

## Badania nietypowych potencjałów jednostki ruchowej

### Study on atypical motor unit potentials

EWA ZALEWSKA<sup>E, F</sup>

Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej im. Macieja Nałęcz Polskiej Akademii Nauk

**A** – przygotowanie projektu badania, **B** – zbieranie danych, **C** – analiza statystyczna, **D** – interpretacja danych, **E** – przygotowanie maszynopisu, **F** – opracowanie piśmiennictwa, **G** – pozyskanie funduszy

**Streszczenie** Artykuł jest podsumowaniem prac nad zagadnieniem nietypowych potencjałów jednostki ruchowej, które według standardowych kryteriów są eliminowane z oceny. Elektromiografia jest elektrofizjologiczną metodą diagnostyczną umożliwiającą stwierdzenie zmian chorobowych w mięśni, a także rozpoznanie typu uszkodzenia pierwotnie mięśniowego lub neurogennego. Opracowane zostały normy oraz ustalone zakresy zmian parametrów potencjałów w miopatycznych i neurogennych procesach chorobowych. Trudności sprawiają potencjały nietypowe, rejestrowane zarówno w procesach miopatycznych, jak i neurogennych, których parametry nie mieszczą się w zakresach ustalonych dla powyższej klasyfikacji. Potencjały nietypowe mają nieregularne kształty i sprawiają trudności w ocenie automatycznej. Najciekawszą grupę, a zarazem najtrudniejszą do interpretacji, stanowią potencjały o złożonych kształtach, jak np. długie polifazowe potencjały rejestrowane w miopatiach lub nieregularne potencjały o dużej amplitudzie rejestrowane w dystrofii Emery’ego-Dreifussa. Szczególnym rodzajem potencjałów jednostki ruchowej są potencjały z komponentami satelitarnymi. Wyniki badań wykazały, że potencjały takie mogą mieć znaczenie diagnostyczne i ocena ich nieregularności może być wskaźnikiem intensywności procesu niezależnie od jego patogenezy. Modelowanie potencjałów jednostki ruchowej posłużyło do wyjaśnienia genezy nieregularnych potencjałów jednostki ruchowej, zrozumienia i wyjaśnienia szeregu obserwacji w badaniach klinicznych, które nie znajdowały wyjaśnienia na gruncie badań klinicznych czy nawet eksperymentalnych. Umożliwiły one określenie morfologicznych zależności warunkujących powstawanie potencjałów o nieregularnym kształcie. Modelowanie odwrotne, czyli aproksymacja struktury jednostki ruchowej na podstawie analizy jej potencjału, może poszerzyć zakres diagnostycznej użyteczności elektromiografii, wiążąc interpretację czynności jednostki ruchowej z jej morfologią.

**Słowa kluczowe:** elektromiografia, modelowanie, potencjał jednostki ruchowej.

**Summary** The article is a summary of the study on the issue of atypical motor unit potentials, which according to standard criteria are usually eliminated from the analysis. They have, in fact, irregular shapes and make the difficulty in an automatic analysis. Atypical potentials are recorded in both myopathic and neurogenic processes and are usually eliminated from the automatic analysis as outliers. The most interesting group of atypical motor unit potentials, and also the hardest to interpret, represent potentials with complex shapes, such as long polyphasic potentials recorded in myopathies or irregular potentials with high amplitude recorded in Emery-Dreifuss dystrophy. Motor unit potentials with satellite components are a specific type of atypical potentials. Results of the study reveal possible diagnostic yield of atypical potentials. Such potentials may be of diagnostic importance and evaluation of their irregularities may be an indicator of the intensity of the pathological process. Modelling of motor unit potentials was used to explain the origin of irregular motor unit potentials, understanding and explanation of a series of clinical observations that were not to explain on the basis of clinical, or even experimental trials. Modelling enabled the determination of morphological conditions necessary to formation of potential of irregular shape. Inverse modelling, which is the approximation of the structure of the motor unit on the basis of an analysis of its potential can extend the scope of the diagnostic utility of electromyography, motor unit activities interpretation of its morphology.

**Key words:** electromyography, modelling, motor unit potential.

Fam Med Prim Care Rev 2015; 17(4): 352–355

*Pamięci Pani Profesor Ireny Hausmanowej-Petrusewicz*

Pani Profesor zawdzięczam zainteresowanie niniejszym tematem i zaszczyt wieloletniej współpracy dla jego realizacji.

