

# ELEKTRODY TEKSTYLNE DO ELEKTROSTYMULACJI MIĘŚNI – DONIESIENIE WSTĘPNE

## TEXTILE ELECTRODES FOR MUSCLES ELECTROSTIMULATION – PRELIMINARY REPORT

Tadeusz Nawarycz<sup>1\*</sup>, Michał Frydrysiak<sup>2</sup>, Janusz Zięba<sup>2</sup>, Lidia Ostrowska-Nawarycz<sup>1</sup>,  
Łukasz Tęšiorowski<sup>2</sup>, Krzysztof Gniotek<sup>2,3</sup>, Jan Błaszczuk<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Międzywydziałowa Katedra Fizjologii Doświadczalnej i Klinicznej, 92-215 Łódź, ul. Mazowiecka 6/8

<sup>2</sup> Politechnika Łódzka, Instytut Architektury Tekstyliów, 90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116

<sup>3</sup> Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Katedra Nauk Podstawowych, 90-647 Łódź, pl. Hallera 1

\* e-mail: tadeusz.nawarycz@umed.lodz.pl

### STRESZCZENIE

W pracy zaprezentowano elementy konstrukcji elektrod tekstylnych (TXT) przeznaczonych do elektrostymulacji mięśni, jak również wyniki wstępnych badań aplikacyjnych u osób zdrowych. Badaniami objęto 65 zdrowych ochotników (wiek:  $20,2 \pm 1,4$  lat), u których analizowano wrażenia subiektywne towarzyszące elektrostymulacji mięśni kończyn górnych i dolnych z użyciem testowanych elektrod TXT oraz standardowych elektrod żelowych (EERC200M, BioMedical Life System, USA). Do elektrostymulacji zastosowano przenośny elektrostymulator EMS D7 (BioMedical Life System, USA). Wszystkie badania wykonywane były pod nadzorem przeszkolonych osób, zaś skategoryzowane wrażenia subiektywne badane osoby określały za pomocą ankiety. Wyniki wykazały dobrą tolerancję testowanych elektrod TXT przez większość badanych ochotników.

**Słowa kluczowe:** elektrody tekstylne, elektrostymulacja mięśni, kończyny, testy

### ABSTRACT

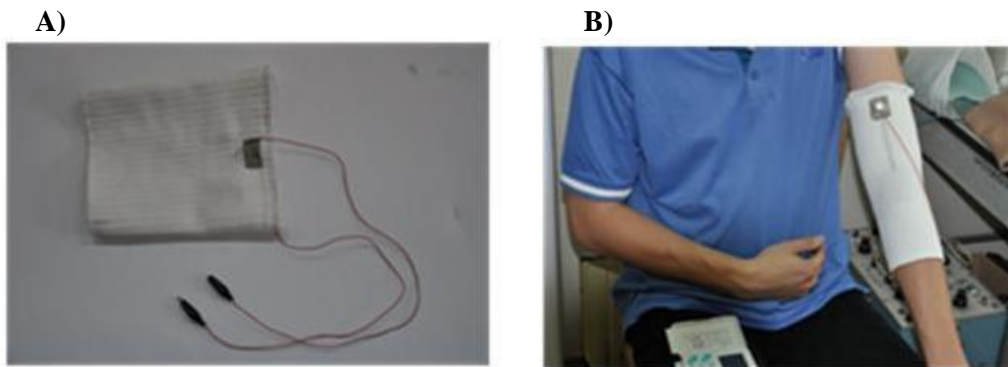
The textile electrodes (TXT) for the electrostimulation of muscles, as well as the preliminary results of application in healthy subjects, are presented in the paper. The study involved 65 healthy volunteers (age:  $20.2 \pm 1.4$  years). The subjective feeling associated with electrical stimulation of muscles of the upper and lower limbs, were examined. Textile TXT electrodes and standard gel electrodes (EERC200M, BioMedical Life System, USA), were tested. For electrostimulation a portable electrostimulator EMS D7 (BioMedical Life System, USA) was used. All tests were performed under the supervision of trained personnel and subjects described their subjective impressions by means of questionnaire. Results proved the generally good tolerability of the tested electrodes TXT by the majority of examined volunteers.

