

Współczesne osiągnięcia i kierunki rozwoju badań elektromiograficzno-neurograficznych

Maria Niewiadomska

Zakład Neurofizjologii Klinicznej Instytutu Psychiatrii i Neurologii w Warszawie

STRESZCZENIE

W pracy omówiono dotychczasowe osiągnięcia elektromiografii i elektroneurografii oraz podano prawdopodobne kierunki ich rozwoju. Metody te są powszechnie stosowane w diagnostyce chorób nerwowo-mięśniowych. Elektromiografia służy ocenie stabilności elektrycznej błony włókien mięśniowych, stanu czynnościowego i liczby jednostek ruchowych oraz ich reorganizacji w różnych stanach patologicznych. Badanie elektroneurograficzne natomiast jest metodą oceny pobudliwości włókien nerwowych, ich szybkości przewodzenia oraz liczby czynnych aksonów, co jest szczególnie ważne w ocenie uszkodzenia neurogennego.

Polski Przegląd Neurologiczny 2010; 6 (1): 46–49

Słowa kluczowe: elektromiografia, elektroneurografia, możliwości badawcze, postęp

Wprowadzenie

Elektromiografia (EMG, *electromyography*) i elektroneurografia (ENG, *electroneurography*) są metodami powszechnie stosowanymi w diagnostyce chorób nerwowo-mięśniowych. Badania te dostarczają informacji na temat stanu czynnościowego mięśni i nerwów.

Adres do korespondencji: dr hab. n. med. Maria Niewiadomska
Instytut Psychiatrii i Neurologii
Zakład Neurofizjologii Klinicznej
ul. Sobieskiego 9, 02-957 Warszawa
tel.: 22 45 82 713, faks: 22 45 82 817
e-mail: niewiad@ipin.edu.pl
Polski Przegląd Neurologiczny 2010, tom 6, 1, 46–49
Wydawca: „Via Medica sp. z o.o.” sp.k.
Copyright © 2010 Via Medica

Badanie elektromiograficzne

Elektromiografia służy do badania czynności elektrycznej mięśnia. Jest stosowana do oceny stabilności elektrycznej błony włókien mięśniowych, charakteryzuje liczbę i stan zachowanych jednostek ruchowych (JR) oraz ich reorganizację w stanach patologicznych. Służy przede wszystkim do odróżnienia uszkodzenia neuronu obwodowego od uszkodzenia pierwotnie mięśniowego. W przypadku uszkodzenia neurogennego ocenia się stan reinnerwacji i odnerwienia (częściowe, całkowite). Badanie EMG składa się z: zapisu spoczynkowego, zapisu wysiłkowego podczas maksymalnego skurczu mięśnia oraz analizy ilościowej parametrów pojedynczych JR przy słabym skurczu mięśnia. Jednostka ruchowa jest podstawową jednostką strukturalną i czynnościową mięśnia szkieletowego [1]. Pojęcie „jednostki ruchowej” wprowadzili w 1925 roku Lidell i Sherington [2].

Początki EMG przypadają na koniec XVIII wieku. Jednak rozwój tej metody w diagnostyce neurologicznej datuje się dopiero od 1929 roku, czyli od czasu wprowadzenia do badania przez Adriana i Bronka igłowej elektrody koncentrycznej, pozwalającej na rejestrację potencjałów czynnościowych pojedynczych jednostek ruchowych (PCJR). W latach 40. XX wieku Denny-Brown i Pennybacker opisali cechy elektrofizjologiczne fasykulacji, a w latach 50. Denny-Brown opisał technikę badania i określił cechy charakterystyczne elektromiogramu prawidłowego oraz patologicznego [2–5]. Od tej pory EMG zaczęło odgrywać istotną rolę w diagnostyce neurologicznej. Pionierskim pracom Buchthala i jego współpracowników z oś-

