

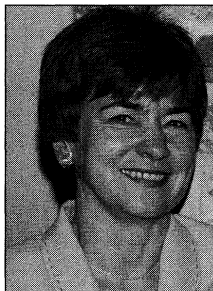
## Ewa DZIUBAN

ZAKŁAD METROLOGII I SYSTEMÓW POMIAROWYCH, POLITECHNIKA RZESZOWSKA

## Pomiary fizykalnych parametrów organizmu

Dr inż. Ewa DZIUBAN

Adiunkt w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej, członek Polskiego Towarzystwa Inżynierii Biomedycznej. Główne zainteresowania w dziedzinie metrologii oraz tematyka publikacji - pomiary biomedyczne, termometria. Ukończyła Wydział Elektroniki Politechniki Warszawskiej. Pracowała w Ośrodku Badań Rozwojowych WSK-PZL Rzeszów, a następnie w Politechnice Rzeszowskiej, gdzie w 1988 roku uzyskała stopień doktora nauk technicznych.



## Streszczenie

Pomiary *in vivo* fizykalnych parametrów organizmu ludzkiego wymagają rozwiązania licznych trudności metrologicznych i technicznych. Wiąże się one z małym poziomem mocy oraz wąskim zakresem częstotliwości i obecnością składowej stałej, tak charakterystycznymi dla wielkości mierzonych w biomedycynie oraz interferencjami i zakłóceniami pochodzącymi od innych organów i od otoczenia. Zasadniczą wagę ma ponadto zapewnienie bezpieczeństwa pacjenta. Na tle zwięźle przedstawionych problemów, jakie stwarzają metrologom pomiary w biomedycynie zaprezentowano przykład zastosowania bezdotykowego pomiaru temperatury do badania odpowiedzi termicznej wywołanej przez nakłuwanie wykonywane w punktach biologicznej aktywności.

## Abstract

Measurements of organism's physical parameters cause special metrological and technical problems. They occur because: a) signals collected from the human organism have low power and narrow frequency band, b) signals originated from the adjoining organs interfere useful signal, c) disturbances in clinical environment make difficult receiving biomedical signals, d) both non-invasive and invasive measurements should provide absolute electrical shock protection. For example results of non-contact measurements of temperature changes evoked by needle therapy at biological active points are presented.

**Keywords:** biomedical measurements, non-contact skin temperature measurements

**Słowa kluczowe:** pomiary parametrów biomedycznych, bezdotkowy pomiar temperatury skóry

## 1. Wstęp

Pomiarom parametrów, właściwości, czy zjawisk charakterystycznych dla organizmu człowieka przyświecają głównie dwa cele: diagnostyczny oraz badawczy. Pierwszy wykorzystuje uzyskane z pomiarów informacje do określania stanu zdrowia, ewentualnie dyspozycji obiektu biologicznego i postawienia diagnozy umożliwiającej podjęcie leczenia. Dla drugiego z nich informacje z pomiarów służą do poznawania mechanizmów funkcjonowania organizmu, określania jego parametrów fizykalnych, czy tworzenia modeli biofizycznych fenomenów.

## 1.1. Charakterystyka mezurandu

Specyfikę tej dziedziny pomiarów określa źródło wielkości mierzonych, którym jest żywa tkanka albo energia przyłożona do żywej tkanki. Niektóre fizykalne parametry organizmu, na przykład pojemność minutowa serca, są całkowicie niedostępne przy korzystaniu z pomiarów bezpośrednich, nawet przy dopuszczeniu zastosowania procedur inwazyjnych. Zatem istotne znaczenie ma dostępność wielkości mierzonej, która może:

- być przejmowana z powierzchni ciała (EKG),
- być wewnętrzna (ciśnienie tętnicze),

- emanować w postaci promieniowania (podczerwień),
- być efektem oddziaływania tkanki z przyłożoną energią (rtg),
- stanowić odpowiedź na pobudzenie zewnętrzne (potencjały wywołane).

