

Krzysztof Woźniak, Dagmara Piątkowska

Wykorzystanie elektromiografii w ortopedii szczękowej – systematyczny przegląd badań oryginalnych

The use of electromyography in orthodontics – a systematic study review

Zakład Ortodoncji, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

Streszczenie

Elektromiografia (ang. Electromyography, EMG) jest najbardziej obiektywnym badaniem funkcji i sprawności mięśni na podstawie rejestracji i analizy ich czynności elektrycznej. Ze względu na sposób rejestracji sygnałów wyróżnia się elektromiografię ilościową, wykorzystującą elektrody igłowe i elektromiografię globalną (ang. Surface Electromyography, sEMG), wykorzystującą elektrody powierzchniowe. Celem pracy był przegląd możliwości wykorzystania badań elektromiograficznych w ortopedii szczękowej. Materiał do badań stanowiły prace badawcze opublikowane w latach 2000–2011, zawarte w bazie bibliograficznej National Center for Biotechnology Information (NCBI) – MEDLINE – PubMed. Wykorzystanie EMG w analizie czynności elektrycznej mięśni układu ruchowego narządu żucia umożliwiło poszerzenie wiedzy z zakresu anatomii, fizjologii i patologii narządu żucia, identyfikację pacjentów z objawami zaburzeń czynnościowych oraz pozwoliło na obiektywną ocenę zmian czynności elektrycznej mięśni układu ruchowego narządu i monitoring terapii ortodontycznych.

Słowa kluczowe: EMG, sEMG, ortodoncja.

Abstract

Electromyography (EMG) is the most objective technique for evaluating muscle function and efficiency by detecting and analyzing their electrical activity. Due to the method of recording EMG signals stand out an intramuscular electromyography in which needle electrodes are inserted through the skin and surface electromyography (sEMG) which uses surface electrodes. The aim of this study was to review the possibility of EMG uses in orthodontics. The material were researches published in 2000–2011 in the National Center for Biotechnology Information (NCBI) – MEDLINE – PubMed database. Analysis of the stomatognathic system by the use of EMG expands our knowledge about the anatomy, physiology and pathology of the stomatognathic system, allow for the identification patients with temporomandibular disorders and allow for objective orthodontic treatment monitoring.

Key words: EMG, sEMG, orthodontics.

Wstęp

Elektromiografia (ang. *Electromyography*, EMG) jest najbardziej obiektywnym badaniem funkcji i sprawności mięśni na podstawie rejestracji i analizy ich czynności elektrycznej [1]. Ze względu na sposób rejestracji sygnałów wyróżnia się elektromiografię ilościową, wykorzystującą elektrody igłowe i elektromiografię globalną (ang. *Surface electromyography*, sEMG), wykorzystującą elektrody powierzchniowe [2]. Elektromiografia ilościowa – potocznie nazywana igłową – jest bardziej dokładna i precyzyjna, gdyż pozwala na rejestrację pojedynczych potencjałów czynnościowych poszczególnych jednostek ruchowych (ang. *Motor Unit Action Potencials*, MUAPs). Istotną wadą tej metody jest inwazyjność, związana z umieszczeniem w mięśniach elektrod pod postacią igieł. Elektromiografia globalna pozbawiona jest powyższej wady, ponieważ wykorzystuje elektrody powierzchniowe, które umiejscawiane są na powierzchni skóry. Użycie elektrod powierzchniowych

ma jednak istotny wpływ na czułość i wybiórczość metody. W elektromiografii globalnej dochodzi do akwizycji wielu sygnałów pochodzących z różnych jednostek ruchowych, będących w polu odbioru elektrod i tworzących sumacyjny sygnał interferencyjny.

W ostatnich latach coraz większe zainteresowanie wzbudza elektromiografia wysokiej rozdzielczości przestrzennej (ang. *High-density surface electromyography*, HD-sEMG), która wykorzystuje specjalnie skonstruowane elektrody powierzchniowe, a czułością i selektywnością zbliżona jest do elektromiografii ilościowej. Metoda ta, podobnie jak elektromiografia igłowa, pozwala analizować pojedyncze potencjały czynnościowe jednostek ruchowych oraz dostarcza informacji o prędkości przewodzenia impulsów przez włókna mięśniowe (ang. *Muscle Fiber Conduction Velocity*, MFCV) [3, 4, 5].

