

Paulina Krasnodębska¹, Agata Szkiełkowska^{1,2}

Elektromiografia krtani – przegląd wytycznych i aktualnej literatury przedmiotu

Laryngeal electromyography – a review of guidelines and current literature

¹ Klinika Audiologii i Foniatrii, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa, Polska

² Katedra Audiologii i Foniatrii, Uniwersytet Muzyczny Fryderyka Chopina, Warszawa, Polska

Adres do korespondencji: Paulina Krasnodębska, Klinika Audiologii i Foniatrii, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, ul. Mochackiego 10, 02-042 Warszawa, tel.: +48 22 356 03 66, faks: +48 22 356 03 67, e-mail: p.krasnodębska@ifps.org.pl

Streszczenie

Celem artykułu jest przedstawienie aktualnych wytycznych dotyczących analizy oraz interpretacji zapisu badań elektromiograficznych krtani (*laryngeal electromyography*, LEMG) wraz z przeglądem głównych nurtów zastosowania EMG w praktyce otolaryngologiczno-foniatrycznej. Obecnie obowiązujące wytyczne zostały opracowane przez American Academy of Otolaryngology – Head and Neck Surgery w 2009 roku i przez European Laryngological Society w roku 2012. W zaleceniach obu towarzystw naukowych postuluje się zaadaptowanie i włączenie LEMG do standardowej praktyki klinicznej na oddziałach laryngologicznych. Działanie European Laryngological Society na rzecz rozwoju LEMG zaowocowało organizacją (od 2014 roku) cyklicznych warsztatów doszkalających i powstaniem strony internetowej www.lemg.org, skupiającej osoby zainteresowane problematyką neurofizjologii krtani. Standardy interpretacji zapisu badania elektromiograficznego obejmują ocenę jakościową – rozpoznanie i opis takich wzorców, jak aktywność wkłucia, aktywność spontaniczna, fibrylacje, dodatnie fale ostre, polifazje, fasykulacje, ciągi wyładowań. Wzorec rekrutacji jednostek ruchowych oceniany jest podczas zadań fonacyjnych i niefonacyjnych. Analiza literatury przedmiotu wskazuje na istnienie czterech głównych obszarów wykorzystania LEMG w praktyce otolaryngologiczno-foniatrycznej. Są to: ocena zaburzenia ruchomości fałdu głosowego, badania nad fizjologią mięśni krtani, monitorowanie śródoperacyjne nerwów krtaniowych oraz monitorowanie aktywności mięśni krtani za pomocą elektromiografii powierzchniowej. Środowiska naukowe podkreślają znaczenie LEMG jako elementu standardów diagnostyki otolaryngologiczno-foniatrycznej i czynią starania, aby badanie to było szerzej stosowane. Autorzy aktualnych zaleceń zachęcają do ciągłego rozwoju metody. Dalsza perspektywa rozwojowa zakłada poszukiwanie odpowiednich parametrów obiektywizujących i zmianę wytycznych, które obecnie odnoszą się jedynie do jakościowej oceny wyników badania.

Słowa kluczowe: elektromiografia krtani, dysfonia, porażenie fałdów głosowych, dysfagia

Abstract

The aim of this paper was to present current guidelines on the analysis and interpretation of laryngeal electromyography (LEMG) along with a review of the main trends in the use of EMG in otolaryngology and phoniatic practice. Current guidelines were developed by the American Academy of Otolaryngology – Head and Neck Surgery in 2009 and by the European Laryngological Society in 2012. Both scientific societies postulate adaptation and inclusion of LEMG in standard clinical practice in ENT departments. The activities of the European Laryngological Society for the development of LEMG resulted in the implementation of regular training workshops (since 2014) and the creation of www.lemg.org website for those interested in laryngeal neurophysiology. The standards for the interpretation of electromyographic recordings include identification and description of such patterns as insertional activity, spontaneous activity, fibrillations, positive sharp waves, polyphasia, fasciculations, and repetitive discharges. Motor unit recruitment pattern is assessed during phonatory and non-phonatory tasks. Literature analysis indicates that there are four main areas of LEMG application in otolaryngology and phoniatic practice. These include an assessment of vocal fold motion disorder, evaluation of the physiology of the laryngeal muscles, intraoperative monitoring of laryngeal nerves and monitoring of laryngeal muscle activity using surface electromyography. Scientific communities emphasise the importance of LEMG as a component of otolaryngological and phoniatic diagnostic standards and make efforts to expand the use of LEMG. The authors of current recommendations encourage the continuous development of the method. The perspective of further development assumes the search for appropriate objectifying parameters and a change of the guidelines, which are currently limited to qualitative assessment of LEMG findings.

