

dr Grzegorz Sobota

# Elektromiografia i jej zastosowanie w zaburzeniach aparatu żucia

**W**artykule zaprezentowano podstawy teoretyczne elektromiografii, techniczne aspekty pomiaru i analizy sygnału oraz możliwości wykorzystania metody w gabinecie stomatologicznym.

## CO TO JEST ELEKTROMIOGRAFIA?

Elektromiografia (EMG) to pomiar sygnału elektrycznego związanego z aktywacją mięśnia, która powstaje w trakcie zamierzonego lub niekontrolowanego skurczu mięśnia. Aktywność bioelektryczna skurczów woluncjonalnych mięśnia jest związana z wielkością naprężenia, czyli generowanej siły przyłożonej do przyczepów mięśnia.

Jednostką funkcjonalną związaną ze zjawiskiem skurczu mięśnia jest jednostka motoryczna, która składa się z pojedynczego motoneuronu alfa i włókien mięśniowych przez niego obsługiwanych. Skurcz włókna mięśniowego występuje, gdy potencjał czynnościowy motoneuronu osiągnie poziom depolaryzacji. Depolaryzacja generuje pole elektromagnetyczne i potencjał jest mierzony jako napięcie elektryczne, czyli różnica potencjałów tegoż pola między dwoma punktami lub obszarami. Depolaryzacja, która rozprzestrzenia się wzdłuż włókna mięśniowego, jest potencjałem czynnościowym mięśnia. Potencjał czynnościowy jednostki motorycznej jest sumą przestrzenną i czasową poszczególnych potencjałów czynnościowych wszystkich włókien mięśniowych tej jednostki motorycznej. Dlatego sygnał elektromiograficzny jest algebraiczną sumą potencjałów czynnościowych jednostek motorycznych z obszaru

przyległego do elektrody pomiarowej. Prawie zawsze niezależnie, od wielkości powierzchni elektrody pomiarowej, będzie ona swym zasięgiem obejmować sygnał z więcej niż jednej jednostki motorycznej, ponieważ każda część mięśnia może zawierać włókna mięśniowe kontrolowane nawet przez 20-50 jednostek motorycznych.

Jednostka motoryczna może zawierać 3-2000 włókien mięśniowych. Mięśnie kontrolujące niewielkie i precyzyjne ruchy mają mniejszą liczbę włókien mięśniowych na jednostkę motoryczną (zwykle mniej niż 10 włókien) niż mięśnie kontrolujące ruchy bardzo przestrzenne lub pokonujące duże obciążenie (100-1000 włókien).

## Jakie informacje daje nam EMG?

Z badania elektromiograficznego uzyskujemy informację, czy dany mięsień jest aktywny i w jakich okresach. Pozwala to na stworzenie jego charakterystyki czasowej w danym zadaniu. Nie dowiemy się natomiast, z jaką siłą działa wybrany mięsień, ile włókien mięśniowych jest pobudzonych, ile jednostek motorycznych jest aktywnych ani jaki rodzaj skurczu prezentuje. Nie jesteśmy w stanie powiedzieć, która grupa mięśniowa pracuje bardziej, możemy jedynie w danym badaniu, analizując amplitudę sygnału, wskazać okresy większej lub mniejszej aktywności. ▶

**TITLE** ▶ Electromyography and application in disorders of masticatory

**SŁOWA KLUCZOWE** ▶ elektromiografia  
**STRESZCZENIE** ▶ Z badania elektromiograficznego uzyskujemy informację, czy dany mięsień jest aktywny.

**KEY WORDS** ▶ electromyography  
**SUMMARY** ▶ The electromyographic studies obtain information which muscle is active.