Elektromiografia globalna, mimo że mniej dokładna i precyzyjna, jest jednak bardziej rozpowszechniona w ortopedii szczękowej, przede

wszystkim ze względu na podstawowy atrybut, jakim jest nieinwazyjność. Natura znakomitej większości schorzeń układu ruchowego narządu żucia pozwala na tego typu kompromis, z uwagi na relatywnie niewielkie ich konsekwencje (niewielka letalność). Tym samym sEMG jest najczęściej stosowaną metodą umożliwiającą kompleksową ocenę czynności mięśni układu ruchowego narządu żucia i uzupełniającą wyniki subiektywnego badania klinicznego.

Cel pracy

Celem pracy był przegląd możliwości wykorzystania badań elektromiograficznych w ortopedii szczękowej.

Materiał i metody

Materiał do badań stanowiły prace badawcze opublikowane w latach 2000–2011, zawarte w bazie bibliograficznej National Center for Biotechnology Information (NCBI) – MEDLINE – PubMed. W identyfikacji charakterystyk treściowych dokumentów posłużono się deskryptorami źródłowymi, rekomendowanymi przez Index Medicus Subject Headings – MeSH: EMG, sEMG, orthodontics. Kryteria włączenia obejmowały: data publikacji od stycznia 2000 do grudnia 2011, badania doświadczalne przeprowadzone na zwierzętach oraz badania kliniczne. Kryteria wykluczenia obejmowały prace poglądowe.

Wyniki

Użycie deskryptorów źródłowych wraz z ograniczeniem dyrektyw czasowych pozwoliło na kwalifikację 211 artykułów. Zastosowanie obiektywnych kryteriów włączenia i wykluczenia pozwoliło na kwalifikację do dalszej analizy 201 publikacji naukowych.

Wyniki analizy treściowej przedstawiono w tabelach 1 i 2, grupujących i porównujących wybrane prace według tematyki, liczby prac, zakresu i celów badań oraz wniosków.

W tabeli 1. przedstawiono zakres badań podstawowych, wykorzystujących EMG w analizie czynności elektrycznej mięśni układu ruchowego narządu żucia. Najszerszym zakresem badań objęty został fizjologiczny wzór statycznej i dynamicznej czynności mięśni mimicznych twarzy, mięśni żucia oraz mięśni szyi (57 prac). Spośród statycznych czynności najczęściej analizowana była czynność spoczynkowa, która z uwagi na czas jej realizacji w istotny sposób determinuje kondycję zaangażowanych mięśni, co ma niebagatelny wpływ na cały narząd żucia. Kolejną statyczną czynnością, leżącą w centrum zainteresowania badaczy, była czynność maksymalnego skurczu dowolnego (ang. *Maximum Voluntary Contraction*, MVC). Waga oceny tej czynności związana jest z jednej strony z bardzo dużą powtarzalnością maksymalnego skurczu izometrycznego, z drugiej

zaś z jej prognostyczną wymową w aspekcie wydolności mięśni układu ruchowego narządu żucia. Spośród dynamicznych czynności ocenie poddano czynność mięśni podczas ruchów dowolnych oraz podczas ukierunkowanych czynności żucia, przełykania i mówienia. Badaniu sEMG poddawane były przede wszystkim mięśnie żwacze i przednia część mięśni skroniowych, ze względu na łatwą dostępność anatomiczną oraz brak konieczności specjalnego przygotowania. Analiza czynności elektrycznej włókien środkowych i tylnych mięśni skroniowych wymagała usunięcia owłosienia, co nie było akceptowane przez pacjentów.

W pozycji spoczynkowej żuchwy najbardziej aktywne okazały się mięśnie skroniowe, podczas gdy powierzchniowa i głęboka część żwaczy była najbardziej aktywna podczas ruchu przywodzenia żuchwy [6]. W ruchu odwodzenia oraz ruchach bocznych żuchwy dominowały mięśnie dwubrzuścowe i mostkowo-obojczykowo-sutkowe [7]. Badania wykazały ponadto dużą zmienność osobniczą w koordynacji poszczególnych mięśni przy wykonywaniu określonych czynności [8].