rodka w Kopenhadze zawdzięczamy rzeczywiste powstanie elektromiografii klinicznej. Wprowadzili oni ilościową ocenę parametrów PCJR, polegającą na ocenie średnich wartości z 20 różnych PCJR, z których każdy powinien się powtórzyć w niezmiennym kształcie przynajmniej 4-krotnie w zapisie. Wyróżniono podstawowe parametry PCJR: czas trwania, amplitudę i odsetek w zapisie potencjałów wielofazowych. Czas trwania okazał się najbardziej użytecznym parametrem w ocenie patologii. Opracowano wartości referencyjne parametrów odnoszących się do najczęściej badanych mięśni i stworzono elektromiograficzne podstawy różnicowania procesu miogennego od neurogennego. Zapis wysiłkowy EMG oceniano tą metodą przede wszystkim na podstawie jego gęstości globalnej i wielkości amplitudy. Chociaż metoda Buchthala była pracochłonna, pomiarów dokonywano ręcznie z taśmy światłoczułej, a wybór potencjałów ocenianych jako PCJR był subiektywny, to jednak sprawdziła się w diagnostyce neurologicznej i opracowaniach naukowych, stanowiąc podstawę współczesnej elektromiografii. Opracowane wówczas normy parametrów PCJR są do dziś stosowane w ocenie badań elektrofizjologicznych [3, 6, 7].

Zastosowanie programów komputerowych umożliwiło ilościową analizę parametrów PCJR i lepsze wystandaryzowanie pomiarów. Wprowadzono automatyczne techniki do rozpoznawania i pomiaru PCJR, co nie tylko oszczędzało czas, ale przede wszystkim zapewniało lepszy standard badań i większy obiektywizm pomiarów. Dużym ułatwieniem była możliwość wykonywania badań *on-line* (w czasie rzeczywistym) i obserwowanie wyników na ekranie. Możliwe stało się szybkie porównywanie wyników, a magazynowanie danych w pamięci komputera pozwoliło na ich późniejsze wykorzystanie oraz szybkie sporządzenie raportu z badania [3, 6, 8]. Obecnie stosuje się dwie półautomatyczne metody ilościowe: analizę multi-MUP opracowaną przez Stålberga i wsp. [9] oraz metodę wprowadzoną przez Nandedkara i wsp. [6] nazywaną w skrócie MMA. Są one oparte na metodzie dekompozycji i dopasowania wzorca, na podstawie którego identyfikuje się wyładowania indywidualnych PCJR (*a template matching algorithm*) oraz procedury uśredniania [6, 7]. Metody automatyczne pozwalają na pomiar nie tylko konwencjonalnych parametrów PCJR, ale również, na przykład, na pomiar powierzchni czy zmienność PCJR w kolejnych wyładowaniach (*jiggle*), a także wielu innych [6–8].

Metody oceny automatycznej umożliwiły wprowadzenie pomiaru wskaźnika grubości (powierzchnia/amplituda) i wskaźnika wielkości PCJR (2 log amplitudy + powierzchnia/amplituda). Wskaźniki te minimalizują wpływ czynników technicznych (niestabilność linii podstawy, zmienność pozycji elektrody) na wykonywane pomiary [7, 10].

Opracowano wiele metod automatycznej analizy zapisu wysiłkowego — w wielu nowoczesnych aparatach elektromiograficznych dostępna jest metoda Stålberga i wsp. [6, 7]. Ocenę zapisów oparto na analizie zwrotów i średniej amplitudy, z wyznaczeniem wykresu pola normy (tzw. chmurka).

W Polsce, w warszawskiej Klinice Neurologicznej, od ponad 30 lat są prowadzone prace nad automatyzacją ilościowej analizy PCJR. Prace nad tą metodą zapoczątkowali Hausmanowa-Petrusewicz i Kopeć [8], a opracowanie kontynuował Kopeć, ostatnio we współpracy z Emeryk-Szajewską. Badania wymienionych wyżej naukowców doprowadziły do stworzenia oryginalnej metody, nazwanej *functional-QEMG*, przeznaczonej do rutynowych badań EMG [6, 11]. Automatyzacja znalazła zastosowanie nie tylko w EMG, ale i ENG oraz w badaniu transmisji nerwowo-mięśniowej.