**Keywords:** textile electrodes, muscle electrostimulation, limbs, tests

## 1. Wstęp

Celem pracy było opracowanie tekstronicznego (funkcjonalny materiał elektroniczno-tekstylny) systemu do elektrostymulacji prądowej mięśni oraz przeprowadzenie wstępnych badań klinicznych [1]. System służy do wzmocnienia siły mięśniowej kończyn, np. w sytuacji wystąpienia przykurczów wynikających z ich unieruchomienia (złamania kończyny górnej, dolnej), oraz treningu siły mięśniowej [2]. Postęp w zakresie nowych elektrod tekstylnych stwarza nowe możliwości większego upowszechnienia elektrostymulacji, również w warunkach domowych [3].

Elektrody tekstylne (TXT) zostały wykonane z materiałów elektroprowadzących (na bazie tkanin, dzianin, włóknin bądź haftu) i zaimplementowane w elastycznych opaskach, dopasowanych do budowy anatomicznej kończyny (p. rys. 1) [4]. Mogą być one wytworzone metodą flokowania [5], w postaci matrycy elektroprowadzącej [6] lub w formie taśmy, którą można owijać obszar ciała podlegający stymulacji [7]. Elektrody TXT wykonane z materiałów elektroprowadzących powinny charakteryzować się równomiernym rozkładem rezystancji powierzchniowej [8]. Wszystkie typy elektrod były badane na fantomie hydrożelowym, odwzorowującym właściwości przewodzące skóry [9]. Konstrukcja elektrod, ich rozmieszczenie oraz warunki elektrostymulacji zostały wstępnie przetestowane w warunkach klinicznych na Uniwersytecie Medycznym w Łodzi. Przykładowe rozwiązania tekstronicznych systemów przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Dzianinowe opaski do elektrostymulacji mięśni: A) wygląd zewnętrzny opaski, B) pacjent z opaską tekstroniczną podczas procesu elektrostymulacji mięśni przedramienia

W pracy dokonano oceny walorów funkcjonalnych oraz wrażeń subiektywnych związanych z elektrostymulacją wybranych obszarów mięśniowych przy zastosowaniu prototypowych elektrod tekstronicznych (TXT).

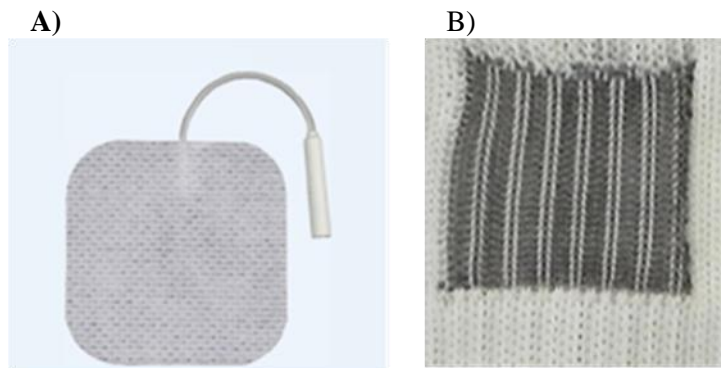
## 2. Metodyka badań

Badaniami objęto 65 zdrowych ochotników (35 kobiet K oraz 30 mężczyzn M) w wieku  $20,2 \pm 1,4$  lat (K:  $20,0 \pm 1,3$  lat; M:  $20,8 \pm 1,8$  lat). Na badania uzyskano zgodę Komisji Bioetyki Uniwersytetu Medycznego w Łodzi (Nr RNN/530/12/KB). Wszyscy badani ochotnicy zostali zapoznani z protokołem badania i wyrazili dobrowolną pisemną zgodę na ich przeprowadzenie. Protokół badania obejmował następujące główne etapy:

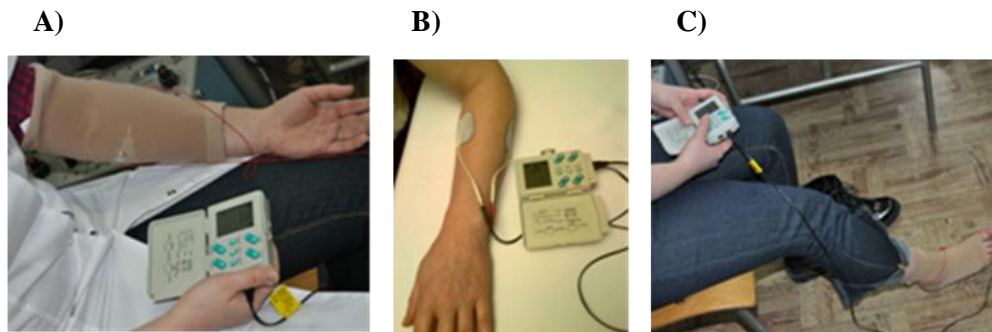
1. Zapoznanie z istotą testu elektrostymulacji z użyciem typowych samoprzylepnych elektrod żelowych oraz prototypowych elektrod tekstylnych (TXT).
2. Pomiar podstawowych parametrów antropometrycznych (wysokość i masa ciała oraz wskaźnik BMI).
3. Testowanie opasek/elektrod tekstylnych.

Elektrostymulację przeprowadzono z pomocą przenośnego elektrostymulatora EMS D7 (BioMedical Life System, USA) oraz dwóch typów elektrod: a) testowanych elektrod tekstylnych TXT i b) standardowych, samoprzylepnych elektrod żelowych EERC200M (p. rys. 2). Stosowano dwa typy/mody sygnałów prądowych: M1 – sygnał ciągły dwufazowy, symetryczny o częstotliwości  $f = 20$  Hz i długość impulsu  $100 \mu s$  oraz M2 – sygnał ciągły dwufazowy, symetryczny o częstotli-

wości  $f = 20 \text{ Hz}$  i długość impulsu  $300 \mu\text{s}$ . Sposób lokalizacji elektrod oraz przeprowadzania badań ilustruje rysunek 3.



Rys. 2. Wygląd elektrod stosowanych w procesie elektrostymulacji: A) samoprzylepna elektroda żelowa ERC200M (BioMedical Life System, USA) oraz B) prototypowa elektroda tekstylna TXT



Rys. 3. Przykłady rozmieszczenia elektrod: A) opaska z elektrodami TXT w obszarze przedramienia, B) elektrody żelowe EERC200M w obszarze przedramienia, C) opaska TXT w obszarze podudzia

### 3. Warunki badań i ocena wrażeń subiektywnych

Test przeprowadzono według następujących założeń: pozycja siedząca, czas elektrostymulacji ok. 2 min; dwa tryby stymulacji M1 oraz M2. Amplitudę sygnałów stymulujących zwiększano ręcznie (przez osobę nadzorującą badania) do pierwszych sygnalizowanych przez osobę badaną wyraźnych odczuć. Walory funkcjonalne opracowanych opasek tektonicznych oraz wrażenia subiektywne w warunkach testu elektrostymulacji oceniano przy użyciu 6 pytań ankietowych:

- P1: Czy miałeś wcześniej do czynienia z elektrostymulacją (TAK / NIE)?
- P2: Opisz swoje pierwsze wrażenie (wygląd ogólny) dotyczące tektonicznej konstrukcji.
- P3: Oceń wygodę i łatwość nakładania/zdejmowania opaski na kończynę.
- P4: Oceń wygodę (łatwość) podłączania przewodów do generatora.
- P5: Oceń stabilność połączeń elektrycznych (trwałość).
- P6: Oceń komfort użytkowy np. ucisk opaski, podrażnienie skóry, uczucie skurczu mięśni, mrowienie.

Indywidualną, subiektywną ocenę dotyczącą pytań P2–P6 wyrażano w skali 1–5, przy czym 1 stanowiło ocenę najniższą, zaś 5 – najwyższą.