Keywords: laryngeal electromyography, dysphonia, vocal fold paralysis, dysphagia

WPROWADZENIE

Aktywność elektryczną mięśni wewnętrznych krtani po raz pierwszy zarejestrowali Weddell, Feinstein i Pattle w 1944 roku w Oksfordzie. Badacze nie korelowali wyników z fonacją. Kolejnego przełomu w rozwoju badań elektromiograficznych krtani (*laryngeal electromyography*, LEMG) dokonano 10 lat później w Kopenhadze. Neurofizjolog Buchthal i laryngolog Faaborg-Andersen dali podstawy współczesnej metodologii LEMG (Buchthal, 1959). Ich badania przypadły na okres rewolucyjnych zmian w teorii tworzenia głosu – przyjęto wówczas obowiązującą do dziś teorię mioelastyczno-aerodynamiczną (Krasnodębska *et al.*, 2017). W latach 80. XX wieku prowadzono prace, które zaowocowały włączeniem EMG do standardów diagnostycznych i prognostycznych stosowanych w praktyce neurologicznej (Hillel i Robinson, 2006). Z kolei badanie LEMG dopiero kilkanaście lat temu stało się przedmiotem intensywnych prac umożliwiających adaptację do codziennej praktyki klinicznej (Bach *et al.*, 2018). Ze względu na unikalny charakter i trudną dostępność anatomiczną badanych mięśni LEMG należy do wspólnych kompetencji neurologii oraz laryngologii i foniatrii. Hillel i Robinson (2006), podkreślając wyjątkowość metody, w odniesieniu do interpretacji LEMG używają określenia „sztuka elektromiografii” (*the art of electromyography*). Autorzy zwracają uwagę na potrzebę holistycznego podejścia do osoby badanej i konieczność znajomości danych z wywiadu klinicznego jako nieodłącznego elementu analizy zapisu czynności elektrycznej mięśni krtani.

Wraz z upływem czasu LEMG zyskuje nowe zastosowania: od diagnostyki i prognostyki obwodowych uszkodzeń nerwów (będących głównym przedmiotem zainteresowaniem Buchthala i Faaborga-Andersena), przez diagnostykę krtaniowych manifestacji chorób układowych oraz badania fonacji i śpiewu, aż do monitorowania zabiegów iniekcyjnych (Blitzer *et al.*, 2015; Kumari *et al.*, 2017; Maronian *et al.*, 2004; Martins *et al.*, 2018; Mostafa *et al.*, 2004). W artykule przedstawiono aktualne wytyczne dotyczące analizy oraz interpretacji zapisu badań elektromiograficznych krtani wraz z przeglądem kierunków rozwoju metody w ostatniej dekadzie.

PRZEGLĄD WYTYCZNYCH DOTYCZĄCYCH LEMG

Dostępność wiarygodnych metod neurofizjologicznych służących do oceny motorycznej i czuciowej funkcji krtani ma niezwykle duże znaczenie w otolaryngologii i foniatrii (Ludlow, 2015). Przegląd literatury przedmiotu dokonany na początku XXI wieku przez międzynarodowe grono naukowców zaowocował opublikowaniem wytycznych przez American Academy of Otolaryngology – Head and Neck Surgery (AAO-HNS) w 2009 roku oraz przez European Laryngological Society (ELS) w roku 2012 (Blitzer *et al.*, 2009; Sataloff *et al.*, 2003; Volk *et al.*, 2012). Zgodnie z zaleceniami obu towarzystw naukowych postuluje się zaadaptowanie i włączenie

LEMG do standardowej praktyki klinicznej na oddziałach laryngologicznych. Rekomendacje zakładają również perspektywne prace badawcze nad standaryzacją metodologii oraz interpretacji LEMG (Wang *et al.*, 2015).

Choć badanie to uznawane jest za najlepsze narzędzie obiektywnej diagnostyki porażenia krtani, mające wysoką wartość predykcyjną w odniesieniu do niepomysłnego rokowania, otolaryngolodzy i foniatryzy nadal nie wykonują LEMG rutynowo. Wytyczne zostały opublikowane przed dekadą, ale rutynowe stosowanie metody w praktyce klinicznej potwierdza niespełna 2% otolaryngologów w Stanach Zjednoczonych i Europie (Volk *et al.*, 2018; Wu i Sulica, 2015). Rzadkie wykonywanie LEMG na oddziałach otolaryngologicznych i foniatrycznych wynika z braku procedur rozliczeniowych i klarownych wskazań. Zdaniem Ho i wsp. (2019) przyczyną opisanego stanu rzeczy może być ponadto brak porozumienia odnośnie do metodologii oraz interpretacji LEMG. W pracach naukowych nadal zauważalne są rozbieżności w procedurach. Widoczna jest jednak również tendencja do coraz dokładniejszego opisu metodologii, dzięki czemu możliwe stają się wielośrodkowe prace porównawcze. Na ryc. 1 przedstawiono algorytm badania LEMG.

Działanie ELS na rzecz rozwoju LEMG zaowocowało organizacją – od 2014 roku – cyklicznych warsztatów doszkalających poświęconych wykorzystaniu metody w diagnostyce klinicznej uszkodzeń nerwu krtaniowego górnego i dolnego. Powstała także strona internetowa www.lemg.org, skupiająca osoby zainteresowane problematyką neurofizjologii krtani. Badacze zachęceni są do wymiany doświadczeń klinicznych i archiwizowania danych LEMG zgodnie z wytycznymi w celu dalszego doskonalenia metodologii (Volk *et al.*, 2015).