Mezurandy najistotniejsze z punktu widzenia pomiarów biomedycznych można pogrupować w następujące kategorie [1, 2]:

- biopotencjały,
- ciśnienia,
- przepływy,
- wymiary geometryczne (obrazy),
- przemieszczenia (i ich pochodne jak prędkość, przyspieszenie, siła),
- impedancja,
- temperatura,
- stężenie chemiczne.

## 2. Problemy metrologiczne w pomiarach biomedycznych

## 2.1. Zakres wartości i częstotliwości mezurandu

Charakterystyczne dla opisywanych pomiarów są małe wartości parametrów wyróżnionych wielkości mierzonych biomedycynie oraz zakresy częstotliwości od 0 do kilkunastu kiloherców. Ponadto występują liczne zakłócające oddziaływania na wielkość mierzoną i na przyrząd pomiarowy. Wynikają one z natury systemu biologicznego, która uniemożliwia odosobnienie badanego układu fizjologicznego na czas pomiaru. Tabela 1 przedstawia wybór typowych wielkości mierzonych w pomiarach biomedycznych wraz z ich normalnymi i patologicznymi wartościami oraz częstotliwościami charakteryzujących je sygnałów.

Tabela 1. Fizykalne parametry organizmu [1]

Nazwa parametru	Zakres pomiarowy	Zakres częstotliwości
Prędkość przepływu krwi	1 ml/s - 18 l/min	dc - 20 Hz
Ciśnienie krwi w tętnicach	8 mmHg - 300 mmHg 1kPa - 30 kPa	dc - 50 Hz
Pojemność minutowa serca	4 - 25 l/min	dc - 20 Hz
EKG	0,5 - 4 mV	dc - 250 Hz
EEG	5 - 300 $\mu$ V	dc - 150 Hz
EMG	0,1 - 5 mV	dc - 10 000 Hz
Prędkość przepływu powietrza w drogach oddechowych	0 - 600 l/min	dc - 40 Hz
Częstość oddechu	2/min - 50/min	0,1 - 10 Hz
Temperatura ciała	24 - 40°C	Dc - 0,1 Hz
Potencjał nerwowy	0,01 - 3 mV	Dc - 10 000 Hz

Napotykanne problemy pomiarowe są skutkiem niskiego poziomu mierzonych sygnałów (napięcia rzędu mikrowoltów, ciśnienia rzędu kilku mmHg) i obecności składowej stałej, poziomu zakłóceń spowodowanych przez interferencje oraz szumów.

Przy pomiarach potencjałów elektrycznych szumy są związane z typem przewodnictwa elektrycznego występującym w tkance żywej, mianowicie przewodnictwem jonowym, (zależnym od temperatury, wielkości i stężenia jonów w różnych tkankach) oraz prądami konwekcyjnymi i prądami przesunięcia.

## 2.2. Dokładność i wzorcowanie

Dokładność wyników pomiarów fizykalnych parametrów człowieka charakteryzują:

- nieokreśloność mierzonego zjawiska, która jest spowodowana przez naturalną zmienność wynikającą z modyfikowania mierzonego parametru przez cechy indywidualne osobnika,
- wynikająca z wyżej wymienionej nieokreśloności odmienna niż w metrologii ocena dokładności pomiaru,
- niezbędność statystycznej interpretacji wyników, która jest koniecznym elementem każdego pomiaru, gdy zmienna pomiarowa ma charakter niezdeterminowany.

Pomiarowe systemy biomedyczne podlegają kalibracji przez porównanie z wzorcem technicznym, według określanych normami reguł. Jednak, ponieważ omawiane pomiary zazwyczaj mają cel diagnostyczny, dodatkowo ich wyniki są porównywane z wartościami fizjologicznymi wzorcowymi, czy uznawanymi za poprawne. Przyjęcie „wzorcowych” wartości parametrów fizjologicznych oznaczających zdrowie stanowi osobne zagadnienie; są opracowywane na podstawie badań statystycznych na dużych próbach [3, 4].