Przeгляд licznych badań oryginalnych nie dostarcza jednoznacznej odpowiedzi co do modyfikującego znaczenia płci badanych na aktywność mięśni układu ruchowego narządu żucia w spoczynku i podczas maksymalnego skurczu dowolnego. Cha i wsp. [9], na podstawie pomiarów sEMG przeprowadzonych w grupie 105 osób, nie zaobserwowali różnic w czynności spoczynkowej mięśni żwaczy i skroniowych u przedstawicieli obojga płci. Odmienne wyniki podali Pinho i wsp. [10], którzy odnotowali wyższą spoczynkową aktywność mięśni skroniowych i żwaczy u kobiet, aniżeli u mężczyzn. Natomiast Moreno i wsp. [11] wykazali wyższą aktywność tylko mięśni żwaczy w MVC u mężczyzn, podczas gdy czynność mięśni skroniowych była podobna u badanych obojga płci. Z kolei Ferrario i wsp. [12] nie wykazali różnic w wartościach średnich potencjałów mięśni żucia podczas MVC u kobiet i mężczyzn.

Wnikliwy i krytyczny przegląd badań oryginalnych sugeruje, że związek między płcią a aktywnością elektryczną mięśni modyfikowany jest na wielu poziomach, takich jak rodzaj badanej aktywności, rodzaj mięśni, wiek badanych oraz różnice w metodyce badań.

Kolejnym poddanym ocenie czynnikiem, determinującym czynność elektryczną mięśni narządu żucia, była zmienność aktywności motorycznej, zależna od pory dnia. Wyniki badań Tabe i wsp. [13], Saifuddin i wsp. [14] oraz Hiyama i wsp. [15] potwierdziły jednak w sposób jednoznaczny jedynie podstawowe teoretyczne oczekiwania dotyczące zmniejszonej aktywności badanych mięśni podczas spoczynku nocnego.

Zagadnieniem ze wszech miar istotnym, w którego analizie wykorzystywano badania elektromiograficzne, była diagnostyka zaburzeń czynno-

Tabela 1. Zakres badań podstawowych wykorzystujących EMG w analizie czynności elektrycznej mięśni układu ruchowego narządu żucia**Table 1.** Range of fundamental studies using EMG for analysis of electric function of muscles of motor system of masticatory organ

Lp.	Tematyka	Liczba prac	Zakres badań	Cele badań	Zakres wnioskowania
1.	Charakterystyka czynności układu ruchowego narządu żucia	57	<ul style="list-style-type: none"> – Badania doświadczalne przeprowadzane na zwierzętach. – Badania kohortowe. – Badania randomizowane. 	<ul style="list-style-type: none"> – Charakterystyka czynności elektrycznej mięśni układu ruchowego narządu żucia w testach statycznych i dynamicznych. – Ocena czynników modyfikujących aktywność elektryczną mięśni. 	<ul style="list-style-type: none"> – Największa aktywność części powierzchniowej i głębokiej mięśni żwaczy podczas ruchu przywodzenia żuchwy. – Największa aktywność mięśni skroniowych w pozycji spoczynkowej żuchwy. – Dominująca aktywność mięśni dwubrzuścowych podczas ruchu odwodzenia. – Różne wyniki badań dotyczące płci, jako determinanty aktywności elektrycznej mięśni układu ruchowego narządu żucia. – Różnice w wytrzymałości mięśniowej u obojga płci. – Wpływ wieku na aktywność elektryczną mięśni. – Wpływ konsystencji i jakości pokarmów na czynność elektryczną mięśni. – Determinujący wpływ pory dnia na czynność elektryczną mięśni.