**1** Samodzielna jednostka pomiarowa dla czterech mięśni firmy Noraxon (USA) ([www.noraxon.pl](http://www.noraxon.pl), [www.noraxon.com](http://www.noraxon.com))

**2** Kompletny zestaw do analizy sygnałów EMG firmy BTS Bioengineering (Włochy) ([www.btsbioengineering.com](http://www.btsbioengineering.com)) **3a** **3b** Najnowocześniejsze rozwiązanie – całkowicie bezprzewodowa transmisja danych z miejsca pomiaru do przetwornika/odbiornika. U góry rozwiązanie firmy BTS, poniżej Noraxon

**4a** **4b** Widok w płaszczyźnie strzałkowej (a) i od przodu w płaszczyźnie czołowej (b) na typowe miejsca mocowania elektrod odbiorczych w układzie dwubiegunowym. Na fotografii autor zdjęć Todd Shewman (16)

► Ze względu na zmienne warunki fizykochemiczne niedopuszczalne jest bezpośrednie porównywanie amplitud (wyrażonych w woltach) z dwóch miejsc pomiarowych na jednej osobie, a tym bardziej między osobami czy pomiarami tej samej osoby w różnych dniach. W takiej sytuacji niezbędny jest proces znormalizowania amplitudy sygnału, co opisano w dalszej części artykułu.

### Klasyfikacja i rodzaje EMG

Zazwyczaj mówi się o dwóch głównych nurtach elektromiografii: klinicznym (czasami nazywanym diagnostycznym EMG) i kinezyologicznym/funkcjonalnym. Obecnie te dwa obszary związane są bardzo często z rodzajem wykorzystywanych elektrod pomiarowych. Dzieli się je na elektrody igłowe, wkłuwane do brzośca mięśnia, oraz elektrody powierzchniowe, mocowane na skórze nad brzoścem mięśnia. Ponieważ elektroda igłowa narusza ciągłość tkanek i wymaga odpowiedniego reżimu czystości bakteriologicznej, to wykorzystuje się ją głównie w warunkach szpitalnych i w obecności lekarza. Igła lub cienki drucik wprowadzany za pomocą igły umieszczone w brzoścu nie pozwalają na zmiany długości mięśnia i badanie przeprowadza się tylko w warunkach statyki dla skurczu izometrycznego. Uważa się, że ta forma odbioru sygnału bioelektrycznego pozwala na ocenę działania pojedynczej jednostki motorycznej. Zaletą elektromiografii igłowej jest możliwość obserwacji mięśni położonych w głębszych warstwach oraz badania poszczególnych aktonów czy obszarów jednego mięśnia, co pozwala na dokładną ocenę ewentualnego stanu patologicznego.

Elektromiografia kinezyologiczna skojarzona jest zazwyczaj z powierzchniowym ułożeniem elektrod pomiarowych, które pozwalają na swobodny ruch danej części ciała

i dowolne zmiany długości mięśnia. Jak już wcześniej napisano, punkt odbioru potencjałów elektrycznych obejmuje swoim zasięgiem pewien obszar trudny do zdefiniowania, dlatego rejestrujemy interferencyjny zapis czynnościowy z wielu jednostek motorycznych tego mięśnia.

Należy również zwrócić uwagę, że sąsiadujące grupy mięśniowe, jeśli są również aktywne, mogą wpływać na odbierany sygnał. Zjawisko to nosi nazwę „cross-talk”. W tym obszarze elektromiografii bada się zazwyczaj relację aktywności mięśni (czasu ich działania) w stosunku do wykonywanych ruchów, celem określenia tzw. wewnętrznej struktury ruchu. Ponieważ większość obserwacji dotyczy elektromiografii funkcjonalnej z wykorzystaniem elektrod powierzchniowych, dalsza część artykułu będzie odnosić się tylko do tego obszaru.

### ASPEKTY TECHNICZNE I ZASADY WYKONYWANIA POMIARÓW

Nie sposób pominąć znaczenia aspektów technicznych i samej aparatury służącej do rejestracji sygnału EMG. Amplituda (czyli wartość rejestrowanego napięcia) zależy od wielu czynników, które obejmują: średnicę włókien mięśniowych, odległości aktywnych włókien mięśniowych od miejsca detekcji (ilość tkanki tłuszczowej), własności materiałowych elektrod, odległości między elektrodami, własności fizycznych przepływu prądu elektrycznego na drodze mięsień – elektroda, zakłóceń od innych mięśni oraz zakłóceń środowiska zewnętrznego (pól elektrostatycznych i elektromagnetycznych). Celem jest uzyskanie sygnału pozbawionego tylu zakłóceń, ile to tylko możliwe, dlatego rodzaj elektrod, ich mocowania, typ aparatury oraz przygotowanie pacjenta odgrywają kluczową rolę w uzyskaniu wiarygodnego zapisu EMG.