ANALIZA ZAPISU BADANIA ELEKTROMIOGRAFICZNEGO

Obecne standardy interpretacji aktywności mięśni krtani obejmują jakościową ocenę zapisu. Uwzględniają rozpoznanie i ocenę takich wzorców, jak aktywność wklucia, aktywność spontaniczna, fibrylacje, dodatnie fale ostre, polifazje, fasykulacje i ciągi wyładowań (Ho *et al.*, 2019). Wzorzec rekrutacji jednostek ruchowych (JR) oceniany jest podczas zadań fonacyjnych i niefonacyjnych (Szkielewska *et al.*, 2015). Obecność oraz interpretacja sygnału są zależne od stopnia wolicjonalnej aktywacji mięśni. Standaryzacja obejmuje stosowaną w neurologii skalę porządkową od 0 (brak wyładowań) do 4 (pełna aktywność) (Blitzer *et al.*, 2009). Autorzy wytycznych wskazują na konieczność dalszych poszukiwań parametrów obiektywizujących LEMG, gdyż ocena jakościowa ściśle zależy od doświadczenia osoby badającej, a używana skala jest skalą subiektywną (Bielamowicz i Stager, 2006). Jak podają Statham i wsp. (2010), neurolaryngolog wnioskuje o działaniu aksonów i połączeń nerwowo-mięśniowych na podstawie interpretacji sygnałów LEMG uzyskanych za pomocą elektrod igłowych umieszczonych w badanym mięśniu. Jednak wobec braku wiarygodnych, wspomaganých komputerowo metod kwantyfikacji



Ryc. 1. Algorytm badania elektromiograficznego krtani stosowany przez autorów

interpretacja LEMG pozostaje oparta na subiektywnym rozpoznawaniu cech opisowych przez osobę oceniającą. Zautomatyzowane rozpoznawanie wzorca sygnału przez sprawdzone algorytmy programowe jest więc jednym z głównych założeń rozwoju LEMG (Statham *et al.*, 2010).

Analiza ilościowa powinna uwzględniać:

- wartość amplitudy potencjałów JR – odzwierciedlająca liczbę i siłę włókien mięśniowych wchodzących w skład JR i unerwionych przez pojedyncze zakończenia nerwowe;
- czas trwania JR – ściśle związany z szybkością przewodzenia motoneuronu, zależną od osłonki nerwu (Volk *et al.*, 2012).

Surowe wartości powyższych parametrów JR są zmienne osobniczo, a ich zakres w populacji jest szeroki. Zgodnie z danymi literaturowymi średnie wartości mierzone z mięśni wewnętrznych krtani w przypadku amplitudy JR wynoszą około 200 μV , a w przypadku czasu trwania JR – 7 ms (Xu *et al.*, 2018).

Zachęcające są wyniki prac naukowych wykorzystujących pochodne powyższych parametrów w celu ilościowego ujęcia zapisu LEMG. Badania te dotyczą analizy zwrotów, definiowanych jako każda zmiana amplitudy o co najmniej 100 μV , oraz stosunku zwrotów do wartości średniej amplitudy (Kneisz *et al.*, 2020; Smith *et al.*, 2012; Yaar, 1994). Trudności z włączaniem obiektywnych parametrów do standardów opisu wyników badań wynikają z faktu, że nie każdy ośrodek badawczy dysponuje specjalistyczną aparaturą i wymaganym oprogramowaniem (Paniello *et al.*, 2016).

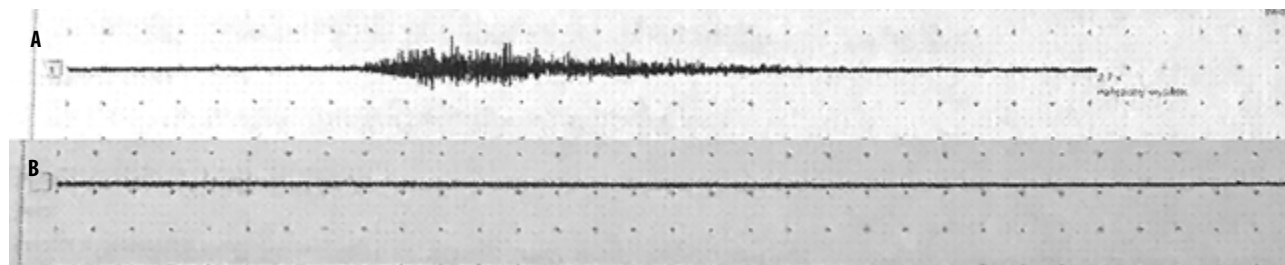
Według autorów niniejszego artykułu kolejnym ważnym aspektem analizy jakościowej oraz ilościowej jest możliwość wewnątrzsobniczego porównania strony chorej ze stroną zdrową w przypadku zmian obserwowanych po jednej stronie głośni. Odniesienie charakterystyki zapisu do indywidualnej normy osoby badanej pozwala na wyciągnięcie wniosków nieobciążonych błędem związanym z różnicami populacyjnymi. Na ryc. 2 i 3 przedstawiono zapis LEMG mięśni tarczowo-nalewkowych dwóch pacjentów z jednostronnym porażeniem krtani. Ryciny obrazują różnice międzyosobnicze dotyczące wartości parametrów rejestrowanych z mięśni tarczowo-nalewkowych, podczas gdy interpretacja badania laryngoskopowego obu pacjentów jest taka sama.