2.	Diagnostyka zaburzeń czynnościowych układu ruchowego narządu żucia (ang. Temporomandibular Dysfunction, TMD)	23	<ul style="list-style-type: none"> – Badania kohortowe. – Badania doświadczalne przeprowadzone na zwierzętach. – Badania randomizowane. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ocena czynników etiologicznych TMD. – Ocena czynności elektrycznej mięśni w testach statycznych i dynamicznych u pacjentów z TMD. 	<ul style="list-style-type: none"> – Wzrost aktywności spoczynkowej mięśni żucia u pacjentów z TMD. – Spadek aktywności mięśni żucia podczas maksymalnego zaciskania zębów u pacjentów z TMD. – Wpływ przeszkód zwarciovych na czynność elektryczną mięśni narządu żucia.
3.	Wpływ morfologii na czynność układu ruchowego narządu żucia	18	<ul style="list-style-type: none"> – Badania kohortowe. – Przypadki kliniczne. – Badania randomizowane. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ocena wpływu zaburzeń sagitalnych, wertykalnych i transversalnych na czynność elektryczną mięśni układu ruchowego narządu żucia w spoczynku i podczas prób czynnościowych. – Ocena wpływu wad zgryzu na czynność mięśni narządu żucia. 	<ul style="list-style-type: none"> – Spadek aktywności mięśni skroniowych i żwaczy podczas zaciskania zębów u pacjentów z zaburzeniami wertykalnymi - zgryzy otwarte. – Największa aktywność mięśni skroniowych podczas połykania i żucia u pacjentów z II klasą Angle'a. – Największa aktywność mięśni skroniowych i żwaczy podczas MVC u pacjentów z III klasą Angle'a. – Wpływ zgryzu krzyżowego na czynność elektryczną mięśni żucia.
4.	Analiza różnych procedur metodologicznych badań EMG	6	<ul style="list-style-type: none"> – Badania kohortowe. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ocena powtarzalności i dokładności badań sEMG. – Ocena założeń metodologicznych badań sEMG. – Przedstawienie założeń elektromiografii wysokiej rozdzielczości przestrzennej (HD-sEMG) 	<ul style="list-style-type: none"> – Możliwość dokładnej analizy aktywności mięśni układu ruchowego narządu żucia przy pomocy sEMG podczas czynności statycznych i dynamicznych. – Zwiększenie powtarzalności pomiarów sEMG poprzez zastosowanie odpowiednich szablonów i maskownic. – Duża podatność elektrod powierzchniowych na zmiany impedancji układu pomiarowego. – Poprawa powtarzalności badań sEMG poprzez właściwe usytuowanie elektrod i zachowanie stałej, optymalnej, 20 mm odległości. – Możliwość analizy pojedynczych potencjałów czynnościowych jednostek ruchowych przy pomocy HD-sEMG. – Wysoka skuteczność rozpoznawcza HD-sEMG.
5.	Wpływ hormonów na czynność elektryczną mięśni układu ruchowego narządu żucia	3	<ul style="list-style-type: none"> – Badania doświadczalne przeprowadzone na zwierzętach. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ocena wpływu hormonów płciowych na czynność elektryczną mięśni bródkowo-językowych u szczurów. 	<ul style="list-style-type: none"> – Spadek aktywności elektrycznej mięśni po zabiegu usunięcia jajników u szczurów.
6.	Czynność elektryczna mięśni u pacjentów z zespołami wad wrodzonych	3	<ul style="list-style-type: none"> – Badania kohortowe. – Badania randomizowane. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ocena aktywności mięśni u pacjentów z niedorozwojem połowiczym twarzy. – Analiza aktywności mięśni biorących udział w połykaniu u pacjentów z rozszczepem wargi i podniebienia. 	<ul style="list-style-type: none"> – Atonia mięśni po stronie niedorozwoju połowiczego twarzy. – Istotna różnica aktywności mięśni tarczowo-gnykowych u pacjentów z rozszczepem w porównaniu do zdrowej grupy kontrolnej.