### Wstęp

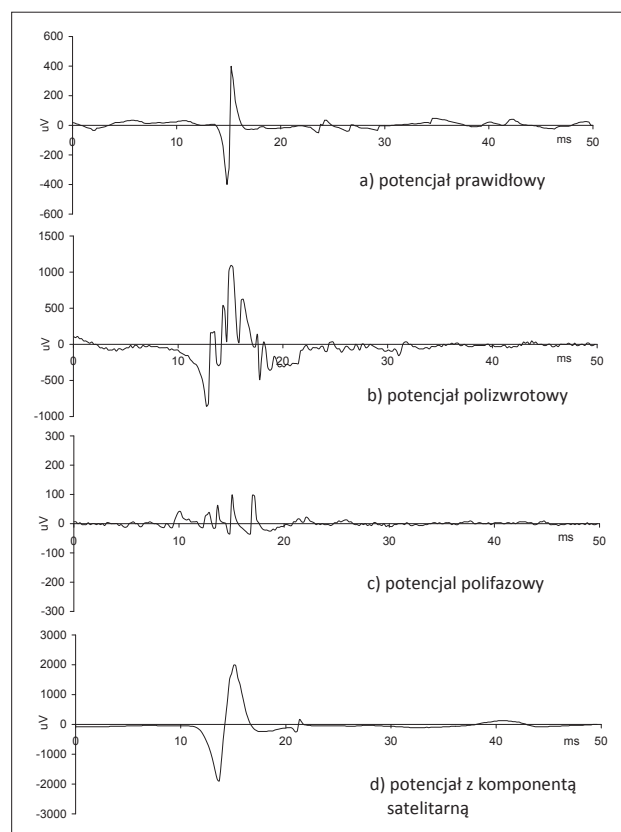
Elektromiografia jest elektrofizjologiczną metodą diagnostyczną umożliwiającą stwierdzenie zmian chorobowych w mięśni, a także rozpoznanie typu uszkodzenia pierwotnie mięśniowego lub neurogennego. Na podstawie oceny zmian potencjałów mięśniowych w kolejnych badaniach można również wnioskować o charakterze i intensywności procesu patologicznego.

Zależnie od sposobu rejestracji, stosowanej elektrody uzyskuje się zapis interferencyjny czynności wielu jednostek ruchowych, potencjały pojedynczych jednostek ruchowych lub potencjały pojedynczych włókien mięśniowych. Pomiary te dostarczają komplementarnych informacji. Prawidłowy potencjał jednostki ruchowej rejestrowany elektrodą koncentryczną jest potencjałem trzyfazowym (ryc. 1a). Procesy chorobowe powodujące uszkodzenie jednostki ruchowej na jakimkolwiek poziomie – motoneuronu, aksonu lub włókien mięśniowych – prowadzą do zmian jej struktury i/lub funkcji, które wyrażają się zmianami potencjałów czynnościowych [1, 2]. W rzeczywistości rejestrowane są potencjały o kształtach znacznie bardziej złożonych niż potencjał trzyfazowy, m.in. potencjały polifazowe, ma-



jące więcej niż 4 fazy, i polizwrotowe, mające więcej niż 5 zwrotów (por. ryc. 1 b–d) [3, 4].

Wykorzystanie badań elektromiograficznych w diagnostyce stało się możliwe dzięki stwierdzeniu zależności parametrów potencjału jednostki ruchowej od rodzaju oraz poziomu jej uszkodzenia. Pierwsze zależności zostały określone przez Buchthala [1, 2] i były następnie precyzowane i rozwijane. Zmieniały się metody oceny, od pomiaru czasu trwania i amplitudy potencjału, do obliczania współczynników, takich jak: pole, iloraz pola i amplitudy (pole/ampl, „thickness”), czy współczynnik wielkości potencjału:  $\text{Size Index SI} = 2 \log(\text{Ampl}^*) + \text{Pole}^*/\text{Ampl}^*$  [4]. Niezmienne pozostały natomiast zasady klasyfikacji, którym te oceny służą, a więc różnicowanie potencjału mięśnia zmienionego chorobowo od mięśnia zdrowego oraz różnicowanie procesu pierwotnie mięśniowego od procesu neurogenego.



Rycina 1. Potencjały jednostki ruchowej

Opracowane zostały normy oraz ustalone zakresy zmian parametrów potencjałów w miopatycznych i neurogenych procesach chorobowych [5]. Na taką klasyfikację pozwalają wyraźnie przeciwstawne zmiany parametrów potencjałów jednostki ruchowej w tych procesach. Potencjały jednostki ruchowej w chorobach neurogenych mają większą średnią amplitudę i dłuższy czas trwania niż potencjały w zdrowym mięśniu, natomiast parametry te dla potencjałów w procesie miogennym mają wartości mniejsze niż w mięśniu zdrowym. Była to jedna z pierwszych obserwacji w ocenie potencjałów mięśniowych, która ukierunkowała rozwój badań na doskonalenie metod różnicowania potencjałów w procesach miopatycznych i neurogenych. Cechą różnicującą potencjały w procesach neurogenych i miopatycznych jest wielkość potencjału, natomiast zmiany kształtu potencjału, a więc zwiększona liczba faz i zwrotów, nie są charakterystyczne dla żadnego z tych procesów.