DZIEDZINY WYKORZYSTANIA LEMG

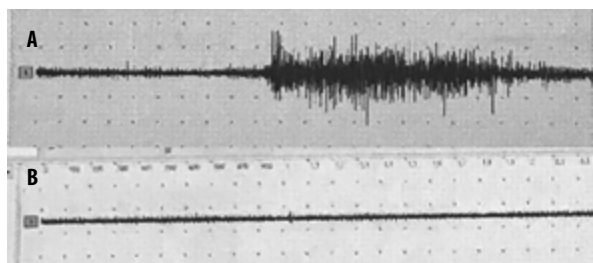
Analiza literatury przedmiotu pozwala wskazać kilka utrzymujących się trendów wykorzystania LEMG w praktyce otolaryngologiczno-foniatrycznej (Bach *et al.*, 2018; Szkiełkowska *et al.*, 2015). Poniżej przedstawiono główne nurty zastosowania metody, których opis uzupełniono o najważniejsze doniesienia z piśmiennictwa ostatniej dekady.

Zaburzenia ruchomości fałdu głosowego

Badanie LEMG używane jest w diagnostyce, ocenie stopnia zaawansowania i prognozowaniu zaburzeń ruchu fałdów głosowych pochodzenia nerwowego (uszkodzenia



Ryc. 2. Zapis LEMG mięśnia tarczowo-nalewkowego prawego (A) i lewego (B) u pacjenta, u którego doszło do lewostronnego porażenia krtani po operacji tarczycy. Badanie wykonano 3 miesiące po operacji. W badaniu laryngoskopowym cechy porażenia po stronie lewej. Fałd łukowato wygięty w pozycji pośredniej. W zapisie LEMG (rejestracja przy czułości 750 μV /działkę i podstawie czasu 100 ms): A – zapis submaksymalny, pojedyncze potencjały odnerwienne, średnia amplituda zapisu 267 μV (maks. 1100 μV); B – śladowe stałe napięcie, niereagujące na wysiłek



Ryc. 3. Zapis LEMG mięśnia tarczowo-nalewkowego prawego (A) i lewego (B) u pacjenta, u którego doszło do lewostronnego porażenia krtani po operacji nowotworu płuca lewego. Badanie wykonano 1,5 roku po operacji. W badaniu laryngoskopowym cechy porażenia po stronie lewej. Fałd łukowato wygięty w pozycji pośredniej. W zapisie LEMG (rejestracja przy czułości 750 μV /działkę i podstawie czasu 100 ms): A – zapis submaksymalny, pojedyncze potencjały odnerwienne, średnia amplituda zapisu 560 μV (maks. 2590 μV); B – zapis niskonapięciowy, śladowo reagujący na wysiłek

obwodowego i centralnego układu nerwowego) oraz mięśniowego. Pozwala ponadto na różnicowanie innych przyczyn unieruchomienia fałdu, przykładowo fiksacji w stawie pierścienno-nalewkowym (Sittel *et al.*, 2001). Neurologiczne zaburzenia pochodzenia obwodowego mogą dotyczyć dolnych neuronów ruchowych, neuronów aferentnych/czuciowych, połączeń nerwowo-mięśniowych i/lub mięśni. Zaburzenia pochodzenia ośrodkowego wpływają z kolei na szybkość przewodzenia neuronów ruchowych, górnych motoneuronów i ośrodkowych dróg sensorycznych w rdzeniu kręgowym, pniu mózgu lub mózgu (Blitzer *et al.*, 2009).

W 2016 roku Rosen i wsp. opublikowali wskazówki dotyczące nazewnictwa zaburzeń ruchomości fałdów głosowych. Według autorów zaobserwowanie podczas badania laryngoskopowego zaburzeń ruchomości fałdów głosowych upoważnia osobę badającą jedynie do użycia określenia „brak ruchomości” (*immobility*) lub „zaburzenie ruchomości” (*hypomobility*), gdy ograniczone są szybkość lub zakres ruchu fałdu. Posługiwanie się terminami „porażenie” (*paralysis* – autorzy nie zalecają stosowania terminu *palsy*) i „niedowład” (*paresis*) staje się zasadne dopiero przy udowodnionej etiologii neurologicznej. Rosen i wsp. (2016) wskazują, że LEMG jest badaniem mogącym potwierdzić neurologiczną etiologię zaburzenia ruchomości. Niemniej na podstawie analizy zapisu badania elektromiograficznego nie można jednoznacznie określić progu diagnostycznego oddzielającego normę od zaburzenia. Jak zaznacza Sulica (2013), niedowład nie powinno się stwierdzać, bazując wyłącznie na parametrach LEMG. Czynnikiem przysparzającym największych trudności wydaje się występowanie synkinezy – zjawiska, podczas którego dochodzi do odtworzenia unerwienia przez włókna nerwowe antagonistycznych mięśni. Włókno mięśniowe nie ulega degeneracji, jednak nie odzyskuje poprzedniej czynności, dlatego tak ważna jest korelacja obserwacji elektromiograficznej z badaniem laryngoskopowym.