W stosunku do podstawowej jednostki pomiarowej, jaką jest 1 V, wartości napięć bioelektrycznych zazwyczaj nie przekraczają kilkunastu mV, czyli są 1000 razy mniejsze niż napięcie choćby baterii w zegarku. Wymaga to wzmacniania rejestrowanego sygnału od kilku do kilkunastu tysięcy razy, stąd dbałość o eliminację potencjalnych zakłóceń stoi na pierwszym miejscu. Różne rozwiązania techniczne wspomagają badaczy w walce z zakłóceniami, standardem jest wykorzystywanie dwóch elektrod pomiarowych w układzie wzmacniacza różnicowego, co skutecznie eliminuje znaczną ich część. Układ ten nosi nazwę dwubiegunowego i łatwo go rozpoznać po widocznych dwóch elektrodach lub odprowadzeniach z jednego mięśnia. Dodatkowo stosuje się elektrodę referencyjną umieszczaną w miejscu nieaktywnym elektrycznie, najczęściej na najbliższym występie kostnym (C7, kostka boczna, rzepka itd.).

W celu polepszenia przewodności elektrycznej w miejscu naklejenia elektrod usuwamy owłosienie, pozbywamy się martwego naskórka przez jego złuszczenie (za pomocą past abrazyjnych) i odtłuszczamy powierzchnię skóry. Takie czynności, właściwie przeprowadzone, potrafią zwiększyć wartość amplitudy nawet o 200% w porównaniu do skóry nieprzygotowanej. Dodatkowo w nowoczesnych systemach stosuje się wstępne wzmacnianie jak najbliżej miejsca pomiaru (przedwzmacniacze), gdyż ruch kabli łączących elektrodę z urządzeniem i samo dotykanie przewodów powoduje powstawanie kolejnych artefaktów. Nie zwalnia to oczywiście użytkownika z konieczności takiego mocowania kabli, aby nie zwiślały swobodnie ani też były nadmiernie napięte lub przeszkadzały w wykonywanym zadaniu ruchowym.

Osoba prowadząca badanie musi mieć dobrą wiedzę anatomiczną,

szczególnie w zakresie położenia mięśni i ich funkcji w organizmie. Elektrody mocuje się na brzuscu mięśnia w tzw. strefie bioinercji, w praktyce wybiera się miejsce, w którym brzusiec mięśnia ma największy przekrój. Dla najpopularniejszego systemu dwubiegunowego elektrody mocuje się równoległe do kierunku przebiegu włókien mięśniowych. W badaniach prowadzonych w celach naukowych ważne jest zachowanie powtarzalności wyboru lokalizacji elektrod, stąd wiele prac empirycznych wskazujących dla poszczególnych grup mięśniowych położenie elektrod często w relacji np. do wybranych punktów antropometrycznych.

Najbardziej popularnymi w analizie ruchu są zalecenia SENIAM-u (Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles, [www.seniam.org](http://www.seniam.org)), europejskiego programu badawczego, zawierającego szereg wytycznych co do wyboru rodzaju elektrod, ich lokalizacji, anatomii i funkcji mięśnia, testach grup mięśniowych oraz obróbki sygnału i warunków sprzętowych.

### Analiza sygnału

Zarejestrowany sygnał EMG jest tzw. sygnałem surowym i mimo dołożenia wszelkich starań co do jego jakości, poddaje się go dodatkowej obróbce pozwalającej na wyeliminowanie możliwych zakłóceń. W pierwszej kolejności filtrujemy go, wycinając częstotliwości poniżej 10-15 Hz (usunięcie artefaktów ruchowych) oraz powyżej 500-600 Hz (usunięcie artefaktów związanych z szumem elektronicznym naszych urządzeń oraz jako filtr antyaliasingowy). Obowiązkowo stosuje się wycięcie z widma częstotliwościowego zakresu sieci energetycznej (czyli 50 Hz lub 60 Hz w zależności od kraju), która stanowi najsilniejsze źródło zakłóceń elektromagnetycznych. Znacznie łatwiej analizuje się obwiednią samego

▷ sygnału aniżeli jego postać surową i żeby ją uzyskać, w następnych krokach najczęściej poddajemy go rektyfikacji, czyli prostowaniu i stworzeniu obwiedni jedną z wybranych metod (RMS, integracja sygnału, filtrowanie dolnoprzepustowe i inne).

