

# Wygodne w użyciu tekstylne aparaty do rejestracji elektrokardiograficznej umożliwiające przedłużoną obserwację

S. Suave Lobodzinski<sup>1</sup> i Michael M. Laks<sup>2</sup>

<sup>1</sup>California State University Long Beach, Kalifornia, USA

<sup>2</sup>Harbor-UCLA Medical Center, Torrance, Kalifornia, USA

Przedrukowano za zgodą z: *Cardiology Journal* 2008; 15, 5: 477–480

## Wstęp

Postęp w miniaturyzacji aparatury do rejestracji elektrokardiograficznej (EKG), jaki osiągnięto w ostatnim czasie, oraz ulepszone metody transmisji danych spowodowały gwałtowny wzrost zainteresowania techniką rejestracji EKG za pomocą urządzeń noszonych na ubraniu, wynikający z potrzeby przedłużonego monitorowania pacjentów i będący wyrazem dążenia do zapewnienia choremu stałego nadzoru lekarskiego. Zastosowanie typowych metod monitorowania w warunkach przychodni czy szpitala daje bowiem lekarzowi obraz stanu pacjenta w krótkim odcinku czasu.

Urządzenia przeznaczone do znacznie przedłużonej rejestracji EKG pozwalają na seryjne porównywanie długich zapisów EKG i umożliwiają gruntowne zbadanie czynności elektrycznej serca. Przedłużona rejestracja pozwala na uzyskanie znacznie większej liczby informacji w porównaniu z pojedynczym klasycznym, 12-odprowadzeniowym EKG i jest narzędziem umożliwiającym zbadanie dynamiki zmian rytmu serca, restytucji oraz dynamiki repolaryzacji i trendów. W ciągu ostatnich kilku lat istotnie zwiększyła się intensywność badań w tej dziedzinie, a wiele firm przeznaczyło ogromne nakłady finansowe na opracowanie technologii rejestracji EKG przez urządzenia noszone na ubraniu, przeznaczone do stosowania w praktyce klinicznej [1].

## Tkaniny elektroczułe i czujniki włóknowe

Nowatorskie rozwiązania w zakresie technologii czujników bezdotykowych, obróbki materiału, wzornictwa i konfiguracji systemów umożliwiły współpracę nauki i przemysłu w stworzeniu „inteligentnych tkanin”. Wszystkie składowe systemów do rejestracji EKG przeznaczonych do noszenia na ubraniu (czujniki, elementy elektroniczne i źródła zasilania) można wyprodukować z polimerów. Elementy odbiorcze mogą zostać włączone w strukturę materiału podczas tkania (czujniki z mikrowłókien) lub nadrukowane albo przytwierdzone do tkaniny w inny sposób (elastyczne elementy elektroniczne) [2]. Szczególnie przydatne do wytwarzania tego typu urządzeń mogą być polimery elektroaktywne ze względu na swoiste właściwości dielektryczne lub przewodzące, lekkość, elastyczność i stosunkowo niski koszt [3]. Użycie „inteligentnych materiałów” umożliwiło zaprojektowanie i wykonanie nowej generacji ubrań z wmontowanymi czujnikami i elektrodami [4, 5]. Zastosowanie specjalnych włókien rejestrujących biopotencjały (BFS, *biopotential fiber sensors*) pozwoliło na znaczną miniaturyzację czujników EKG, wyeliminowanie potrzeby użycia żelów przewodzących dzięki wykorzystaniu nowych elementów odbiorczych i wyeliminowanie przewodów podłączanych do pacjenta. Typowy czujnik

**Adres do korespondencji:** S. Suave Lobodzinski, PhD, Department of Electrical and Biomedical Engineering, California State University Long Beach, 1250 Bellflower Blvd, Long Beach, CA 90840, USA, tel. 562 985 5521, faks 562 985 5899, e-mail: slobo@csulb.edu

Tłumaczenie: Lek. Magdalena Strojek

włóknowy rejestrujący biopotencjały spełnia jednocześnie funkcję odbiornika, elektrody i przewodu podłączonego do pacjenta. Rejestratory noszone na ubraniu pozwalają na wykonywanie wszelkich codziennych czynności, są nieskomplikowane w użytkowaniu i nie powodują dyskomfortu [5, 6].

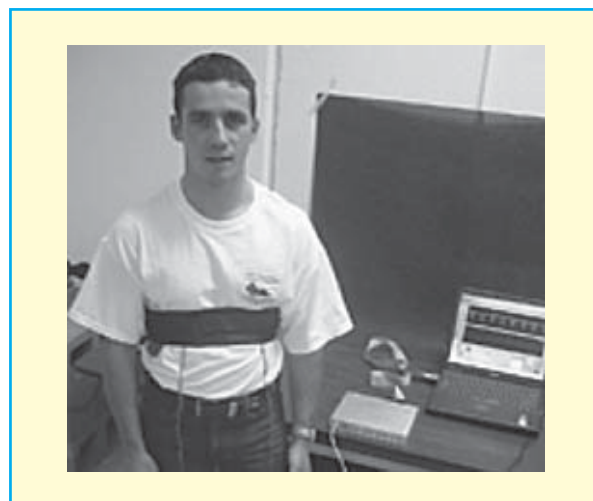
Wygodna, stykająca się z powierzchnią skóry „koszulka rejestrująca” została uszyta w taki sposób, że tkaninę zbudowaną z uwęglonych elastomerów o właściwościach piezorezystywnych wykorzystano do monitorowania ruchów oddechowych, a tkanina o własnościach przewodzących posłużyła, zamiast typowych elektrod, do rejestrowania czynności elektrycznej serca [7].