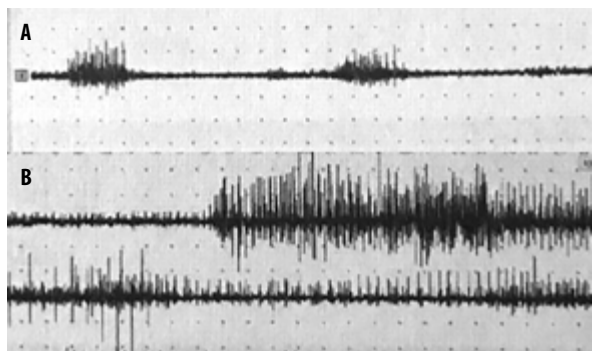
Ryc. 4. Zapis LEMG mięśnia tarczowo-nalewkowego prawego (A) i lewego (B) u pacjenta, u którego doszło do prawostronnego porażenia krtani po strumektomii. Badanie wykonano 2 miesiące po operacji. W badaniu laryngoskopowym cechy porażenia po stronie prawej. Fałd w pozycji pośredniej, brak amplitudy i przesunięcia brzeżnego. W zapisie LEMG (rejestracja przy czułości 750 μV /działkę i podstawie czasu 100 ms): A – zapis uboższy niż po stronie lewej, liczne jednostki polifazowe i wysokoamplitudowe świadczące o uszkodzeniu neurogennym, średnia amplituda zapisu 247 μV (maks. 2261 μV); B – zapis prawidłowy, średnia amplituda zapisu 190 μV (maks. 498 μV)

Należy również podkreślić rolę LEMG w ustalaniu rokowania w zakresie regeneracji nerwów. Brak aktywności spontanicznej, fibrylacji i dodatknych fal ostrych oraz obecność dobrej rekrutacji JR z potencjałami wielofazowymi lub bez nich są oznakami doskonałego rokowania (Ho *et al.*, 2019). Na ryc. 4 przedstawiono zapis LEMG z cechami pomysłnego rokowania – badanie wykonano u pacjenta z jednostronnym porażeniem krtani po strumektomii.

W swoich szczegółowych badaniach poświęconych regeneracji nerwu krtaniowego wsteczny Crumley (2000) wykazywał obecność aktywności mięśniowej świadczącej o zachowanym unerwieniu mimo braku ruchomości fałdu głosowego. Dokładna analiza procesów regeneracji możliwa dzięki LEMG pozwala na podjęcie najwłaściwszej decyzji o sposobie terapii. Brak poprawy zapisu elektromiograficznego w kolejnych badaniach, wykonywanych w kilkutygodniowych odstępach, sugeruje istnienie wskazań do interwencji chirurgicznej. Obserwacja cech promujących zjawisko synkinezy, skutkujących zaburzeniem lub brakiem ruchomości fałdu mimo zachodzącej reinnowacji, wskazuje na konieczność zintensyfikowania terapii zachowawczej, przede wszystkim funkcjonalnej terapii głosu (Krasnodębska *et al.*, 2018). Monitorowanie elektromiograficzne wczesnego niedowładu i porażenia krtani ma szczególne znaczenie wobec częstości występowania synkinezy – obserwowanych, jak podają Li i wsp. (2017), nawet u 70% pacjentów.

Badania nad fizjologią mięśni krtani

LEMG umożliwia neurofizjologiczną analizę czynności mięśni krtani na poziomie pojedynczej jednostki ruchowej. Rozwijające się metody technologiczne pozwalają na odkrywanie nieznanych dotąd zjawisk związanych z pracą krtani. Badania naukowe ostatnich lat rzuciły nowe światło na kontrolę nerwową mięśni krtani – potwierdziły niezwykle skomplikowaną fizjologię jej funkcji ruchowej i zmieniły