Badanie elektroneurograficzne

Stymulacja nerwów obwodowych jest najistotniejszym uzupełnieniem EMG. Stosuje się ją do oceny pobudliwości i szybkości przewodzenia czuciowych i ruchowych włókien nerwowych. Na podstawie parametrów potencjałów wywołanych w mięśniu (CMAP, *compound muscle action potential*) przy stymulacji włókien ruchowych oraz potencjałów czuciowych (SNAP, *sensory nerve action potential*) wywołanych w pniu nerwu przy stymulacji włókien czuciowych można ocenić ubytek czynnych włókien nerwowych lub większe niż zakłada norma zróżnicowanie ich szybkości przewodzenia. Na tej podstawie możliwe jest odróżnienie uszkodzenia aksonalnego (zwyrodnienie aksonów) od demielinizacyjnego (demyelinizacja odcinkowa), wykrycie bloku przewodzenia oraz jego lokalizacji. Badanie ENG pozwala różnicować rodzaj uszkodzenia (włókna ruchowe, czuciowe) i lokalizować zmianę (dystalne, proksymalne, ucisk nerwu).

Rozwój tej metody datuje się od 1860 roku — od czasu prac Baxta (Petersburg) i Helmholtza (Berlin). Początkowo rejestrowano reakcję mechaniczną mięśnia. Już w latach 20. XX wieku uzyskano odpowiedź elektryczną mięśnia na stymulację włókien ruchowych nerwu obwodowego (Piper, Hoffman). Otrzymane z zastosowaniem elektrod powierzchniowych wartości szybkości przewodzenia wynosiły 87–117 m/s. Wartości naj-

bliższe przyjętym obecnie normom uzyskał Münick (1916), określając szybkości przewodzenia w nerwach obwodowych kończyn na 60–65 m/s. W Polsce jako pierwszy badania nad pobudliwością nerwów i mięśni prowadził fizjolog Cybulski (1898). Rozwój kliniczny elektroneurografii zapoczątkowały prace takich autorów, jak Hodes, Larabee, German i Hoffman (1948). Stosowali oni rejestrację elektromiograficzną potencjału wywołanego w mięśniu przez stymulację włókien ruchowych nerwu [2–4]. Jednak do diagnostyki klinicznej metoda ta weszła na stałe dopiero po ustaleniu w latach 60. XX wieku przez Thomasa, Searsa i Gilliatą zakresu prawidłowych wartości odnoszących się do szybkości przewodzenia we włóknach ruchowych nerwów długich [4]. Badanie szybkości przewodzenia włókien czuciowych z zastosowaniem elektrod powierzchniowych przeprowadził po raz pierwszy Eichler (1938). W 1949 roku — niezależnie od Eichlera — Dawson i Scott opisali metodę przezskórno odbioru potencjałów czuciowych z drażnienia nerwów mieszanych. Dawson (1954) wprowadził technikę uśredniania, która ułatwiła odbiór potencjałów czuciowych (z natury rzeczy niskoamplitudowych), ginących w artefaktach i szumach aparatu. Kliniką użyteczność tej metody pierwsi przedstawili Gilliat i Sears (1958). Badania Buchthala i Rosenfalcka z lat 1965–1966 udoskonaliły metodę neurografii [2, 4, 12]. Istotnym uzupełnieniem ENG jest badanie fali F (potencjał czynnościowy wywołany stymulacją antydromową włókien ruchowych powstały w wyniku pobudzenia macierzystego motoneuronu) i odruchu H (elektryczny ekwiwalent głębokiego odruchu ścięgniętego, z pominięciem aparatu wrzecion). Badania te są wykorzystywane do oceny stanu czynnościowego proksymalnych odcinków włókien nerwowych (nieodstępnych w badaniu rutynowym) oraz pobudliwości motoneuronów [7, 13, 14].