### 3. Bezpieczeństwo

Pomiary *in vivo* muszą spełniać gwarancję bezwzględnego bezpieczeństwa obiektu biologicznego, w szczególności pomiaru elektrycznego, które niosą ryzyko porażenia prądem elektrycznym. Osobną dziedzinę zagrożeń stanowią mikro-szoki elektryczne mogące zaistnieć podczas procedur inwazyjnych, gdy metoda pomiarowa wymaga zasilania czujnika pomiarowego prądem o nawet znikomo małym natężeniu. Stwierdzono na zwierzętach, że migotanie komórek może wywołać już prąd rzędu 20-30  $\mu\text{A}$ , jeżeli zostanie przyłożony bezpośrednio do serca [1].

### 4. Pomiar temperatury odpowiedzi organizmu wywołanej nakłuwaniem w punktach biologicznie aktywnych

Termometr radiacyjny (pirometr) o zakresie temperaturowym 0-300°C; emisyjności regulowanej co 0.1; rozdzielczości 1°C; zakresie widmowym 8-14  $\mu\text{m}$  został wykorzystany do pomiaru termicznych odpowiedzi na pobudzenie w postaci nakłuwania w wybranych miejscach aktywnych biologicznie, czyli punktach akupunktury.

Informacje zawarte w wywołanej zmianie temperatury tych punktów podczas leczniczych zabiegów nakłuwania przedstawiają odpowiedź organizmu na terapię. Są to informacje o charakterze energetycznym, związane ze strumieniem ciepła przejmowanym przez pirometr radiacyjny znad miejsca pomiaru. Pirometryczny, czyli bezdotykowy pomiar temperatury jest nieinwazyjny, nie obciąża obiektu ani w sensie technicznym, ani w fizjologicznym oraz spełnia wymogi bezpieczeństwa.

Aby uniknąć zakłóceń pomiaru, mogących wpływać na wyniki, pomiary wykonywano w warunkach ustabilizowanych (temperatura pokojowa 20-22°C, wilgotność normalna), bez przeciągów i dodatkowych źródeł ciepła. Uczestnicy (ochotnicy) relaksowali się chwilę, by organizm uzyskał równowagę termiczną z otoczeniem. Zabiegi w punktach odpowiadających określonym schorzeniom wykonywał doświadczony terapeuta. Dodatkowo wykonywano też pomiar temperatury punktu neutralnego na skórze w pobliżu badanego punktu akupunktury, jako temperatury odniesienia.

W eksperymencie uczestniczyło dwoje ludzi ze zdiagnozowanymi dolegliwościami: „obiekt 1” to kobieta z bólem ucha, zaś „obiekt 2” to mężczyzna z przeziębieniem. Temperaturę mierzono kilkakrotnie odpowiednio przed zabiegiem, podczas, bezpośrednio po zabiegu i kilkanaście minut później, w 2 punktach akupunktury oraz punkcie obojętnym. Wyniki pomiarów zestawiono w Tabelach 2 i 3, a otrzymane na ich podstawie wykresy przedstawiono na rys. 1 i 2.

Z obserwacji skutków pojedynczych zabiegów, czyli wzrostu, ewentualnie spadku średniej temperatury podczas nakłuwań wynikało pytanie: jak długo utrzymują się w organizmie te zmiany temperatury. Aby otrzymać odpowiedź, inna grupa pacjentów, uprzednio