Trudności diagnostyczne sprawiają potencjały nietypowe, rejestrowane zarówno w procesach miopatycznych, jak

i neurogenych, których parametry nie mieszczą się w zakresach ustalonych dla powyższej klasyfikacji. Nie mogą być zatem analizowane w sposób zautomatyzowany. Dlatego też w praktyce potencjały te są często pomijane i nie są brane pod uwagę w procesie diagnostycznym. Taki schemat postępowania narzucony jest w dużej mierze przez aparaturę diagnostyczną, której oprogramowanie opracowane jest dla analizy potencjałów „typowych” i ich oceny według standardowych kryteriów. Potencjały nietypowe traktowane są często jako potencjały nienadające się do oceny, tzw. outliers [6].

Najciekawszą grupę, a zarazem najtrudniejszą do interpretacji, stanowią potencjały o złożonych kształtach, jak np. długie polifazowe potencjały rejestrowane w miopatiach lub nieregularne potencjały o dużej amplitudzie rejestrowane w dystrofii Emery’ego-Dreifussa. Szczególnym rodzajem potencjałów jednostki ruchowej są potencjały satelitarne [7]. Zgodnie z definicją, są to takie potencjały, w których występują komponenty satelitarne, opóźnione w stosunku do komponenty głównej i oddzielone od niej linią bazy o czasie trwania 2–50 ms. Potencjały nietypowe stanowią jednak istotne źródło informacji o zmianach chorobowych w mięśniu.

## Nasze badania nietypowych potencjałów jednostki ruchowej

Profesor Irena Hausmanowa-Petrusewicz zwróciła uwagę na nietypowe potencjały jednostki ruchowej i przewidywała, że zawierają one istotne diagnostyczne informacje o procesach chorobowych w mięśniu. Podjęła badania nad wyjaśnieniem ich genezy i znaczenia diagnostycznego oraz metodami oceny. Miałam zaszczyt współpracować z Panią Profesor i Panią Profesor Katarzyną Rowińską-Marcińską nad kilkoma zagadnieniami istotnymi poznawczo i diagnostycznie.

Pierwszym zagadnieniem, które należało rozwiązać, było znalezienie miary, która stanowiłaby ilościową ocenę złożoności kształtu potencjału. Zaproponowany przez nas współczynnik nieregularności (*IR*) [8] umożliwia porównywanie nieregularności potencjałów niezależnie od ich amplitudy, dzięki czemu może być stosowany do porównywania kształtów potencjałów niezależnie od ich wielkości. Wprowadzenie współczynnika *IR* dla oceny nieregularności potencjału stanowiło uzupełnienie metod ilościowych, którymi dysponowała elektromiografia. Dlatego też zaproponowany sposób oceny złożoności potencjału znalazł miejsce w opisie metod ilościowych w opracowaniach podręcznikowych [9, 10].

Na podstawie badań klinicznych z zastosowaniem współczynnika nieregularności, przedstawianych w kolejnych publikacjach, zostało wskazane znaczenie, jakie może mieć w procesie diagnostycznym ocena nietypowych potencjałów jednostki ruchowej. Analiza nieregularności potencjału z wykorzystaniem współczynnika *IR* okazała się przydatna w ocenie intensywności procesu patologicznego niezależnie od jego patogenezy, co stanowiło nowy aspekt oceny potencjałów jednostki ruchowej [11]. Ocena kształtu potencjału zwiększa również efektywność różnicowania procesów miopatycznych i neurogenych [12–15]. Po dokonaniu analizy rzeczywistych potencjałów nietypowych w badaniach klinicznych kolejnym krokiem nad tym zagadnieniem było wyjaśnienie genezy tych potencjałów z zastosowaniem symulacji komputerowej [16–18].