Tabela 2. Wykorzystanie EMG w ocenie i monitorowaniu ortodontycznych procedur leczniczych**Table 2.** Use of EMG in evaluation and monitoring of orthodontic treatment procedures

Lp.	Tematyka	Liczba prac	Zakres badań	Cele badań	Zakres wnioskowania
1.	Ocena skuteczności leczenia pacjentów z symptomami zaburzeń czynnościowych układu ruchowego narządu żucia (TMD)	31	– Badania kohortowe.	<ul style="list-style-type: none"> – Ocena skuteczności terapii różnymi rodzajami aparatów i szyn okluzyjnych. – Weryfikacja optymalnego czasu trwania terapii leczniczej. 	<ul style="list-style-type: none"> – Spadek spoczynkowej aktywności mięśni narządu żucia po terapii szynami okluzyjnymi. – Wyższa koordynacja symetrycznych mięśni narządu żucia po terapii szynami okluzyjnymi. – Wpływ parametrów technicznych szyn akrylowych na czynność elektryczną mięśni. – Jednakowy efekt terapeutyczny szyn wykonanych w relacji centralnej i w maksymalnym zaguzkowaniu. – Większy spadek napięcia mięśni u bruksistów w pozycji spoczynkowej po terapii szynami akrylowymi w porównaniu do grupy leczonej szynami elastycznymi. – Konieczność prowadzenia terapii szynami okluzyjnymi, przez co najmniej 3 miesiące. – Spadek wskaźnika momentu siły u pacjentów ze zgryzem głębokim i TMD po terapii aparatem typu Functional Generator Bite – FGB.
2.	Wpływ zdejmowalnych aparatów czynnościowych i trenerów ortodontycznych na zmianę czynności elektrycznej mięśni układu ruchowego narządu żucia	20	<ul style="list-style-type: none"> – Badania kohortowe. – Badania prospektywne. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ocena czynności elektrycznej mięśni narządu żucia przed, w trakcie i po zakończeniu leczenia. – Ocena aktywności mięśni w spoczynku oraz w różnych próbach czynnościowych, bez i z obecnością aparatu w jamie ustnej. – Ocena skuteczności działania różnych rodzajów aparatów czynnościowych. – Ocena optymalnego czasu trwania podjętej terapii leczniczej. 	<ul style="list-style-type: none"> – Różnicowane wyniki badań dotyczące zmian aktywności mięśni żwaczy i skroniowych podczas terapii trenerami ortodontycznymi. – Eliminacja dysfunkcji oddychania podczas terapii czynnościowej. – Różnicowane wyniki badań dotyczące zmiany czynności elektrycznej mięśni narządu żucia podczas terapii zdejmowanymi aparatami czynnościowymi w spoczynku i w MVC. – Wzrost aktywności spoczynkowej mięśni żucia po 6 miesiącach terapii u pacjentów ze zgryzem otwartym. – Spadek aktywności spoczynkowej mięśni żucia podczas leczenia u pacjentów ze zgryzem głębokim. – Konieczność noszenia ruchomych aparatów czynnościowych w ciągu dnia i nocy. – Większa skuteczność aparatów elastycznych w porównaniu do aparatów o sztywnej konstrukcji. – Wpływ predyktorów ilościowych określających zgryz konstrukcyjny na zmianę czynności elektrycznej mięśni.
3.	Ocena wpływu leczenia chirurgicznego na czynność elektryczną mięśni narządu żucia	12	<ul style="list-style-type: none"> – Przypadki kliniczne. – Badania kohortowe. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ocena aktywności elektrycznej mięśni układu ruchowego narządu żucia przed i po leczeniu chirurgicznym. 	<ul style="list-style-type: none"> – Poprawa aktywności mięśni żwaczy i skroniowych u pacjentów z III klasą szkieletową po leczeniu chirurgicznym. – Brak zmian efektywności żucia i czynności elektrycznej mięśni żwaczy i skroniowych podczas maksymalnego zaciskania zębów i żucia po leczeniu chirurgicznym u pacjentów z II klasą szkieletową. – Wzrost aktywności mięśni żwaczy i skroniowych u pacjentów z klasą II/I po leczeniu aparatem stałym oraz leczeniu dystrykcyjnym w obrębie wyrostka zębodołowego żuchwy.
4.	Wpływ stałych aparatów czynnościowych na zmianę napięcia mięśni układu ruchowego narządu żucia	11	<ul style="list-style-type: none"> – Badania doświadczalne przeprowadzone na zwierzętach. – Badania kohortowe. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ocena adaptacji nerwo-mięśniowej i zmian szkieletowych zachodzących podczas leczenia. – Ocena skuteczności terapii poszczególnymi rodzajami aparatów leczniczych. – Weryfikacja optymalnego czasu trwania terapii czynnościowej. 	<ul style="list-style-type: none"> – Początkowy spadek, a następnie wzrost aktywności mięśni żwaczy i skroniowych podczas leczenia aparatem Herbst a oraz Forsus Fatigue Resistant Device w MVC. – Zmiany szkieletowe i adaptacja nerwo-mięśniowa po 6-miesięcznej terapii stałymi aparatami czynnościowymi. – Adaptacja mięśniowa podczas terapii poprzedza zachodzące zmiany morfologiczne.
5.	Ocena skuteczności terapeutycznej TENS	5	<ul style="list-style-type: none"> – Badanie randomizowane. – Badania kohortowe. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ocena wpływu przeskorzonej stymulacji nerwów na mięśnie narządu żucia. 	<ul style="list-style-type: none"> – Spadek aktywności mięśni żwaczy i skroniowych po stymulacji.
6.	Diagnostyka i leczenie obturacyjnego bezdechu sennego (OSA) przy pomocy aparatów ortodontycznych	4	<ul style="list-style-type: none"> – Badania kohortowe. – Badania randomizowane. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ocena wspomaganie terapii OSA przy pomocy szyn protruzyjnych. 	<ul style="list-style-type: none"> – Wzrost aktywności mięśni żwaczy przy pomiarach wykonanych po usytuowaniu szyn wysuwających żuchwę (ang. Mandibular Advancement Split, MAS). – Korzystny wpływ szyn na cykl snu.

cd. tabeli 2.

