

# PRACE ORYGINALNE

Adv Clin Exp Med 2006, 15, 1, 75–79  
ISSN 1230-025X

MICHAŁ MOŹDŻAN, JAN RUXER, JERZY LOBA

## Influence of Ambient Temperature on Glucose Values Performed with Personal Glucose Meter – Preliminary Study

### Wpływ temperatury otoczenia na stężenie glukozy określone za pomocą indywidualnego miernika glikemii – doniesienie wstępne

Klinika Diabetologii i Chorób Metabolicznych UM w Łodzi

#### Streszczenie

**Cel pracy.** Określenie wpływu temperatury otoczenia na stężenie glukozy we krwi włosniczkowej za pomocą indywidualnego miernika glikemii.

**Material i metody.** Badaniem objęto 50 chorych na cukrzycę typu 2. Na czas badania, wynoszący 60 minut, chorzy wkładali prawą rękę, prawe przedramię i prawą stopę do misek wypełnionych wodą o temperaturze +12°C, a lewą rękę, lewe przedramię i lewą stopę do misek z wodą o temperaturze +32°C. U chorych mierzono stężenie glukozy za pomocą indywidualnego miernika glikemii, pobierając krew włosniczkową z różnych okolic skóry: z opuszki palca wskazującego, z opuszki palucha i z zewnętrznej powierzchni przedramienia. Jednocześnie określano stężenie glukozy we krwi pełnej oraz w płynie śródtkankowym, korzystając z systemu ciągłego monitorowania glikemii (CGMS, Medtronic MiniMed).

**Wyniki.** Stężenia glukozy we krwi włosniczkowej pobranej z różnych obszarów skóry istotnie różnią się od stężeń glukozy we krwi pełnej i w płynie śródtkankowym zarówno w niższej ( $p < 0,05$ ), jak i w wyższej temperaturze ( $p < 0,05$ ). Wartości te we krwi włosniczkowej pobranej z odpowiadających sobie symetrycznych okolic skóry, mierzone w temperaturze +32°C, są istotnie wyższe w porównaniu z wartościami uzyskanymi w temperaturze +12°C ( $p < 0,05$ ). Zarówno w niższej, jak i wyższej temperaturze otoczenia stężenie glukozy uzyskane z krwi włosniczkowej, pobranej ze stopy, są istotnie mniejsze w porównaniu z wartościami stężenia glukozy uzyskanymi z krwi włosniczkowej, pobranej z palca ( $p < 0,05$ ) i z przedramienia ( $p < 0,05$ ).

**Wnioski.** Temperatura otoczenia ma istotny wpływ na stężenia glukozy stwierdzone za pomocą indywidualnego miernika glikemii (Adv Clin Exp Med 2006, 15, 1, 75–79)

**Słowa kluczowe:** samokontrola glikemii, pomiary glikemii, indywidualny miernik glikemii, system ciągłego monitorowania glikemii, cukrzyca.

#### Abstract

**Objectives.** Estimation of the influence of various ambient temperature on capillary glucose values performed with personal glucose meter.

**Material and Methods.** 50 type 2 diabetic patients were enrolled into the study. The patients put their right hand and right foot in dish with cold water +12°C and their left hand and left foot into the dish with warm water +32°C. Capillary glucose was measured with one glucose meter from symmetrically fingers, forearms and feet. All of those capillary glucose values were compared to the whole blood and the interstitial glucose values performed with continuous glucose monitoring system (CGMS, Medtronic MiniMed).

**Results.** Significant differences were observed between the capillary glucose values and interstitial ( $p < 0.05$ ) and blood glucose values ( $p < 0.05$ ) both at higher and lower temperature. The higher temperature is correlated with higher capillary blood glucose values as compared to glycaemia in the lower temperature at the same skin sites ( $p < 0.05$ ). Significant lower capillary glucose values were observed at foot as compared to the finger and forearm ( $p < 0.05$ ).

