie jest to widoczne u pacjentów młodszych, u których należy się spodziewać większego udziału komponentów czynnościowych w stwierdzonych zaburzeniach przepływu naczyniowego.

Istnieją podstawy teoretyczne, aby wiązać pogarszanie czy poprawę wartości parametrów termometrycznych z pogłębianiem się lub ustępowaniem endotelopatii.

Autorzy niniejszego artykułu sądzą, że na podstawie uzyskanych wyników proponowane badanie może znaleźć zastosowanie w ocenie tendencji zmian parametrów mikrokrążenia w trakcie stosowania różnych procedur terapeutycznych. Dałoby to podstawy do ewentualnego indywidualnego wyboru i korygowania metody leczenia oraz w jakimś sensie zminimalizowało subiektywny element oceny wyników terapii.

## Wnioski

1. Schorzenia prowadzące do dysfunkcji mikrokrążenia wywołują istotne zmiany w kształcie krzywych termometrycznych oraz wartościach analizowanych parametrów.
2. Skorygowanie zaburzeń metabolicznych lub zastosowanie procedur leczniczych pozytywnie wpływają



The procedure lasts 25 s; the temperature of used water is equal to  $+4^{\circ}\text{C}$  [14];

- 2 min of local immersion in cold water (upper limb; water  $+5^{\circ}\text{C}$  to  $+6^{\circ}\text{C}$ ) as a diagnostic tool in patients with Raynaud's disease [15].

Our method is harmless and well tolerated.

We have tested small groups of patients so our results can not be generalized, yet.

We have not found relationships between shapes of thermometric curves and kinds of diseases leading to microcirculation dysfunctions, so far.

The results of our observations confirm assumptions that the worsening or improvement of tissue microcirculation can modify heat distribution and shapes of analysed thermometric curves.

The thermometric curves taken from patients with an improvement in microcirculation parameters done by positive metabolism or nutrition modifications represent positive changes — the curves are bringing closer to curves taken from normal, healthy subjects.

This (described above) normalisation of curves are noticeable first and foremost in young patients with functional disturbances or microcirculation. The presences of structural changes in vessels make impossible to have satisfied and full normalisation of curves in those cases — shapes of thermometric curves and thermometric parameters become more or less better but not normal.

There can be found assumptions that the worsening or improvement of heat distribution can be tightly connected with the evolution of endothelopathy.

We think, that our observations can suggest, that our cooling — thermometric test can be useful in the process of diagnosing the microcirculation worsening or improvement in the aftermath of different therapeutic procedures.

If we are right, our test can minimise the subjective component of diagnostic process and give a chance to have a better method of controlling the effects of used therapeutic methods.

Maybe our method will give a chance to differentiate therapeutic methods in accordance to diagnosed kinds and stages of microcirculation changes.

## Conclusions

1. Diseases resulting appearances of symptoms of microcirculatory dysfunctions, cause statistically significant changes in shapes of thermometric curves and in analysed thermometric parameters.
2. The correction of metabolic dysfunctions or administration drugs improving endothelial function can exert a positive influence on values of thermometric parameters (Fig. 2A–2D, 4, 6, Table V).

cych na czynność śródbłonek powoduje korzystną zmianę wartości parametrów termometrycznych (np. ryc. 2A–D, 4, 6, tab. V).

## References

1. Hahn M, Hahn C, Junger M, Steins A, Zuder D, Klyszcz T, et al. (1999) Local cold exposure test with a new arterial photoplethysmographic sensor in healthy controls and patients with secondary Raynaud's phenomenon. *Microvasc Res*, 57 (2): 187–198.
2. Patel V (1997) Retinopatia cukrzycowa: wpływ inhibitorów ACE. *ACE Newsletter*, 11: 11–11.
3. Sanchez-Ferrer C (2000) Wpływ gliklazu na funkcję śródbłonek naczyń — nowe dane doświadczalne i perspektywy. *Nowe perspektywy w terapii cukrzycy typu 2. Biuletyn Informacyjny firmy Servier Polska*, 19–21.
4. Ducharme M, Brajkovic D, Frim J (1999) The effect of direct and indirect hand heating on finger blood flow and dexterity during cold exposure. *J T Biol*, 24: 391–396.
5. Brajkovic D, Ducharme M, Frim J (1998) Influence of localized auxiliary heating on hand comfort during cold exposure. *J Appl Physiol*, 85 (6): 2054–2065.
6. Tatoń J (1995) Neuropatia autonomicznego układu nerwowego. In: Tatoń J ed. *Powikłania cukrzycy*. PZWL, Warszawa 337–362.
7. Antoszewski Z, Woś St, Skalski J, et al. (2000) Hipotermia i autohemotransfuzja stosowana w rozległych i długotrwałych zabiegach operacyjnych. In: Antoszewski Z, Gwóźdź B, Skalski J ed. *Hipotermia i hipertermia w zastosowaniu klinicznym*. Śląsk, Katowice, 115–125.
8. Savourey G, Sendowski I, Bittel J (1996) Biometrical characteristics and physiological responses to a local cold exposure of the extremities. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 74 (1–2): 85–90.
9. Kulikov V, Kim L, Safronov I (1994) Influence of tocopherol on temperature of upper limbs at local cooling. *Arctic Med Res*, 53 (1): 35–39.
10. Van den Brande P, De Coninck A, Lievens P (1997) Skin microcirculation responses to severe local cooling. *Int J Microcirc Clin Exp*, 17 (2): 55–60.
11. Łyczkowski T (2000) Hipotermia w mikrochirurgii. In: Antoszewski Z, Gwóźdź B, Skalski J ed. *Hipotermia i hipertermia w zastosowaniu klinicznym*. Śląsk, Katowice, 349–360.
12. Jonderko G (2000) Skuteczność zabiegów ocieplających lub ochładzających w chorobach narządu ruchu. In: Antoszewski Z, Gwóźdź B, Skalski J ed. *Hipotermia i hipertermia w zastosowaniu klinicznym*. Śląsk, Katowice, 192–200.
13. Brajkovic D, Ducharme M, Frim J (1998) Influence of localized auxiliary heating on hand comfort during cold exposure. *J Appl Physiol*, 85 (6): 2054–2065.
14. Jonderko G (2000) Zanurzenie twarzy w zimnej wodzie jako sposób leczenia napadowego częstoskurczu przedścionkowego. In: Antoszewski Z, Gwóźdź B, Skalski J ed. *Hipotermia i hipertermia w zastosowaniu klinicznym*. Śląsk, Katowice, 201–203.
15. Brain S, Petty R, Lewis J, Williams T (1990) Cutaneous blood flow responses in the forearms of Raynaud's patients induced by local cooling and intradermal injections of CGRP and histamine. *Br J Clin Pharmacol*, 30 (6): 853–859.