Ryc. 5. Zapis LEMG mięśnia tarczowo-nalewkowego prawego (A) i lewego (B) u pacjenta z dysfonią spastyczną. Rejestracja przy czułości 750 μV /działkę i podstawie czasu 100 ms. Widoczna asymetria zapisu, liczne jednostki polifazowe i wysokonapięciowe po stronie lewej. Obraz korelował z obserwacją laryngoskopową, w której podczas fonacji obustronnie stwierdzano zmniejszenie amplitudy i przesunięcia brzeźnego oraz drżenia spoczynkowe bardziej nasilone po stronie lewej

dotychczasowe przekonania (Xu *et al.*, 2018). Miyauchi i wsp. (2016) zaobserwowali dodatkowe drogi neuronalne pochodzące z nerwu krtaniowego wstecznego, których drażnienie skutkuje pojawieniem się potencjałów w mięśniu pierścienno-tarczowym. Folk i wsp. (2016) opisali z kolei skurcz mięśnia tarczowo-nalewkowego i zamknięcie głóśni podczas stymulacji zarówno zewnętrznej gałęzi nerwu krtaniowego górnego, jak i nerwu krtaniowego wstecznego. Mimo wielu lat badań liczne zagadnienia dotyczące neurofizjologii śpiewu nadal pozostają niewyjaśnione (Varadarajan *et al.*, 2013). Wykorzystanie elektromiografii w wokalistyce pozwala odkryć nowe aspekty charakterystyki śpiewu. LEMG obrazuje subtelne zmiany we wzorcach rekrutacji badanych mięśni w zależności od klasyfikacji i rejestru głosu (Varadarajan *et al.*, 2013). W ostatnich latach niezwykle ważnych informacji dostarczyła praca Kochis-Jennings i wsp. (2012) na temat neurofizjologii fonacji w przypadku różnych rejestrów. W badaniu użyto LEMG do sprawdzenia hipotezy o wytwarzaniu rejestru piersiowego przez śpiewaków za pomocą addukcji wyrostków głosowych i zwiększenia aktywności mięśni tarczowo-nalewkowych. Potwierdzono, że śpiewacy – przy zachowaniu jednakowej wysokości tonu – zmieniając rejestr z głowowego na piersiowy, zwiększają aktywność mięśni tarczowo-nalewkowych i addukcję wyrostków głosowych. Zauważono, iż aktywność wspomnianych mięśni ma większe znaczenie w zmianie wysokości tonu niż rejestru. W równoczesnym monitorowaniu LEMG i ciśnienia podgłośniowego autorzy widzą obiecujący kierunek badań.

Monitorowanie śródoperacyjne nerwów krtaniowych

Neuromonitoring nerwów krtaniowych wstecznych podczas zabiegów tarczycy jest standardem w wiodących ośrodkach

chirurgicznych. W Niemczech stosuje się go rutynowo w 90% operacji tarczycy, we Francji – w 40%, w Hiszpanii – w 30%, a w Stanach Zjednoczonych – w około 50%. W Polsce notowany jest stały wzrost użycia śródoperacyjnego neuromonitoringu, prowadzonego obecnie w trakcie 20% zabiegów (Kurzyńska, Neuromonitoring nerwów krtaniowych...). Zastosowanie neuromonitoringu przyczyniło się do znacznego spadku odsetka jatrogennych porażenia krtani. Kierunki rozwoju są związane z metodą i zakresem monitoringu, rozważane jest włączenie nerwu krtaniowego górnego w procedurę monitorowania.

Kolejne niezwykle istotne zastosowanie kliniczne LEMG, znane od wielu lat, to lokalizowanie miejsca iniekcji przy zabiegach mikrochirurgicznych, np. wstrzyknięciu toksyny botulinowej. Duży materiał badawczy i wieloletnie doświadczenie pozwalają na dokładniejszą analizę przypadków. Prace Blitzera i wsp. (2018, 2015), oparte na ponad 30-letnim doświadczeniu i historiach choroby blisko półtora tysiąca osób, umożliwiły określenie standardów wykorzystania toksyny botulinowej i analizę różnych typów dysfonii spastycznej. LEMG daje ponadto możliwość oszacowania zalecanej ilości toksyny w zależności od zapisu aktywności mięśni (ryc. 5).

Monitorowanie aktywności mięśni krtani za pomocą elektromiografii powierzchniowej (superficial EMG, SEMG)

Badanie SEMG krtani było początkowo metodą pomijaną ze względu na zbyt małą wiarygodność i powtarzalność (Remacle i Eckel, 2010; Szkiełkowska *et al.*, 2015). Najnowsze publikacje wskazują jednak na dużą przydatność SEMG w ocenie procesu połykania (Krasnodębska *et al.*, 2020). Badania przeprowadzone przez Vaimana i wsp. (2004a, 2004b, 2004c) wśród 440 zdrowych ochotników pozwoliły na ilościowe opracowanie aktywności mięśni biorących udział w połykaniu. Ponadto autorzy wykazali zależność między wartością potencjałów mierzonych z różnych mięśni a etiologią i lokalizacją patologii dysfagii górnej (Vaiman i Eviatar, 2009). Ocena porównawcza mięśni biorących udział w połykaniu za pomocą SEMG jest wykorzystywana również w badaniu skuteczności działania leków, np. lewodopy u pacjentów z chorobą Parkinsona (Tawadros *et al.*, 2012). SEMG znajduje też nowe zastosowania – służy przykładowo do oceny funkcji czuciowej krtani poprzez badanie czynności nerwu krtaniowego górnego (Bock *et al.*, 2011). Bock zaproponował, by w ocenie nerwów czuciowych, m.in. w neuropatii cukrzycowej, wykorzystywać powierzchniowo wywołane potencjały czuciowe krtani (*surface-evoked laryngeal sensory action potential*, SELSAP).