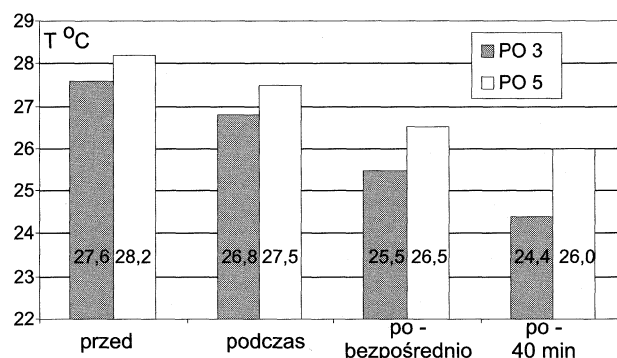
zdiagnozowana przez terapeuta, poddawana była cyklem zabiegów nakłuwania tworzących serię leczniczą [5]. Temperaturę wybranych punktów mierzono co minutę podczas zabiegu trwającego, w zależności od diagnozy od 15 do 20 min. Seria składała się z zabiegów wykonywanych raz dziennie, przez liczbę dni uzależnioną od danego przypadku. Zaobserwowano, że średnie wartości temperatury po poszczególnych zabiegach utrzymywały zapoczątkowany kierunek zmian. Zmiany ciepłone wywołane terapią igłową nie były krótkotrwałe, utrzymywały się w organizmie co najmniej z dnia na dzień. Przykłady zestawiono w Tabelach 4 i 5 oraz przedstawiono na rys. 3.

Tabela 2. Zmiany temperatury średniej w dwóch punktach akupunktury podczas trwania zabiegu (obiekt 1)

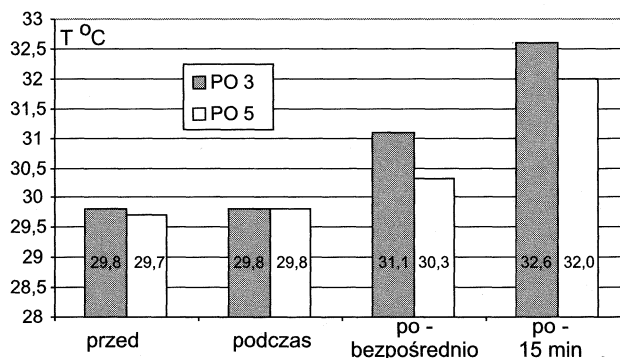
Punkt	Liczba pomiarów	Średnia temp., °C przed	Średnia temp., °C podczas	Średnia temp., °C po zabiegu	Średnia temp., °C po 40 min.
PO3	5	27,6	26,8	25,5	24,4
PO5	5	28,2	27,5	26,5	26,0
Punkt neutralny	5				25,6

Tabela 3. Zmiany temperatury średniej w dwóch punktach akupunktury podczas trwania zabiegu (obiekt 2)

Punkt	Liczba pomiarów	Średnia temp., °C przed	Średnia temp., °C podczas	Średnia temp., °C po zabiegu	Średnia temp., °C po 15 min
PO3	6	29,8	29,8	31,1	32,6
PO5	6	29,7	29,8	30,3	32,0
Punkt neutralny	5	29,4	29	31,8	31,4



Rys. 1. Zmiany średniej temperatury w dwóch punktach akupunktury PO3 i PO5 w odpowiedzi na nakłuwanie (obiekt 1)



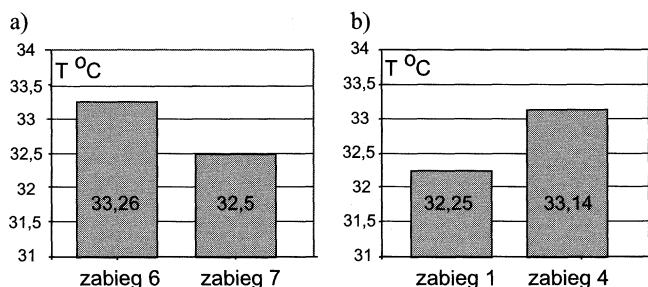
Rys. 2. Zmiany średniej temperatury w dwóch punktach akupunktury PO3 i PO5 w odpowiedzi na nakłuwanie (obiekt 2)