### 4. Wyniki badań

Podstawową charakterystykę badanej grupy ochotników przedstawiono w tabeli 1, a wyniki oceny prądów progowych związanych z elektrostymulacją wybranych segmentów ciała (ramię, przedramię oraz podudzie) z użyciem 2 typów elektrod (EERC200M oraz TXT) przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Charakterystyka osób badanych  
(X, SD – odpowiednio wartość średnia oraz odchylenie standardowe)

	Mężczyźni		Kobiety		Łącznie	
	X	SD	X	SD	X	SD
<b>Liczebność [-]</b>	30	-	35	-	65	-
<b>Wiek [lata]</b>	20,4	1,5	20,2	1,4	20,3	1,5
<b>Wysokość ciała [cm]</b>	181,6	4,4	168,8	3,8	177,6	5,3
<b>Masa ciała [kg]</b>	75,4	7,3	57,7	6,0	69,9	9,8
<b>BMI [kg/m<sup>2</sup>]</b>	22,8	1,7	20,2	1,6	22,0	2,1

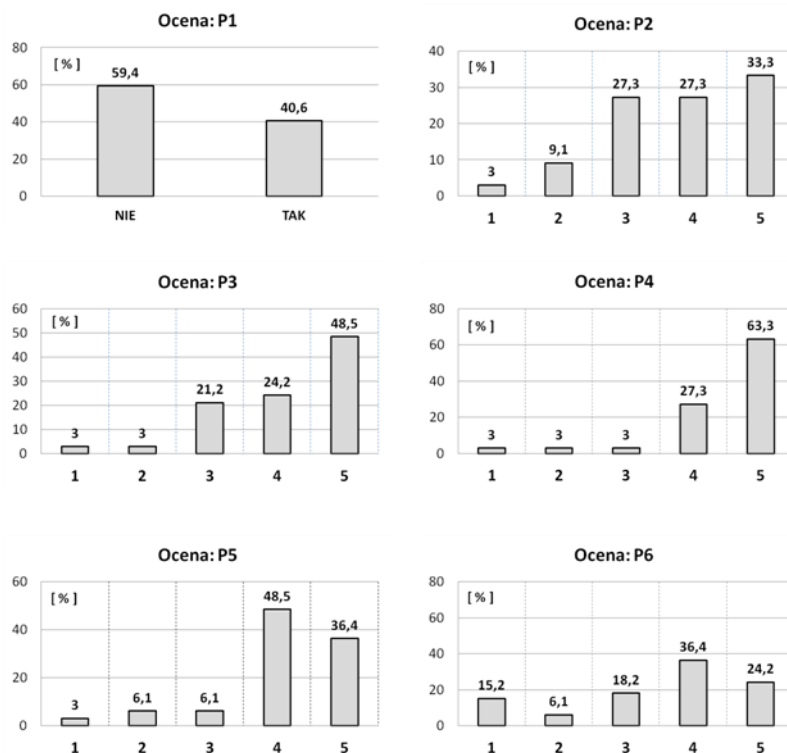
Progowe natężenia prądów stymulujących, w przypadku elektrod TXT przyjmowały generalnie wyższe wartości w porównaniu z podobnie zlokalizowanymi elektrodami żelowymi. W przypadku elektrostymulacji ramienia z użyciem trybu M1, średnie progowe natężenie prądu z użyciem elektrod TXT wynosiło  $2,73 \pm 1,74$  mA i było istotnie wyższe ( $p < 0,05$ ) w porównaniu z elektrostymulacją z użyciem elektrod żelowych ( $1,33 \pm 0,62$  mA). Podobne relacje obserwowano w przypadku elektrostymulacji obszaru mięśniowego podudzia ( $6,50 \pm 0,71$  mA vs  $5,50 \pm 0,71$  mA) (p. tab. 2). Podwyższone progi prądowe dla elektrod TXT występowały również w przypadku elektrostymulacji w trybie M2 (o większej szerokości impulsu = 300  $\mu$ s). Wartości progowe dla elektrod żelowych przyjmowały w tym przypadku wartości  $< 1$  mA.

Tabela 2. Charakterystyka prądów stymulacji

Lokalizacja elektrod	Typ elektrody	Mod prądu	Progowe natężenie prądu [mA]
Ramię (A)	TXT	M1	$2,73 \pm 1,74^*$
		M2	$1,46 \pm 0,52$
	EERC200M	M1	$1,33 \pm 0,62$
Przedramię (FA)	TXT	M1	$1,83 \pm 0,41$
		M2	$1,57 \pm 0,53$
	EERC200M	M1	$1,36 \pm 0,50$
Podudzie (CA)	TXT	M1	$6,50 \pm 0,71^*$
		M2	$2,00 \pm 1,41$
	EERC200M	M1	$5,50 \pm 0,71$

\*  $p < 0,05$  – różnice prądów progowych dla dwóch typów elektrod: TXT vs elektrody żelowe (tryb M1)

Sumaryczne wyniki badań ankietowych przedstawiono graficznie na rysunku 4.