Do rejestracji sygnału EKG wykorzystano skrawki ( $1 \times 1$  cm) dwóch różnych tkanin — jednej ze stalowymi nitkami owiniętymi wokół włókien akrylu, drugiej z warstwą tkaniny bawełnianej lub akrylu nałożonej na warstwę zawierającą nitki stali nierdzewnej. Aby ocenić ich przydatność, sygnał odbierany przez elektrodę Ag/AgCl (Red Dot firmy 3M) był rejestrowany równolegle z sygnałem odbieranym przez elektrodę tekstylną [8].

### Bezdotykowe systemy rejestracji EKG

Dążenie do wyeliminowania zwilżanych elektrod EKG było motorem badań nad elektrodami EKG, które nie wymagają bezpośredniego kontaktu ze skórą. Ich działanie opiera się na rejestrowaniu pola elektrycznego wytwarzanego przez prądy przesunięcia w ciele człowieka. Tego typu czujniki określa się w piśmiennictwie mianem pojemnościowych lub impedancyjnych [9].

Po raz pierwszy zastosowano je do bezdotykowej rejestracji biopotencjałów w monitorowaniu noworodków. Jako izolatora między skórą a czujnikiem użyto cienkiej warstwy jedwabiu [10]. Dalszy postęp prac nad bezdotykowymi czujnikami rejestrującymi biopotencjały osiągnięto dzięki ulepszonej technologii wytwarzania niskoszumowych czujników impedancyjnych o wysokim oporze (rzędu  $10^9 \Omega$ ) [11]. Lee i wsp. [12] poinformowali o wynalezieniu miniaturowych izolowanych czujników biopotencjałów przeznaczonych do celów wojskowych. Mierzą one potencjał elektryczny skóry bez konieczności jej dotykania i z bardzo niskim sprzężeniem pojemnościowym. Jest to możliwe dzięki połączeniu nowatorskiej budowy obwodu elektrycznego i zastosowania nowego materiału o niskiej stałej dielektrycznej. Bezdotykowe czujniki sprzężone pojemnościowo (CCNS, *capacitively-coupled, non-contact sensors*) pozwalają na rejestrację sygnału przez ubranie.



**Rycina 1.** Rejestracja sygnału EKG przez bawełnianą koszulkę za pomocą sprzężonego pojemnościowo czujnika bezdotykowego (CCNS)

W tego typu czujnikach wykorzystuje się technologię niskoszumową, o wysokiej impedancji, gdzie potencjały elektryczne o niskiej częstotliwości rejestrowane są w wolnej przestrzeni, czyli bez bezpośredniego kontaktu z powierzchnią ciała. Rejestrację EKG przez bawełnianą koszulkę przedstawiono na rycinie 1.

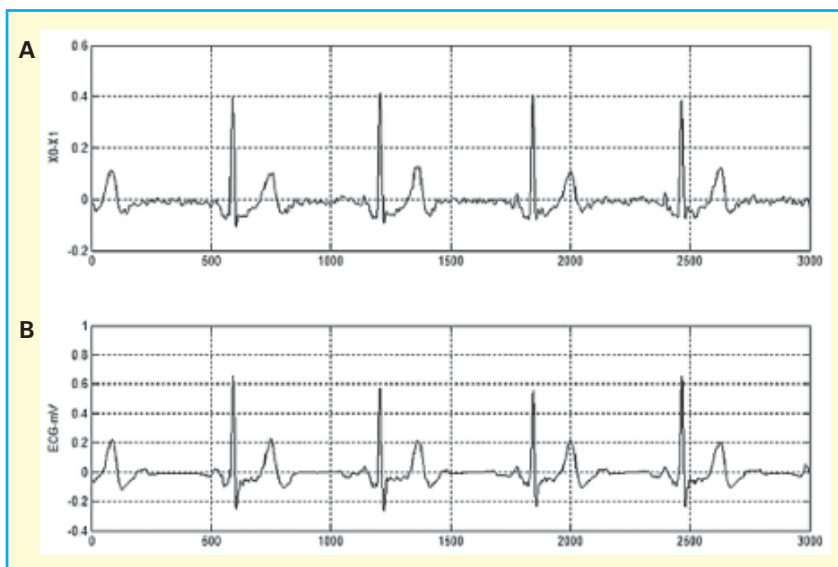
Zapis sygnału z czujnika CCNS jest bardzo podobny do krzywej elektrokardiograficznej zarejestrowanej przez klasyczne elektrody Ag-AgCl (ryc. 2).

Pierwszą wersję czujnika CCNS, łącznie z wszystkimi pomocniczymi urządzeniami elektronicznymi, przedstawiono na rycinie 3.