WNIOSKI

Mimo upływu lat główne nurty klinicznego wykorzystania elektromiografii krtani pozostają bez zmian. LEMG znajduje wiele – jak pokazuje przegląd literatury z ostatniej

dekady: coraz więcej – zastosowań w otolaryngologii i foniatryi. Środowiska naukowe podkreślają znaczenie LEMG jako elementu standardów diagnostyki otolaryngologiczno-foniatrycznej i czynią starania, aby badanie to było szerzej stosowane. Autorzy aktualnych zaleceń amerykańskich i europejskich z 2009 i 2012 roku zachęcają do ciągłego rozwoju metody. Dalsza perspektywa rozwojowa zakłada poszukiwanie odpowiednich parametrów obiektywizujących i zmian wytycznych, które obecnie odnoszą się jedynie do jakościowej oceny wyników badania.

Konflikt interesów

Autorki nie zgłaszają żadnych finansowych ani osobistych powiązań z innymi osobami lub organizacjami, które mogłyby negatywnie wpłynąć na treść publikacji oraz rościć sobie prawo do tej publikacji.

Piśmiennictwo

- Bach Á, Sztanó B, Kiss JG et al.: [The role of laryngeal electromyography in the diagnosis of vocal cord movement disorders]. *Orv Hetil* 2018; 159: 303–311.
- Bielamowicz S, Stager SV: Diagnosis of unilateral recurrent laryngeal nerve paralysis: laryngeal electromyography, subjective rating scales, acoustic and aerodynamic measures. *Laryngoscope* 2006; 116: 359–364.
- Blitzer A, Brin MF, Simonyan K et al.: Phenomenology, genetics, and CNS network abnormalities in laryngeal dystonia: a 30-year experience. *Laryngoscope* 2018; 128 (Suppl 1): S1–S9.
- Blitzer A, Brin MF, Stewart CF: Botulinum toxin management of spasmodic dysphonia (laryngeal dystonia): a 12-year experience in more than 900 patients. *Laryngoscope* 2015; 125: 1751–1757.
- Blitzer A, Crumley RL, Dailey SH et al.: Recommendations of the Neurolaryngology Study Group on laryngeal electromyography. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2009; 140: 782–793.
- Bock JM, Blumin JH, Toohill RJ et al.: A new noninvasive method for determination of laryngeal sensory function. *Laryngoscope* 2011; 121: 158–163.
- Buchthal F: Electromyography of intrinsic laryngeal muscles. *Q J Exp Physiol Cogn Med Sci* 1959; 44: 137–148.
- Crumley RL: Laryngeal synkinesis revisited. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2000; 109: 365–371.
- Folk D, Wahba B, Sasaki CT: Is the external branch of the superior laryngeal nerve dispensable in thyroid surgery. *Thyroid* 2016; 26: 169–173.
- Hillel A, Robinson L: Diagnostic electromyography for unilateral vocal fold dysmotility. In: Sulica L, Blitzer A (eds.): *Vocal Fold Paralysis*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York 2006: 63–73.
- Ho GY, Leonhard M, Volk GF et al.: Inter-rater reliability of seven neurolaryngologists in laryngeal EMG signal interpretation. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2019; 276: 2849–2856.
- Kneisz L, Volk GF, Mayr W et al.: Objectivation of laryngeal electromyography (LEMG) data: turn number vs. qualitative analysis. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2020; 277: 1409–1415.
- Kochis-Jennings KA, Finnegan EM, Hoffman HT et al.: Laryngeal muscle activity and vocal fold adduction during chest, chestmix, headmix, and head registers in females. *J Voice* 2012; 26: 182–193.
- Krasnodębska P, Domeracka-Kołodziej A, Szkiełkowska A et al.: Assessment of short-term functional voice therapy in patients with unilateral paralysis of the larynx. *Otolaryngol Pol* 2018; 72: 35–43.
- Krasnodębska P, Szkiełkowska A, Jarzyńska-Bučko A et al.: Characteristics of swallowing disorders in patients with dysphonia. *Otolaryngol Pol* 2020; 74: 17–22.
- Krasnodębska P, Wolak T, Szkiełkowska A: Proces tworzenia głosu – przegląd aktualnej literatury przedmiotu. *Now Audiofonol* 2017; 6: 16–20.
- Kumari A, Goyal S, Malik V et al.: A rare case of dysphonia in mitochondrial myopathy. *Int J Otorhinolaryngol Head Neck Surg* 2017; 3: 745–748.
- Kurzyńska E: Neuromonitoring nerwów krtaniowych podnosi jakość operacji tarczycy. Available from: <https://pulsmedycyny.pl/neuromonitoring-nerwow-krtaniowych-podnosi-jakosc-operacji-tarczycy-952429>.
- Li Y, Garrett G, Zelear D: Current treatment options for bilateral vocal fold paralysis: a state-of-the-art review. *Clin Exp Otorhinolaryngol* 2017; 10: 203–212.
- Ludlow CL: Laryngeal reflexes: physiology, technique, and clinical use. *J Clin Neurophysiol* 2015; 32: 284–293.
- Maronian NC, Robinson L, Waugh P et al.: A new electromyographic definition of laryngeal synkinesis. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2004; 113: 877–886.