Modelowanie potencjałów jednostki ruchowej posłużyło do zrozumienia i wyjaśnienia szeregu obserwacji w klinicznych badaniach potencjałów jednostki ruchowej, które nie znajdowały wyjaśnienia na gruncie badań klinicznych czy nawet eksperymentalnych. Umożliwiły one między innymi wyjaśnienie mechanizmów tworzenia nieregularnych potencjałów jednostki ruchowej i określenie morfo-

logicznych zależności warunkujących powstawanie potencjałów o nieregularnym kształcie, również osobliwych potencjałów, np. potencjałów o dużej amplitudzie i polu powierzchni rejestrowanych w dystrofii Emery'ego-Dreifussa [19], oraz potencjałów z komponentami satelitarnymi [20, 21]. Analiza symulacyjna umożliwiła ustalenie roli poszczególnych czynników charakteryzujących strukturę jednostki, takich jak liczba włókien mięśniowych i ich średnice, w kształtowaniu nieregularności potencjału [22, 23].

Zrozumienie zbadanych zależności między morfologią i czynnością bioelektryczną jednostki ruchowej nasunęło pomysł zastosowania symulacji odwrotnych, a mianowicie modelowanie struktury jednostki ruchowej na podstawie analizy jej potencjału [24]. W pracach z wykorzystaniem metody aproksymacji dotyczących analizy potencjałów w różnych chorobach nerwowo-mięśniowych wyniki były weryfikowane przez porównanie z danymi morfologicznymi uzyskanymi w biopsji. Wykorzystanie tej metody może poszerzyć zakres diagnostycznej użyteczności elektromiografii, wiążąc interpretację czynności jednostki ruchowej z jej strukturą.

Nowym aspektem oceny morfologii na podstawie czynności bioelektrycznej mięśnia, nad którym rozpoczęliśmy prace 2 lata temu, jest możliwość oceny średnicy włókna mięśniowego na podstawie analizy potencjału pojedynczego włókna. Metoda analizy prowadząca do takiej oceny została zaproponowana w pracy [25], a następnie pracowałyśmy nad wykorzystaniem tej metody do weryfikacji potencjałów pojedynczych włókien i detekcji komponent pochodzących od innych włókien.

Źródło finansowania: Praca sfinansowana ze środków statutowych.

Konflikt interesów: Autorka nie zgłasza konfliktu interesów.

## Piśmiennictwo

- Buchthal F, Pinelli P. Analysis of muscle action potentials as a diagnostic aid in neuromuscular disorders. *Acta Med Scand* 1952; 266(Suppl. 142): 315–327.
- Buchthal F, Guld Ch, Rosenfalck P. Action potential parameters in normal human muscle and their dependence on physical variables. *Acta Physiol Scand* 1954; 32: 200–218.
- Rowińska-Marcińska K. *Analiza czynnościowych potencjałów złożonych jednostki ruchowej*. Praca habilitacyjna. Warszawa: Akademia Medyczna; 1992.
- Stålberg E, Andreassen S, Falck B, et al. Quantitative analysis of individual motor unit potentials: a proposition for standardized terminology and criteria for measurement. *J Clin Neurophysiol* 1986; 3(4): 313–348.
- Stålberg E, Nandedkar S, Sanders D, et al. Quantitative motor unit potential analysis. *J Clinical Neurophysiol* 1996; 5: 401–422.
- Stålberg EV, Bischoff C, Falck B. Outliers: a way to detect abnormality in quantitative EMG. *Muscle Nerve* 1994; 17: 392–399.
- Lang AH, Partanen USJ. "Satellite potentials" and the duration of motor unit potentials in normal, neuropathic and myopathic muscles. *J Neurol Sci* 1976; 27: 513–524.
- Zalewska E, Hausmanowa-Petrusewicz I. Evaluation of MUAP shape irregularity – a new concept of quantification. *IEEE Trans Biomed Eng* 1995; 42(6): 616–620.
- Brown WF, Bolton CF, Aminoff MJ, eds. *Neuromuscular function and disease*. Philadelphia: W.B Saunders Company; 2002.
- Stålberg E, ed. *Clinical neurophysiology of disorders of muscle and neuromuscular junction, including fatigue*. Amsterdam: Elsevier Science; 2003.
- Zalewska E, Rowińska-Marcińska K, Hausmanowa-Petrusewicz I. Shape irregularity of motor unit potentials in some neuromuscular disorders. *Muscle Nerve* 1998; 21: 1181–1187.
- Zalewska E, Hausmanowa-Petrusewicz I. Global and detailed features of motor unit potentials. *J Med Eng Phys* 1999; 21: 421–429.
- Zalewska E, Hausmanowa-Petrusewicz I. Effectiveness of motor unit potentials classification using various parameters and indexes. *Clin Neurophysiol* 2000; 111: 1380–1387.
- Zalewska E, Hausmanowa-Petrusewicz I. The SIIR index – a non-linear combination of waveform size and irregularity parameters for classification of motor unit potentials. *Clin Neurophysiol* 2005; 116(4): 957–964.
- Podnar S, Zalewska E, Hausmanowa-Petrusewicz I. Evaluation of complexity of motor unit potentials in anal sphincter electromyography. *Clin Neurophysiol* 2005; 115(3): 543–556.
- Nandedkar SD, Stålberg EV. Simulation of single muscle fibre action potentials. *Med Biol Eng Comput* 1983; 21: 158–165.
- Nandedkar SD, Sanders DB, Stålberg EV, et al. Simulation of concentric needle EMG motor unit action potentials. *Muscle Nerve* 1988; 2: 151–159.
- Nandedkar SD. Models and simulations in electromyography. *Muscle Nerve* 2002; Suppl 11: S46–S54.
- Rowińska-Marcińska K, Szmidt-Sałkowska E, Fidziańska A, et al. Atypical motor unit potentials in Emery-Dreifuss muscular dystrophy (EDMD). *Clin Neurophysiol* 2005; 116(11): 520–527.
- Zalewska E, Rowińska-Marcińska K, Gawel M, et al. Simulation studies on motor unit potentials with satellite components in Amyotrophic Lateral Sclerosis and Spinal Muscle Atrophy. *Muscle Nerve* 2012; 45: 514–521.