Na rycinie 4 pokazano koszulkę monitorującą (wykorzystującą technologię CCNS) przeznaczoną dla strażaków — nieinwazyjne urządzenie, którego użycie nie wymaga żadnych przygotowań. Jest to pierwsze bezdotykowe narzędzie tego typu pozwalające na bezpośrednią rejestrację sygnału elektrokardiograficznego.

### Wnioski

Wygodne w użyciu tekstylne czujniki i urządzenia do rejestracji EKG zostały już na tyle udoskonalone, że można je uznać za gotowe do użycia w praktyce klinicznej. Najbardziej obiecującym zastosowaniem klinicznym wydaje się przedłużone monitorowanie migotania przedsionków. Coraz częstsze wykorzystywanie tej techniki sugeruje, że w nieodległej przyszłości podobne urządzenia będą stosowane rutynowo. W typowej sytuacji będą to bezprzewodowe,



**Rycina 2.** Porównanie zapisu EKG uzyskanego przez sprzężony pojemnościowo czujnik bezdotykowy (A) i zapisu uzyskanego z elektrod Ag-AgCl w płaszczyźnie czołowej (B)



**Rycina 3.** Wygląd bezdotykowego czujnika sprzężonego pojemnościowo — CCNS (13 mm × 11 mm × 7 mm)



**Rycina 4.** Prototyp koszulki monitorującej zapis elektrokardiograficzny w czasie rzeczywistym

zminiaturyzowane czujniki EKG umieszczone w naszywkach lub opaskach elastycznych albo też wbudowane w przedmioty codziennego użytku, takie jak biżuteria czy bielizna osobista.

Inne możliwe zastosowania miniaturowych aparatów do EKG to:

- poznanie zmian zachodzących w przebiegu choroby;
- poznanie zmian zachodzących podczas farmakoterapii;
- monitorowanie zmian w przebiegu choroby;
- monitorowanie zmian rytmu serca i morfologii krzywej EKG spowodowanych farmakoterapią.

Praktyczne w użyciu tekstylne aparaty do rejestracji EKG mają szansę stać się w przyszłości niekłopotliwym narzędziem w rękach lekarzy, pozwalającym przezwyciężyć ograniczenia diagnostyki ambulatoryjnej i umożliwić monitorowanie pacjentów przez całe tygodnie, a nawet miesiące czy lata.

## Piśmiennictwo

1. Pawar T., Anantakrishnan N.S., Chaudhuri S., Duttagupta S.P. Impact of ambulation in wearable-ECG. *Ann. Biomed. Eng.* 2008; 36: 1547–1557 (Epub. 10.07.2008).
2. Di Rienzo M., Rizzo F., Meriggi P. i wsp. Applications of a textile-based wearable system for vital signs monitoring. *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2006; 1: 2223–2226.
3. Finlay D.D., Nugent C.D., Donnelly M.P., McCullagh P.J., Black N.D. Optimal electrocardiographic lead systems: practical scenarios in smart clothing and wearable health systems. *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 2008; 12: 433–441.
4. Borromeo S., Rodriguez-Sanchez C., Machado F., Hernandez-Tamames J.A., de la Prieta R. Reconfigurable, Wearable, Wireless ECG System Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. *EMBS 2007. 20<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE*, 22–26.08.2007; 1659–1662.
5. Lobodzinski S.M., Laks M.M. Biopotential fiber sensor. *J. Electrocardiol.* 2006; 39 (supl. 4): S41–S46.
6. Fensli R., Pedersen P.E., Gundersen T., Hejlesen O. Sensor acceptance model — measuring patient acceptance of wearable sensors. *Methods Inf. Med.* 2008; 47: 89–95.
7. Paradiso R., Loriga G., Taccini N. Wearable system for vital signs monitoring. *Stud. Health Technol. Inform.* 2004; 108: 253–259.
8. McAdams E.T., McLaughlin J., Anderson J.M. Wearable and implantable monitoring systems: 10 years experience at University of Ulster. *Stud. Health Technol. Inform.* 2004; 108: 203–208.
9. Prance R.J. An ultra-low-noise electrical-potential probe for human-body scanning. *Meas. Sci. Technol.* 2000; 11: 1–7.
10. Furusawa Y., Ueno A., Hoshino H., Kataoka S., Mitani H., Ishiyama Y. Development of a Wireless Capacitive Sensor for Ambulatory ECG Monitoring over Clothes. *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Volume, Issue, 22–26.08.2007*; 5727–5730.
11. Oehler M., Ling V., Melhorn K., Schilling M. A multichannel portable ECG system with capacitive sensors. *Physiol. Meas.* 2008; 29: 783–779.
12. Lee J.M., Pearce F., Morrisette C., Andrew D., Hibbs A.D., Matthews R. Evaluating a Capacitively Coupled, Noncontact Electrode for ECG Monitoring. *NATO Research and Technology Organization (Human Factors & Medicine Panel) meeting in cooperation with the Advanced Technology Applications for Combat Casualty Care Conference in St. Petersburg, FL, 16–18.08.2004.*