**Conclusions.** The ambient temperature exerts an influence on capillary glucose values performed with personal glucose meter (Adv Clin Exp Med 2006, 15, 1, 75–79).

**Key words:** glucose self-monitoring, glucose measurement, personal glucose meter, continuous glucose monitoring system, diabetes mellitus.

Systematyczne monitorowanie glikemii jest istotnym elementem, warunkującym skuteczność prowadzenia terapii u chorych na cukrzycę. Regularna kontrola glikemii ułatwia podejmowanie trafnych decyzji terapeutycznych oraz pozwala na szybkie reagowanie w sytuacjach nagłych. Wyniki badania *Diabetes Control and Complications Trial* (DCCT) udowodniły, że kontrola metaboliczna chorych na cukrzycę ściśle koreluje z obniżeniem wartości hemoglobiny glikowanej oraz zmniejszeniem częstości występowania późnych powikłań tej choroby [1, 2].

Najbardziej użytecznymi narzędziami stosowanymi w prowadzeniu samokontroli w przebiegu cukrzycy są indywidualne mierniki glikemii (IMG), zwane potocznie glukometrami [3]. Systematyczne monitorowanie glikemii za pomocą glukometrów pozwoliło chorym czynnie współuczestniczyć w procesie leczenia choroby [4]. Oznaczanie glikemii za pomocą IMG nie jest jednak w pełni akceptowanym sposobem monitorowania stopnia wyrównania cukrzycy ze względu na wątpliwości co do wiarygodności uzyskanych wyników [5]. W codziennej praktyce klinicznej IMG wykorzystuje się jednak często ze względu na prostą obsługę oraz stosunkowo łatwy dostęp do tego typu urządzeń. W ostatnich latach wyprodukowano takie IMG, które pozwalają na odczyt glikemii już po kilkunastu sekundach, a do wykonania pomiaru wymagają niewielkiej objętości krwi [6–8].

Celem badania było określenie wpływu różnej temperatury otoczenia na stężenie glukozy uzyskane z krwi włosniczkowej, pobranej z trzech obszarów skóry: palca, przedramienia i stopy.

## Material i metody

Do badania zakwalifikowano 50 chorych na cukrzycę typu 2, w wieku 50–70 lat, hospitalizowanych w Klinice Diabetologii Uniwersytetu Medycznego Łodzi. Z badania wykluczono chorych, u których rozpoznano późne powikłania cukrzycy, choroby obejmujące naczynia obwodowe, niewydolność krążenia i inne ciężkie schorzenia, istniejące zakażenie, zmiany na skórze oraz chorobę nowotworową. Charakterystykę badanej grupy przedstawia tabela 1.

Od dnia poprzedzającego badanie przez kolejne dwie doby monitorowano u chorych stężenie glukozy w płynie śródtkankowym za pomocą systemu ciągłego monitorowania glikemii (CGMS – *Continuous Glucose Monitoring, System*, Medtronic MiniMed). Elektrode CGMS implantowano podskórnym w powłoki brzucha w okolicę pępka.

**Tabela 1.** Charakterystyka badanej grupy

**Table 1.** Characteristics of study group

Charakterystyka badanej grupy (Characteristic of study group)	
Liczba chorych (Number of patients)	50
Płeć K/M (Sex F/M)	18/32
Wiek – lata (Age – years) $\bar{x} \pm SD$	61,4 $\pm$ 6,2
BMI kg/m <sup>2</sup> $\bar{x} \pm SD$	27,2 $\pm$ 2,1
Czas trwania cukrzycy – lata (Diabetes mellitus duration – years) $\bar{x} \pm SD$	8,2 $\pm$ 3,4
Średnia glikemia dobowa w dniu poprzedzającym badanie – mg/dl (Mean glucose value on the day before the measurement – mg/dl) $\bar{x} \pm SD$	177,4 $\pm$ 57,3
HbA <sub>1c</sub> – % $\bar{x} \pm SD$	7,2% $\pm$ 2,1