- Martins MP, Crespo AN, Kimaid PAA et al.: Laryngeal electromyography in patients with Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS): preliminary results. *Clin Neurophysiol* 2018; 129 (Suppl 1): e102.
- Miyachi A, Masuoka H, Nakayama A et al.: Innervation of the cricothyroid muscle by extralaryngeal branches of the recurrent laryngeal nerve. *Laryngoscope* 2016; 126: 1157–1162.
- Mostafa BE, Gadallah NA, Nassar NM et al.: The role of laryngeal electromyography in vocal fold immobility. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 2004; 66: 5–10.
- Paniello RC, Park AM, Bhatt NK et al.: Recurrent laryngeal nerve recovery patterns assessed by serial electromyography. *Laryngoscope* 2016; 126: 651–656.
- Remacle M, Eckel HE (eds.): *Surgery of Larynx and Trachea*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2010: 257–268.
- Rosen CA, Mau T, Remacle M et al.: Nomenclature proposal to describe vocal fold motion impairment. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2016; 273: 1995–1999.
- Sataloff RT, Mandel S, Mann EA et al.: Laryngeal electromyography: an evidence-based review. *Muscle Nerve* 2003; 28: 767–772.
- Sittel C, Stennert E, Thumfart WF et al.: Prognostic value of laryngeal electromyography in vocal fold paralysis. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2001; 127: 155–160.
- Smith LJ, Rosen CA, Niyonkuru C et al.: Quantitative electromyography improves prediction in vocal fold paralysis. *Laryngoscope* 2012; 122: 854–859.
- Statham MM, Rosen CA, Nandedkar SD et al.: Quantitative laryngeal electromyography: turns and amplitude analysis. *Laryngoscope* 2010; 120: 2036–2041.
- Sulica L: Vocal fold paresis: an evolving clinical concept. *Curr Otorhinolaryngol Rep* 2013; 1: 158–162.
- Szkiełkowska A, Krasnodębska P, Miasiewicz B: Zastosowanie elektromiografii w praktyce otolaryngologicznej i foniatrycznej. *Now Audiofonol* 2015; 4 (4): 53–57.
- Tawadros PB, Cordato D, Cathers I et al.: An electromyographic study of parkinsonian swallowing and its response to levodopa. *Mov Disord* 2012; 27: 1811–1815.
- Vaiman M, Eviatar E: Surface electromyography as a screening method for evaluation of dysphagia and odynophagia. *Head Face Med* 2009; 5: 9.
- Vaiman M, Eviatar E, Segal S: Surface electromyographic studies of swallowing in normal subjects: a review of 440 adults. Report 1. Quantitative data: timing measures. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2004a; 131: 548–555.
- Vaiman M, Eviatar E, Segal S: Surface electromyographic studies of swallowing in normal subjects: a review of 440 adults. Report 2. Quantitative data: amplitude measures. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2004b; 131: 773–780.
- Vaiman M, Eviatar E, Segal S: Surface electromyographic studies of swallowing in normal subjects: a review of 440 adults. Report 3. Qualitative data. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2004c; 131: 977–985.
- Varadarajan V, Blumin JH, Bock JM: State of the art of laryngeal electromyography. *Curr Otorhinolaryngol Rep* 2013; 1: 171–177.
- Volk GF, Hagen R, Pototschnig C et al.: Laryngeal electromyography: a proposal for guidelines of the European Laryngological Society. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2012; 269: 2227–2245.

- Volk GF, Pototschnig C, Mueller A et al.: Teaching laryngeal electromyography. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2015; 272: 1713–1718.
- Volk GF, Themel S, Gugatschka M et al.; Working Group on Laryngology and Tracheal Diseases of the German Society of Oto-Rhino-Laryngology, Head and Neck Surgery and the Working Group on Neurology of the European Laryngological Society (ELS): Vocal fold paresis: medical specialists' opinions on standard diagnostics and laryngeal findings. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2018; 275: 2535–2540.
- Wang CC, Chang MH, De Virgilio A et al.: Laryngeal electromyography and prognosis of unilateral vocal fold paralysis – a long-term prospective study. *Laryngoscope* 2015; 125: 898–903.
- Wu AP, Sulica L: Diagnosis of vocal fold paresis: current opinion and practice. *Laryngoscope* 2015; 125: 904–908.
- Xu X, Yang P, Zhuang P et al.: Study on normal laryngeal electromyography of thyroarytenoid muscle, cricothyroid muscle, and posterior cricoarytenoid muscle. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2018; 127: 806–811.
- Yaar I: Turn analysis of the EMG: the amplitude definition of a turn. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1994; 34: 501–508.