## Podsumowanie

Badania nietypowych potencjałów jednostki ruchowej umożliwiły pogłębienie wiedzy dotyczącej ich genezy oraz pozwoliły ustalić zależności między charakterystyką morfologiczną jednostki ruchowej a parametrami rejestrowanego potencjału. Wiedza ta pozwala na poszerzenie interpretacji patogenezy zmian w badanym mięśniu, które manifestują się zmianami wielkości i kształtu potencjału. W szczególności możliwe było wyjaśnienie powstawania potencjałów nietypowych rejestrowanych w niektórych chorobach nerwowo-mięśniowych.

Wyniki badań wskazały znaczenie diagnostyczne nietypowych potencjałów. Nieregularność potencjałów jednostki ruchowej może być wskaźnikiem intensywności procesu chorobowego w mięśniu. Określone zostały różnice nieregularności potencjałów w procesach przewlekłych i szybko postępujących niezależnie od ich patogenezy (miopatycznej lub neurogennej). Ponadto, w procesach miopatycznych istnieje zależność między nieregularnością potencjałów a ich wielkością, która nie występuje w procesach neurogennych.

Okazało się również, że połączenie oceny wielkości i nieregularności potencjału pozwala na włączenie do procedur diagnostycznych potencjałów nietypowych, których parametry nie mieszczą się w przyjętym standardowo zakresie zmian dla określonych typów patologii. Sugeruje to możliwość odejścia od kanonu różnicowania procesów miopatycznych i neurogennych na rzecz ogólniejszej charakterystyki zmian funkcjonalnych i strukturalnych, które można aproksymować na podstawie analizy potencjału.

21. Zalewska E, Szmidt-Salkowska E, Rowinska-Marcinska K, et al. Motor unit potentials with satellites in dystrophinopathies. *J Electromyogr Kinesiol* 2013; 23(3): 580–586.
22. Zalewska E, Hausmanowa-Petrusewicz I, Stålberg E. Modeling studies on irregular motor unit potentials. *Clin Neurophysiol* 2004; 115(3): 543–556.
23. Zalewska E. *Analiza i modelowanie nietypowych potencjałów jednostki ruchowej oraz ich znaczenie w diagnostyce chorób nerwowo-mięśniowych*. Rozprawa habilitacyjna. Warszawa: IBIB PAN; 2006.
24. Zalewska E, Hausmanowa-Petrusewicz I. Approximation of motor unit structure from the analysis of motor unit potential. *Clin Neurophysiol* 2008; 119(11): 2501–2506.
25. Zalewska E, Nandedkar S D, Hausmanowa-Petrusewicz I. A method for determination of muscle fiber diameter using single fiber potential (SFP) analysis. *Med Biol Eng Comp* 2012; 50(12): 1309–1314.

Adres do korespondencji:

Dr hab. inż. Ewa Zalewska, prof. nadzw.  
Instytut Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN  
ul. Księcia Trojdena 4  
02-109 Warszawa  
Tel.: 22 659-91-43 w. 407  
E-mail: ewa.zalewska@ibib.waw.pl

Praca wpłynęła do Redakcji: 05.10.2015 r.

Po recenzji: 08.10.2015 r.

Zaakceptowano do druku: 11.10.2015 r.