Bezpośrednio przed badaniem zakładano chorym cewnik do żyły w zagięciu łokciowym. Na czas badania (60 minut) chorzy wkładali prawą rękę, 2/3 prawego przedramienia i prawą stopę do misek wypełnionych wodą o temperaturze +12°C, a lewą rękę, 2/3 lewego przedramienia i lewą stopę do misek z wodą o temperaturze +32°C. W całym okresie badania utrzymywano stałą temperaturę wody. Chorym mierzono stężenie glukozy we krwi włosniczkowej co 15 minut za pomocą tego samego IMG (Glucotrend II, Roche Diagnostik) z różnych obszarów skóry: opuszki palca wskazującego, grzbietowej powierzchni przedramienia około 10 cm od nadgarstka oraz z opuszki palucha. Podczas pomiaru glikemii za pomocą IMG chorzy wynurzali odpowiednią kończynę z naczynia na kilka sekund. W tym samym czasie, w którym określano stężenie glukozy we krwi włosniczkowej pobierano chorym krew pełną w celu oznaczenia stężenia glukozy za pomocą oksydazy glukozy. Wartości stężenia glukozy uzyskane w 15., 30., 45. i 60. minucie badania z wykorzystaniem trzech różnych metod (IMG, CGMS oraz oznaczenie glukozy we krwi pełnej) poddano analizie porównawczej.

Do porównania wartości glikemii zastosowano wieloczynnikową analizę wariancji uzupełnioną oceną efektów prostych. W użytych testach statystycznym przyjęto poziom istotności  $\alpha = 0,05$ . Analizę statystyczną wykonano za pomocą programu *STATISTICA*.

## Wyniki

Stwierdzono istotnie większe wartości stężenia glukozy we krwi włosniczkowej pobranej z opuszki palca wskazującego zanurzonego w misce z ciepłą wodą (C) w porównaniu z wartością z palca zanurzonego w misce z zimną wodą (Z) (C vs. Z,  $p = 0,02$ ). Wartości uzyskane z pomiarów z palca zanurzonego w zimnej wodzie i z palca zanurzonego w ciepłej wodzie różniły się istotnie od stężeń glukozy oznaczonych we krwi pełnej (P) (Z vs. P,  $p = 0,02$ , C vs. P,  $p = 0,01$ ) oraz w płynie śródtkankowym (S) (Z vs. S,  $p = 0,02$ , C vs. S,  $p = 0,01$ ).

Stężenia glukozy we krwi włosniczkowej pobranej z przedramienia zanurzonego uprzednio w misce z ciepłą wodą (C) były istotnie większe w porównaniu z wartościami uzyskanymi z przedramienia zanurzonego uprzednio w wodzie zimnej (Z) (C vs. Z,  $p = 0,001$ ). Stężenia glukozy we krwi włosniczkowej, uzyskane z pomiarów z przedramienia pozostającego w niższej temperaturze i przedramienia pozostającego w wyższej temperaturze, różniły się istotnie od wartości glukozy oznaczonych we krwi pełnej (P) (Z vs. P,  $p = 0,005$ , C vs. P,  $p = 0,01$ ) oraz płynie śródtkankowym (S) (Z vs. S,  $p = 0,01$ , C vs. S,  $p = 0,02$ ).

Wartości glukozy we krwi włosniczkowej pobranej ze stopy uprzednio zanurzonej w ciepłej wodzie (C) były istotnie wyższe od wartości uzyskanych z pomiarów na stopie zanurzonej uprzednio w wodzie zimnej (Z) (C vs. Z,  $p < 0,001$ ).

Stężenia glukozy we krwi włosniczkowej uzyskane z pomiarów obu stóp różniły się istotnie od wartości glukozy oznaczonych zarówno we krwi pełnej (P) (Z vs. P,  $p < 0,001$ , C vs. P,  $p = 0,01$ ), jak i w płynie śródtkankowym (S) (Z vs. S,  $p < 0,001$ , C vs. S,  $p = 0,01$ ).