### Porównywanie pomiarów

Jeśli prowadzona obserwacja nie jest jednorazowa, ale chcemy zbadać daną osobę po pewnym czasie (np. po zabiegu lub okresie rehabilitacji) lub porównać z wynikami innych osób, niezbędna jest normalizacja amplitudy sygnału. Wszystkie techniki prowadzą do porównania wielkości zmierzonej z wartością referencyjną, którą pozyskujemy w zależności od wybranej metody. Technika MVIC (MVC) (*maximum voluntary isometric contraction*) zakłada wykonanie maksymalnego skurczu izometrycznego, podczas którego rejestrujemy napięcie bioelektryczne i najczęściej jego średnia wartość jest naszym poziomem odniesienia. Wtedy dla pozostałych pomiarów wyrażamy amplitudę jako %MVIC, co interpretujemy np. że dany mięsień zaangażowany jest na 75% w stosunku do maksymalnego skurczu. Technika ta zawodzi w przypadku osób chorych, u których

Z badania elektromiograficznego uzyskujemy informację, **czy dany mięsień jest aktywny** i w jakich okresach. Pozwala to na stworzenie jego charakterystyki czasowej w danym zadaniu. Nie dowiemy się natomiast, z jaką siłą działa wybrany mięsień, ile włókien mięśniowych jest pobudzonych, ile jednostek motorycznych jest aktywnych ani jaki rodzaj skurczu prezentuje.

trudno wyegzekwować skurcz maksymalny, choćby ze względu na pojawienie się bólu czy dyskomfortu.

Inne sposoby to pozyskanie wartości referencyjnej z samego badania, biorąc maksymalną wartość amplitudy jako poziom 100% lub wartość średnią. Dobrą techniką jest pomiar wartości referencyjnej dla warunków stałego znanego, niemaksymalnego, obciążenia grupy mięśniowej w statyce. W warunkach dynamicznych stosuje się również normalizację czasową, która pozwala na porównywanie tych samych ruchów, ale wykonywanych w różnym czasie (np. podział chodu na fazy).

### Technika biofeedbacku

Oprócz samej rejestracji napięć bioelektrycznych nowoczesne systemy pomiarowe (Noraxon, Delsys, BTS Emg) pozwalają na pracę w trybie rzeczywistym i realizowanie zadań związanych z biofeedbackiem. Zwykle pacjent na ekranie monitora lub za pomocą sygnałów dźwiękowych może kontrolować stopień aktywności mięśnia. Pozwala to na trening relaksacji i pobudzania do pracy poszczególnych mięśni, a jeśli oprogramowanie jest bardziej zaawansowane, to również na naukę kontroli płynnej zmiany stopnia napięcia mięśnia lub odwzorowywanie charakterystyki pracy, np. w stosunku do zdrowego mięśnia drugiej kończyny. Zaawansowane techniki przetwarzania sygnałów pozwalają również wnioskować o stopniu zmęczenia mięśni w trakcie pracy, tworzeniu korelacji w ściśle określonych warunkach pomiarowych między siłą mięśni a napięciem bioelektrycznym oraz aspektów ergonomii danego stanowiska pracy.

### WYKORZYSTANIE EMG W ZABURZENIACH STAWU SKRONIOWO-ŻUCHWOWEGO

Badania epidemiologiczne wskazują, że we wszystkich grupach wiekowych

wzrasta liczba chorych z zaburzeniami czynnościowymi narządu żucia (6, 8). Czynniki ogólne to między innymi stres, zaburzenia funkcji układu hormonalnego i nieprawidłowa postawa ciała. Wśród czynników miejscowych wymieniane są: utrata zębów w strefach podparcia, parafunkcje, abrazyje, zaniki kostne, w tym głównie wyrostków zębodołowych, i błędne leczenie stomatologiczne (4). Zaburzenia czynnościowe to cały zespół zmian obejmujący nieprawidłową pracę mięśni biorących udział w artykulacji żuchwy oraz zaburzenia struktur wewnątrz stawów skroniowo-żuchwowych. Symptomy to: mialgia i ból okolicy przedusznej, odgłosy akustyczne w stawach, zmiana prawidłowego zakresu ruchów żuchwy oraz wzrost napięcia mięśni żucia.