Rys. 4. Wyniki badań ankietowych – ocena walorów funkcjonalnych i użytkowych opracowanych opasek tektonicznych

## 5. Omówienie wyników

Badaniami objęto łącznie 65 ochotników przy czym większość ( $n = 35$ ; 75,8%) stanowiły kobiety (p. tab. 1). Badana grupa charakteryzowała się dużą jednorodnością wieku ( $20,2 \pm 1,4$  lat) oraz ogólnie prawidłową masą ciała ( $BMI = 21,0 \pm 1,8 \text{ kg/m}^2$ ).

Analiza prądów progowych przy użyciu dwóch typów elektrod (EERC200M i TXT) wykazała niższą wrażliwość badanych ochotników (wyższe wartości prądowych progów) na elektrostymulację z użyciem elektrod TXT w porównaniu z elektrodami żelowymi EERC200M, niezależnie od ich lokalizacji. Jednocześnie, w przypadku obu typów elektrod obserwowano wyższą wrażliwość badanych na prądy o dłuższym czasie trwania impulsu (mod M2). Obserwowano istotny wpływ siły docisku elektrod TXT (dopasowanie opasek z elektrodami tekstylnymi) na wartości prądów progowych oraz na wrażenia subiektywne odczuwane przez badane osoby w procesie elektrostymulacji. W odniesieniu do elektrod TXT subiektywne wrażenia (szczególnie dla M2) oceniano jako mniej komfortowe (szczypanie, ukłucia itp.) w porównaniu z elektrodami samoprzylepnymi.

W zakresie badań ankietowych, znaczna większość badanych osób (84,8%) nie miała wcześniej żadnych doświadczeń z elektrostymulacją (p. rys. 4). Jednocześnie większość badanych ochotników wyraziła dobrą lub bardzo dobrą (61%) opinię na temat pierwszego wrażenia (wyglądu) elektrod TXT. Badane osoby bardzo dobrze (48,5%) lub dobrze (24,2%) oceniły wygodę oraz łatwość nakładania i zdejmowania elektrod tektonicznych. Najwyższe oceny tj. bardzo dobre i dobre (ok. 90%), dotyczyły opinii na temat łatwości podłączania przewodów, jak również ich stabilności (ok. 85%) (p. rys. 4). Badane osoby w większości pozytywnie oceniały (24% ocena 5 oraz 36,4% ocena 4) komfort użytkowy np. ucisk opaski, podrażnienie skóry, uczucie skurczu mięśni, mrowienie. Należy jednak podkreślić, że ponad 21% badanych na pytanie dotyczące komfortu użytkowego elektrod TXT wyrażało opinię zdecydowanie negatywną (15,1% ocena 1 oraz 6,1% ocena 2) (p. rys. 4).

Aktualne badania nie uwzględniają wpływu siły ucisku opaski (elektrody TXT) na ocenę prądów granicznych oraz na subiektywne odczucia w procesie elektrostymulacji. Dotychczasowe obserwacje wskazują, że jest to element bardzo istotny. Praktycznie należałoby indywidualnie dobrać opaskę

uciskową z elektrodami TXT bądź też stosować niezależne paskowe elektrody, których regulację siły docisku wykonuje sam pacjent. Na obecnym etapie nie przeprowadzono w pełnym zakresie badań elektrod TXT zlokalizowanych na udzie. Pojedyncze obserwacje w tym zakresie potwierdzają jednak ogólne wnioski uzyskane z badań innych obszarów ciała.