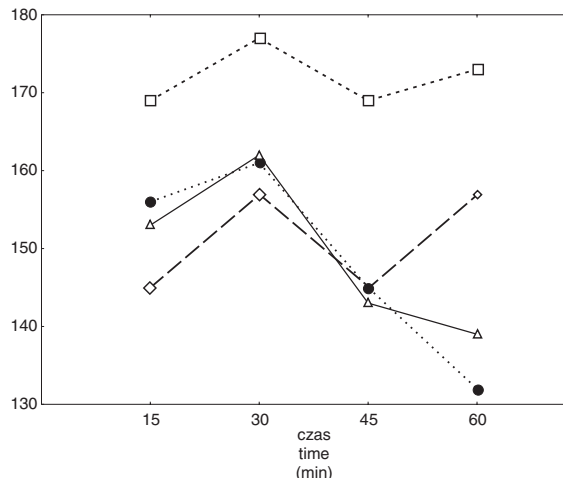
Stężenia glukozy we krwi włosniczkowej uzyskane zarówno w wyższej, jak i niższej temperaturze były istotnie mniejsze w przypadku glikemii uzyskanej ze stopy w porównaniu z wartościami uzyskanymi z przedramienia ( $p = 0,01$ ) i palca ( $p = 0,005$ ).

## Omówienie

Zapewnienie wiarygodności wyników stężenia glukozy uzyskanych w samokontroli prowadzonej w różnych warunkach otoczenia jest nadal trudne. Ciągłe udoskonalanie IMG, w tym poprawa dokładności pomiarów stężenia glukozy, nie rozwiązuje wszystkich problemów związanych z monitorowaniem chorych na cukrzycę.

W przedstawionych badaniach wykazano istotny wpływ temperatury otoczenia i miejsca po-

stężenie glukozy we krwi włosniczkowej  
capillary glucose values  
(mg%)



- ◇ – (Z) stężenie glukozy oznaczone we krwi włosniczkowej pobranej z palca wskazującego w temperaturze +12°C  
– capillary glucose values from finger measured at temperature +12°C
- – (C) stężenie glukozy oznaczone we krwi włosniczkowej pobranej z palca wskazującego w temperaturze +32°C  
– capillary glucose values from finger measured at temperature +32°C
- – (P) stężenie glukozy oznaczone we krwi pełnej  
– the whole blood glucose values
- △ – (S) stężenie glukozy oznaczone w płynie śródtkankowym  
– interstitial glucose values

**Ryc. 1.** Stężenie glukozy oznaczone w 15, 30, 45 i 60 min badania metodą laboratoryjną (krew pełna) za pomocą CGMS (płyn śródtkankowy) oraz IMG (krew włosniczkowa pobrana z palca wskazującego w temperaturze +12°C i +32°C)

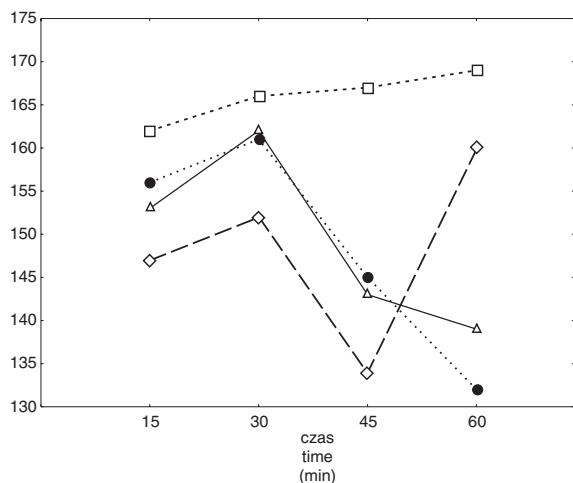
**Fig. 1.** Glucose values determined at 15, 30, 45 and 60 minute of study with analytic method (whole blood), with CGMS (interstitial fluid) and with glucose meter (capillary blood from finger at ambient temperature +12°C and +32°C)