Dostępne wyniki wskazują, że u pacjentów z przewlekłą dysfunkcją stawów skroniowo-żuchwowych występują deficyty proprioceptywne oraz trudności ze zróżnicowaniem aktywności mięśniowej (18, 19). Mogą występować również nieuświadomione skurcze mięśni twarzy i jamy ustnej, powodujące przewlekłą aktywność żwacza i mięśni skroniowych. W takiej sytuacji informacja otrzymana za pomocą elektromiografii powierzchniowej pozwala na wizualizację takiego stanu i w połączeniu z biofeedbackiem w czasie rzeczywistym – na korygowanie aktywności mięśniowej.

Większa aktywność mięśni prowadzi do ich nadmiernej pracy i w efekcie zmęczenia, niekorzystnych zmian metabolicznych, braku lub niewystarczającej regeneracji włókien mięśniowych (7, 9-12). Typowe zastosowanie badania EMG w tym obszarze to: ocena symetrii działania mięśni prawej i lewej strony dla szeregu ruchów żuchwy, zdolności do wyłączenia mięśni – relaksacji, analiza wpływu zastosowanego leczenia na stopień aktywności mięśni (farmakologia,

masaże, trening właściwego ruchu żuchwy, zastosowane zaopatrzenie dodatkowe itp.) (5, 13, 15). Bardzo często łączy się ten rodzaj badania z analizą ruchu żuchwy, co pozwala na podzielenie zarejestrowanego sygnału zgodnie z odpowiednimi fazami wykonywanego ruchu i porównanie parametrów w poszczególnych fragmentach badania czy ruchu (13, 14, 16, 17).

Ważnym elementem pozwalającym na porównywanie badań jest zachowanie stałej procedury badawczej i kolejności wykonywanych testów. Todd Shewman proponuje ciąg sekwencji w ocenie m.in. w okolicy skroniowo-żuchwowej (16). Proponowane testy to w kolejności: ocena podstawowa na siedząco, a następnie na stojąco; zwarcie funkcjonalne (na naturalnym uzębieniu) oraz zwarcie funkcjonalne kontrolowane (z wymuszoną większą aktywnością dźwigacza żuchwy, np. z włożonym nawilżonym tamponem); połykanie; przedłużone zwarcie. Dodatkowo można wprowadzić ocenę przy wychyleniach bocznych lub specyficznych ustawieniach głowy oraz w czasie okluzji. W przypadku dużej asymetrii postawy ciała zaleca się jej korygowanie, np. poprzez przodowy-sunięcie głowy, wyrównanie ustawienia miednicy przez podłożenie wałka pod pośladek itp. Typowe miejsca rejestracji napięć bioelektrycznych to mięśnie: skroniowy przedni, żwacz, nadgnykowy, mostkowo-obojczykowo-sutkowy (16).

Najpopularniejszymi parametrami elektromiograficznymi są: średnia amplituda sygnału (koreluje ze stopniem aktywności mięśnia), pole powierzchni pod obwiednią sygnału (związane z całkowitą pracą mięśnia), częstotliwość średnia i środkowa widma sygnału EMG (wykorzystywane do oceny stopnia zmęczenia mięśnia razem z oceną zmian amplitudy sygnału) oraz analiza charakterystyki czasowej pracy mięśnia (brak pobudzenia, stała aktywność, niewłaściwe pobudzenie – za wcześnie, opóźnione, zbyt krótkie, zbyt długie itp.) (17).

W Polsce odbywają się również szkolenia z tego zakresu prowadzone przez osoby z całego świata uznane w środowisku naukowym i praktyków, a jednym z ich organizatorów jest firma Technomex z Gliwic, dystrybutor sprzętu firmy Noraxon oraz BTS. Istnieje również strona internetowa, podejmująca problematykę szeroko pojętej elektromiografii powierzchniowej – [www.semg.pl](http://www.semg.pl), zawierająca informacje dydaktyczne, szkoleniowe i prezentacje sprzętu, jego potencjalnych możliwości oraz przykładowych zastosowań. □

Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki  
Katedra Motoryczności Człowieka, Zakład Biomechaniki  
40-065 Katowice, ul. Mikołowska 72A