Metody specjalne

Na podstawie badania ENG Harvey i Masland wprowadzili w 1941 roku technikę elektrostymulacji nerwu o różnej częstotliwości z odbiorem kolejnych odpowiedzi z mięśnia (CMAP) unerwionego przez nerw stymulowany, z określeniem dekrementu amplitudy. Technikę tę po kolejnych ulepszeniach wykorzystuje się do dziś w diagnostyce zaburzeń transmisji nerwowo-mięśniowej; obecnie stosuje się ją łącznie z elektromiografią pojedynczego włókna mięśniowego (SFEMG, *single fiber electromyography*). Badanie SFEMG zostało opracowane w latach 70. XX wieku przez Ekstedta

i Stålberga [3, 15]. Umożliwia ono ilościowy pomiar zmienności transmisji nerwowo-mięśniowej (*jitter*) w czasie kolejnych wyładowań potencjału czynnościowego pojedynczego włókna mięśniowego. Wzrost *jittera* z blokowaniem impulsów przemawia za znacznym zaburzeniem transmisji nerwowo-mięśniowej. Pomiar *jittera* okazał się najczulszą metodą w wykrywaniu tego typu patologii. Stålberg, wykorzystując SFEMG, wprowadził ocenę gęstości włókien mięśniowych oraz opracował metodę makro-EMG i *scanning-EMG*, co udoskonaliło i unowocześniło badania nad JR oraz zmianami w jej organizacji pod wpływem różnych procesów chorobowych [7].

Kierunki rozwoju badań EMG i ENG

Rozwój badania szybkości przewodzenia i EMG jest związany z rozwojem technologii i stanem ogólnej wiedzy medycznej. Wdrożenie udoskonalonych technik badawczych i ilościowych metod analizy automatycznej pozwoli na postęp w diagnostyce neurofizjologicznej. Obecnie ocena elektroneurograficzna, przynajmniej na poziomie badań rutynowych, ogranicza się do analizy stanu czynnościowego grubych, szybko przewodzących, mielinowych włókien nerwowych. Ocena włókien cienkich, wolno przewodzących, wymaga innych technik niż konwencjonalne, a techniki stosowane obecnie nie nadają się do codziennej diagnostyki ze względu na ich dużą czasochłonność. W związku z tym istnieje potrzeba opracowania zarówno rutynowej metody badania i oceny włókien cienkich, jak i poprawy oceny pobudliwości nerwów i neuronów. Ważne byłoby upowszechnienie metody śródmięśniowej stymulacji włókien mięśniowych, z oceną ich szybkości przewodzenia, co — jak wykazano — koreluje z przekrojem włókien mięśniowych w biopsji. Metoda ta nie wymaga współpracy badanego, a uzyskane wyniki mogłyby się przyczynić do poprawy diagnostyki miopatii [7]. Podobne znaczenie mogłyby mieć włączenie w szerszym zakresie do badań elektrofizjologicznych techniki pomiaru czynnych jednostek ruchowych (MUNE, *motor unit number estimation*), opracowanej przez Mc Comasa [4, 6]. Rozważa się wykorzystanie elektrod powierzchniowych do opracowania wielokanałowego badania EMG, które służyłoby do oceny postępu choroby, określenia wskaźnika siły mięśniowej, wyznaczenia największej aktywności mięśniowej w analizie chodu itp. Badanie miałoby znaczenie w nieinwazyjnej ocenie patologii mięśniowej i postępu choroby. Być może, udałoby się w przyszłości uzyskać

bardziej kompleksową ocenę parametrów elektro-neurograficznych włókien ruchowych (lepsze różnicowanie zmian patologicznych). Brakuje jeszcze automatycznych metod pozwalających na ocenę wzajemnych zależności między siłą, zakresem wyładowywania a liczbą czynnych JR. W przyszłości oczekuje się miniaturyzacji urządzeń przeznaczonych do rutynowych badań, na przykład zespołu cieśni kanału nadgarstka, oceny drżenia, testowania czynności autonomicznych.

Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono przykładowe kierunki rozwoju EMG i ENG wynikające z potrzeby pokonywania barier związanych z ograniczeniami współczesnej metodyki badań. Nie jest wykluczone, że w przyszłości zasadniczą rolę w interpretacji danych uzyskanych z przeprowadzonych procedur elektrofizjologicznych będzie odgrywała sztuczna inteligencja lub inne zaawansowane techniki informatyczne [7].

PIŚMIENNICTWO

1. Traczyk W.Z. Fiziologia człowieka w zarysie. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2005: 94.
2. Hausmanowa-Petrusewicz I. Historia elektromiografii i elektroneurografii. W: Hausmanowa-Petrusewicz I. (red.). Elektromiografia kliniczna. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1980: 12–13.
3. Emeryk-Szajewska B. Krótka historia powstania i rozwoju elektromiografii i elektroneurografii. W: Emeryk-Szajewska B., Niewiadomska-Wolska M. (red.). Neurofizjologia kliniczna. Elektromiografia i elektroneurografia, tom I. Medycyna Praktyczna, Kraków 2008: 15–16.
4. Swash M. What does the neurologist expect from clinical neurophysiology? *Muscle Nerve* 2002; (supl. 11): S134–S138.
5. Denny-Brown D. Interpretation of the electromyogram. *Arch. Neurol. Psychiatry* 1950; 61: 99–128.
6. Kopec J. Zasady działania aparatury elektromiograficznej. Metody rejestracji i analizy sygnałów EMG. W: Emeryk-Szajewska B., Niewiadomska-Wolska M. (red.). Neurofizjologia kliniczna. Elektromiografia i elektroneurografia, tom I. Medycyna Praktyczna, Kraków 2008: 55–67.
7. Nandedkar S.D., Stålberg E.V. Quantitative measurements and analysis in electrodiagnostic studies: present and future. *Future Neurol.* 2008; 3: 1–20.
8. Stålberg E., Andreassen S., Falck B. i wsp. Quantitative analysis of individual motor unit potentials: a proposition for standardized terminology and criteria for measurement. *J. Clin. Neurophysiol.* 1986; 3: 313–348.
9. Stålberg E., Falck B., Sonoo M. i wsp. Multi-MUP EMG analysis — a two year experience in daily clinical work. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 1995; 97: 145–154.
10. Hausmanowa-Petrusewicz I. Prawidłowy elektromiogram. W: Emeryk-Szajewska B., Niewiadomska-Wolska M. (red.). Neurofizjologia kliniczna. Elektromiografia i elektroneurografia, tom I. Medycyna Praktyczna, Kraków 2008: 91–96.
11. Kopec J., Emeryk-Szajewska B. "Functional-QEMG" — a new reliable method in daily routine investigation. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* 2002; 42: 495–506.
12. Trojaborg W. Sensory nerve conduction. Near-nerve recording. *Meth. Clin. Neurophysiol.* 1992; 3: 17–40.
13. Emeryk-Szajewska B., Niewiadomska-Wolska M. Słownik terminów elektromiograficznych i elektroneurograficznych polskich i angielskich. W: Emeryk-Szajewska B., Niewiadomska-Wolska M. (red.). Neurofizjologia kliniczna. Elektromiografia i elektroneurografia, tom I. Medycyna Praktyczna, Kraków 2008: 9–12.
14. Drozdowski W. Techniki badania elektroneurograficznego. W: Emeryk-Szajewska B., Niewiadomska-Wolska M. (red.). Neurofizjologia kliniczna. Elektromiografia i elektroneurografia, tom I. Medycyna Praktyczna, Kraków 2008: 79–89.
15. Ekstedt J.E. Early struggles with single-fiber electromyography. *Muscle Nerve* 2002; (supl. 11): S5–S14.