brania krwi włosniczkowej na wartości glukozy uzyskane za pomocą IMG. Stężenia glukozy oznaczane we krwi włosniczkowej pobranej z palca, przedramienia i stopy zarówno w warunkach wyższej (+32°C), jak i niższej temperatury otoczenia (+12°C) istotnie różniły się między sobą. Najniższe stężenia glukozy obserwowano, gdy miejscem pobrania krwi włosniczkowej była stopa.

Dotychczas pojawiły się nieliczne doniesienia, w których oceniano wpływ różnych warunków klimatycznych, takich jak: wysokość nad poziomem morza, wilgotność czy temperatura otoczenia, na stężenie glukozy we krwi włosniczkowej. Z dostępnego piśmiennictwa wynika, że dotychczas nie prowadzono badań, w których oceniano by wpływ zarówno wysokiej (powyżej 30°C), jak i niskiej (poniżej 15°C) temperatury otoczenia na stężenie glukozy uzyskane za pomocą IMG.

Nawawi et al. przeprowadzili badanie oceniające jedynie wpływ wysokiej temperatury otoczenia (powyżej 30°C) na poziom glikemii mierzone

stężenie glukozy we krwi włosniczkowej  
capillary glucose values  
(mg%)



- ◇ – (Z) stężenie glukozy oznaczone we krwi włosniczkowej pobranej z przedramienia w temperaturze +12°C  
– capillary glucose values from forearm measured at temperature +12°C
- – (C) stężenie glukozy oznaczone we krwi włosniczkowej pobranej z przedramienia w temperaturze +32°C  
– capillary glucose values from forearm measured at temperature +32°C
- – (P) stężenie glukozy oznaczone we krwi pełnej  
– the whole blood glucose values
- △ – (S) stężenie glukozy oznaczone w płynie śródtkankowym  
– interstitial glucose values

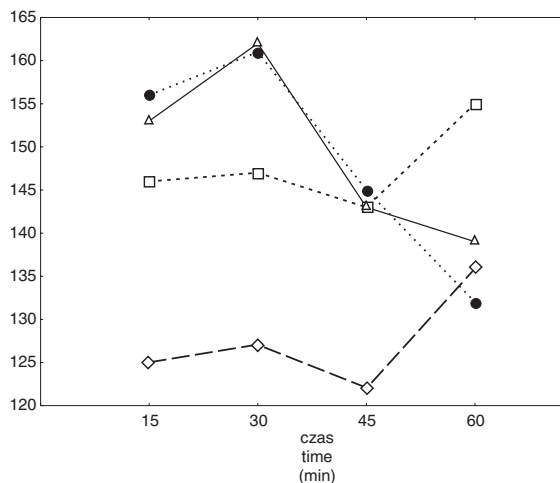
**Ryc. 2.** Stężenie glukozy oznaczone w 15, 30, 45 i 60 min badania metodą laboratoryjną (krew pełna), za pomocą CGMS (płyn śródtkankowy) oraz IMG (krew włosniczkowa pobrana z przedramienia w temperaturze +12°C i +32°C)

**Fig. 2.** Glucose values determined at 15, 30, 45 and 60 minute of study with analytic method (whole blood), with CGMS (interstitial fluid) and with glucose meter (capillary blood from forearm at ambient temperature +12°C and +32°C)

IMG (Omnitest Sensor). Autorzy zbadali 114 osób, mierząc stężenie glukozy zarówno we krwi pełnej, jak i włosniczkowej w trzech różnych temperaturach otoczenia: 21–22°C, 26–27°C i 33–34°C. Nie znaleziono istotnych różnic między wynikami uzyskanymi metodą analityczną i za pomocą testowanego IMG. Nawawi et al. stwierdzili, że temperatura otoczenia nie wpływa na dokładność wyników i sam przebieg pomiaru stężenia glukozy [9].