## 6. Podsumowanie

Pomimo dobrej bądź bardzo dobrej opinii na temat użytkowych i funkcjonalnych walorów testowanych elektrod tekstronicznych, występują też mankamenty, które dostrzegane były również w I części badania. Przede wszystkim należy zwrócić uwagę na połączenie elektroda TXT – przewód elektryczny. Aktualne rozwiązania połączenia „napowego” nie są wystarczająco trwałe oraz mogą być źródłem dodatkowych zaników w przepływie prądu.

Opaska z elektrodami tekstylnymi powinna ściśle przylegać do skóry w celu zapewnienia dobrego kontaktu, dlatego powinna być indywidualnie dobierana do pacjenta przez wykwalifikowany personel medyczny. Luźne opaski mogą być przyczyną nieprzyjemnych wrażeń subiektywnych związanych z nierównomiernym rozkładem gęstości prądów pod elektrodą bądź też przyczyną automatycznego wyłączenia elektrostymulatora. Dlatego dobrym rozwiązaniem może okazać się opaska w formie elastycznej elektrody „wstążkowej” owijanej wokół kończyny z odpowiednio dobranym naprężeniem. Można rozważyć również wpływ nawilżania elektrody TXT (bądź badanego obszaru) pastą/zelem elektroprzewodzącym.

Podsumowując, należy stwierdzić, że ogólnie pacjenci dobrze tolerują nowe konstrukcje tekstronicznych opasek z elektrodami tekstylnymi jednak konieczne są dalsze badania związane z doskonaleniem ich walorów użytkowych.

## PODZIĘKOWANIE

This work is (partially) supported by Structural Funds in the frame of the project titled “Textronic system to electrical stimulation of muscles” financed by Operational Programme Innovative Economy, 2007-2013, Sub-measure 1.1.2.

## LITERATURA

- [1] K. Gniotek, Z. Stempień, J. Zięba: *Tekstronika – nowy obszar wiedzy*, Przegląd Włókienniczy, 2003, nr 2, s. 17.
- [2] J. Zięba, M. Frydrysiak, M. Tokarska: *Research of Textile Electrodes for Electrotherapy*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, vol. 19, nr 5(88), 2011, s. 70–74.
- [3] J. Zięba, M. Frydrysiak, Ł. Tęśiorowski, M. Tokarska, K. Gniotek, Z. Stempień: *Innovative textile electrodes for muscles electrostimulation*, Proceedings of 6th, IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications Me-MeA, Bari, Italy, May 30–31, 2011.
- [4] R. Pawlak, E. Korzeniewska, M. Frydrysiak, J. Zięba, K. Gniotek, Z. Stempień, M. Tokarska: *Using Vacuum Deposition Technology for the Manufacturing of Electro-Conductive Layers on the Surface of Textiles*, Fibres & Textiles in Eastern Europe, vol. 20, nr 2(91), 2012, s. 68–72.
- [5] J. Zięba, Frydrysiak, Ł. Tęśiorowski: Patent Polska, *Elektroda flokowana do elektrostymulacji mięśni*, 2014.
- [6] J. Zięba, M. Frydrysiak, M. Tokarska: *Textronic matrix of electrode system to electrostimulation*, 7th IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications MeMeA, 2012, s. 149–153.
- [7] M. Frydrysiak, J. Zięba, Ł. Tęśiorowski, T. Nawarycz: *Wieloelektrodowy pas tekstroniczny – potencjalne możliwości aplikacji medycznych*, Przegląd elektrotechniczny (Electrical Review), vol. 88, nr 11a, 2012, s. 340–342.
- [8] Ł. Tęśiorowski, J. Zięba, M. Frydrysiak: *Układ mikroprocesorowy do oceny rezystancji powierzchniowej elektrod tekstylnych służących do elektrostymulacji mięśni*, Przegląd elektrotechniczny (Electrical Review), vol. 88, nr 2, 2012, s. 191–193.
- [9] K. Gniotek, J. Zięba, M. Frydrysiak, J. Leśniowski, M. Tokarska, E. Rybicki, M. Kozicki, H. Kapusta: *Fantom do testowania elektrod tekstylnych do elektrostymulacji prądowej mięśni*, Patent PL nr 214977, 2013.

otrzymano / submitted: 24.04.2014

wersja poprawiona / revised version: 18.08.2014

zaakceptowano / accepted: 27.09.2014