Tabela 4. Średnie temperatury w wybranym punkcie akupunktury podczas kolejnych zabiegów (obiekt 3)

Punkt	Nr zabiegu	Liczba pomiarów	Średnia temp., °C
GRP 12	6	8	33,26
GRP 12	7	6	32,5
Neutralny	6	7	29,25

Tabela 5. Średnie temperatury w wybranym punkcie akupunktury po kilku zabiegach (obiekt 4)

Punkt	Nr zabiegu	Liczba pomiarów	Średnia temp., °C
JG 20	1	8	32,25
JG 20	4	7	33,14
Neutralny	4	8	33,29



Rys. 3. Średnia temperatura spada (a, obiekt 3) w czasie kolejnych zabiegów albo wzrasta, (b, obiekt 4)

## 5. Wnioski

Po wstępnych wynikach jakościowych powinny nastąpić badania ilościowe oraz wielokierunkowe badania statystyczne. Niezbędna jest też współpraca z lekarzami, dzięki której możliwa staje się interpretacja wyników. Wtedy dopiero pomiary fizykalnych

parametrów organizmu pozwalają na określenie stanu „normy” lub stopnia odejścia od „normy” poszczególnych organów i układów badanego człowieka oraz umożliwiają zarówno diagnozę, jak i śledzenie postępów w leczeniu. Dodatkową wartością badawczą pomiary te ujawniają w odniesieniu do identyfikowania i wyjaśniania nie poznanych dotąd zjawisk biofizycznych.

## Literatura

- [1] Webster J.G. (ed), Medical Instrumentation Application and Design, Houghton Mifflin Company, 1992
- [2] Nałęcz M. (red), Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna, tom 2, Biopomiary, Akademicka Oficyna Wyd. EXIT, Warszawa, 2001
- [3] Juroszek B., Dziuban E., Measurement of properties of biomedical subject - cognitive targets for students at Technical Universities in Wrocław and Rzeszów, Joint IMEKO TC1& MKM Conference 2002, Vol.1. Wrocław, 2002,
- [4] Tadeusiewicz R., Izvorski A., Majewski J., Biometria, Wyd. AGH, Kraków, 1993
- [5] Dziuban E. Temperature Approach to Acupuncture Points Research, Tempmeko 2001, Proceedings 8th International Symposium on Temperature and Thermal Measurements in Industry and Science, VDE Verlag Berlin - Offenbach, 2002

**Title:** Organism's Physical Parameters Measurements

Artykuł recenzowany

## NOWE OBNIŻONE CENY REKLAM W PAK-u CENNIK PUBLIKACJI PŁATNYCH na II półrocze 2003 roku

REKLAMA	Czarno-biała	Kolorowa
*) I okładka	-----	3200 zł
II okładka	-----	2800 zł
III okładka	-----	2700 zł
IV okładka	-----	3000 zł
1 strona (175x225 mm)	1200 zł	1800 zł
½ strony (175x125 mm) - pozioma	700 zł	1050 zł
½ strony (85x225 mm) - pionowa	700 zł	1050 zł
¼ strony (85x125 mm)	450 zł	675 zł
**) ⅛ strony (85x60 mm) - pozioma	250 zł	400 zł

\*) dodatkowa informacja na okładce wg uzgodnień  
\*\*) tylko wg indywidualnych uzgodnień

### ARTYKUŁY TECHNICZNO-INFORMACYJNE

Adresowane do specjalistów na poziomie inżynierskim

1 strona PAK - 1000 zł (+ 50% kolor)

Cena do uzgodnienia w zależności od liczby stron i sponsorowanego tematu

### STAŁE WKŁADKI

tematyczne lub firmowe, wydrukowane przez zleceniodawcę

- 1-kartkowe (2-stronicowe) - 2000 zł
- 2-kartkowe (4-stronicowe) - 3000 zł
- wielokartkowe (do 12 stron) - 4000÷5000 zł

Do wszystkich cen doliczamy podatek VAT 22%