Liczne są natomiast doniesienia dotyczące wpływu miejsca pobrania krwi włosniczkowej na uzyskane wartości stężenia glukozy we krwi. Holstein et al. porównywali wartości glikemii we krwi włosniczkowej pobranej z okolicy pępka i z opuszki palca wskazującego. W tym celu autorzy oznaczali stężenie glukozy pięciokrotnie w ciągu doby przez pięć dni u 63 chorych na cukrzycę i u 16 zdrowych ochotników. Badacze oceniali także akceptację miejsca pomiarów przez wszystkie osoby. Na podstawie wyników autorzy badania stwierdzili brak istotnych różnic między wartościami stężenia glu-

stężenie glukozy we krwi włosniczkowej  
capillary glucose values  
(mg%)



- ◇ – (Z) stężenie glukozy oznaczone we krwi włosniczkowej pobranej ze stopy w temperaturze +12°C  
– capillary glucose values from foot measured at temperature +12°C
- – (C) stężenie glukozy oznaczone we krwi włosniczkowej pobranej ze stopy w temperaturze +32°C  
– capillary glucose values from foot measured at temperature +32°C
- – (P) stężenie glukozy oznaczone we krwi pełnej  
– the whole blood glucose values
- △ – (S) stężenie glukozy oznaczone w płynie śródtkankowym  
– interstitial glucose values

**Ryc. 3.** Stężenie glukozy oznaczone w 15, 30, 45 i 60 min badania metodą laboratoryjną (krew pełna), za pomocą CGMS (płyn śródtkankowy) oraz IMG (krew włosniczkowa pobrana ze stopy w temperaturze +12°C i +32°C)

**Fig. 3.** Glucose values determined at hour time points with analytic method (whole blood), with CGMS (interstitial fluid) and with glucose meter (capillary blood from foot at ambient temperature +12°C and +32°C)

kozy uzyskanymi z krwi pobranej z palca i z brucha. Jedynie 22% badanych osób wyraziło chęć kontynuacji pomiarów z okolicy pępka, pomimo że, jak sugeruje Holstein, jest to prosta, bezbolesna i dokładna metoda samokontroli glikemii [10].

Fink et al. oznaczali stężenie glukozy we krwi włosniczkowej u osób przebywających na różnych wysokościach względem poziomu morza, a więc w warunkach klimatycznych o odmiennej temperaturze i wilgotności. Autorzy zaobserwowali, że w różnych warunkach klimatycznych obserwuje się różne wartości stężenia glukozy we krwi włosniczkowej [11].

W badaniu Ducorpsa et al. oceniano wpływ wilgotności i wysokiej temperatury na działanie pasków testowych oraz indywidualnych mierników glikemii. Autorzy przechowywali przez jeden miesiąc paski testowe w sterylnym piecu w temperaturze 40°C przy 0% wilgotności oraz w temperaturze 40°C przy 75% wilgotności powietrza. W takich samych warunkach przechowywano indywi-

dualne mierniki glikemii. Ducorps et al. po wyciągnięciu z pieca pasków testowych i IMG stosowali je następnie do oznaczania stężenia glukozy we krwi włosniczkowej u badanych osób. Autorzy nie obserwowali istotnego wpływu badanych warunków otoczenia na prawidłowe funkcjonowanie pasków testowych i IMG, uznając uzyskiwane wartości za wiarygodne [12].

Wiarygodność poziomu glikemii uzyskanego w różnych warunkach otoczenia i oddziaływania odmiennych czynników zewnętrznych ma istotny wymiar praktyczny. Poznanie złożonych wpływów środowiska na wyniki pomiarów IMG zapewni lepszą edukację chorych w zakresie samokontroli oraz poprawi warunki oceny wyrównania metabolicznego chorych na cukrzycę. Zdając sobie sprawę z wagi problemu, autorzy rozpoczęli

szersze badania nad wpływem czynników fizykochemicznych środowiska na stężenia glukozy uzyskane za pomocą IMG.

Z dotychczasowych badań wynika, że stężenia glukozy we krwi włosniczkowej pobranej z różnych obszarów skóry różnią się od wartości oznaczonych we krwi pełnej i w płynie śródtkankowym, zarówno w warunkach wysokiej, jak i niskiej temperatury otoczenia. Stężenie glukozy włosniczkowej oznaczane w wyższej temperaturze jest istotnie wyższe w porównaniu z wartościami uzyskanymi z pomiarów z porównywalnych obszarów ciała w niższej temperaturze otoczenia. Stężenie glukozy we krwi oznaczane we krwi włosniczkowej pobranej ze stopy jest istotnie niższe w porównaniu z wartościami uzyskanymi z pomiarów z palca wskazującego i przedramienia.

## Piśmiennictwo

- [1] The Diabetes Control and Complications Trial Research Group: The effect of intensive treatment of diabetes on the development and progression of long-term complications in insulin dependent diabetes mellitus. *N Engl J Med.* 1993, 329, 977–987.
- [2] The Diabetes Control and Complications Trial Research Group: Implementation of treatment protocols in the Diabetes Control and Complications trial. *Diabetes Care* 1995, 18, 361–369.
- [3] **Kirk JK, Rheny CC:** Important features of blood glucose meters. *J Am Pharm Assoc (Wash)* 1998, 38, 210–209.
- [4] **Dufaitre-Patouraux L, Vague P, Lassmann-Vague V:** History, accuracy and precision of SMBG devices. *Diab Metab* 2003, 29, S7–S14.
- [5] **Henry MJ, Major CA, Reinsch S:** Accuracy of self-monitoring of blood glucose: impact on diabetes management decisions during pregnancy. *Diabetes Educ* 2001, 27, 521–529.
- [6] **Foster SA, Goode JV, Small RE:** Home blood glucose monitoring. *Ann Pharmacother* 1999, 33, 355–356.
- [7] **Mensing C:** Helping patients choose the right blood glucose meter. *Nurse Pract* 2004, 29, 43–45.
- [8] **Spollett GR:** Choosing a blood glucose meter. *Diabetes Self Manag* 2003, 20, 99–100.
- [9] **Nawawi H, Sazali BS, Kamaruzaman BH, Yazid TN, Jemain AA, Ismail F, Khalid BA:** Effect of ambient temperature on analytical and clinical performance of a blood glucose monitoring system: Omnitest Sensor glucose meter. *Ann Clin Biochem* 2001, 38, 676–683.
- [10] **Holstein A, Thiessen E, Kaufmann N, Plaschke A, Egberts EH:** Blood glucose self-monitoring from abdominal skin: a precise and virtually pain-free method. *Acta Diabetol* 2002, 9, 97–104.
- [11] **Fink KS, Christensen DB, Ellsworth A:** Effect of high altitude on blood glucose meter performance. *Diabetes Technol Ther* 2002, 4, 627–635.
- [12] **Ducorps M, Papoz L, Cuisinier-Raynal JC, Simon D:** Reliability of glucose measurement by glucose test strips in tropical conditions. *Diabetes Res Clin Pract* 1992, 17, 51–54.

## Adres do korespondencji:

Michał Możdżan  
Klinika Diabetologii i Chorób Metabolicznych UM  
ul. Wyszyńskiego 25a/4  
94-047 Łódź  
e-mail: mozdzanm@poczta.onet.pl

Praca wpłynęła do Redakcji: 27.08.2005 r.

Po recenzji: 27.06.2005 r.

Zaakceptowano do druku: 19.07.2005 r.

Received: 27.08.2005

Revised: 27.06.2005

Accepted: 19.07.2005