7.	Stabilność leczenia ortodontycznego	3	– Badania kohortowe. – Przypadki kliniczne.	– Ocena wpływu aparatów retencyjnych na czynność elektryczną mięśni. – Ocena aktywności mięśni po leczeniu stałymi aparatami ortodontycznymi.	– Wpływ aparatów retencyjnych na czynność elektryczną mięśni narządu żucia i szyi. – Brak zmian osiągniętej równowagi mięśniowej po roku od zakończeniu leczenia przy pomocy stałych aparatów ortodontycznych.
8.	Czynność elektryczna mięśni po leczeniu aparatami do szybkiej rozbudowy szczęki	2	– Badania prospektywne. – Badanie kohortowe.	– Ocena napięcia mięśni układu ruchowego narządu żucia po leczeniu aparatami do szybkiej rozbudowy szczęki (RME).	– Wzrost spoczynkowej aktywności mięśni żwaczy i skroniowych po leczeniu.
9.	Wpływ wyciągów zewnątrzustnych na czynność elektryczną mięśni żucia	1	– Badanie kohortowe.	– Ocena wpływu aparatu Headger na czynność elektryczną mięśni nadgnykowych.	– Wykazano wpływ aparatu typu Headger na czynność elektryczną mięśni nadgnykowych.
10.	Aktywność mięśni po leczeniu zderzakiem wargowym (ang. lip bumper)	1	– Badanie prospektywne.	– Ocena aktywności mięśni podczas terapii.	– Wzrost aktywności elektrycznej mięśnia okrężnego ust po usytuowaniu aparatu w jamie ustnej w spoczynku i podczas połykania.
11.	Wpływ stałych aparatów ortodontycznych na mięśnie narządu żucia	1	– Badanie kohortowe.	– Ocena wpływu terapii na zmianę czynności elektrycznej mięśni żwaczy.	– Wpływ stałych aparatów na aktywność elektryczną mięśni żwaczy.

ściowych układu ruchowego narządu żucia (ang. *Temporomandibular Dysfunction*, TMD) – łącznie 23 prace. Wykorzystaniu EMG w tym zakresie sprzyja powszechność występowania zaburzeń czynnościowych układu ruchowego narządu żucia, jak i ich duże obciążenie w wymiarze zarówno społecznym i ekonomicznym [16]. Kolejnym ważnym aspektem tego zagadnienia jest złożoność etiologii zaburzeń, obejmującej z jednej strony nieprawidłowości zwarciove [17], a z drugiej szerokie spektrum zjawisk psychoemocjonalnych [18]. Li i wsp. [17] wykazali istotny wpływ przeszkód zwarciowych zarówno na aktywność elektryczną mięśni żucia, jak i samopoczucie pacjentów. Już po 3 dniach od usytuowania przeszkód o grubości 0,5 mm na zębie trzonowym żuchwy pacjenci skarżyli się na dolegliwości bólowe w okolicy skroniowej po tej stronie. Wykazano ponadto wzrost spoczynkowej aktywności mięśnia skroniowego po stronie przeszkody zwarciowej oraz spadek aktywności zarówno mięśni żwaczy i skroniowych podczas maksymalnego skurczu izometrycznego. Ferrario i wsp. [19] odnotowali ponadto wzrost asymetrii w MVC mięśni mostkowo-sutkowo-obojczykowych po usytuowaniu przeszkód zwarciowych o grubości 200 μ m.

Wysoko oceniono również skuteczność rozpoznawczą badań sEMG w identyfikacji chorych z TMD. Pinho i wsp. [10] zaobserwowali hipertonię mięśni narządu żucia w pozycji spoczynkowej żuchwy u osób z obiektywnymi i/lub subiektywnymi objawami zaburzeń czynnościowych oraz spadek aktywności mięśni żwaczy i skroniowych podczas maksymalnego skurczu izometrycznego u pacjentów z TMD w porównaniu do zdrowych badanych. Podobne wnioski przedstawili Tartaglia i wsp. [20]. Dodatkowym czynnikiem, identyfikującym cho-

rych z TMD była asymetria czynności elektrycznej jednoimiennych mięśni w MVC [20].

Pomiary elektromiograficzne umożliwiły również precyzyjną ocenę wariacji czynności mięśni układu ruchowego narządu żucia w zależności od morfologii twarzowej części czaszki (18 publikacji). Odnotowano mniejszą aktywność mięśni skroniowych, żwaczy, okrężnych ust i dwubrzuścowych u pacjentów ze zgryzem otwartym częściowym przednim [21]. U pacjentów z II klasą Angle'a zaobserwowano największą aktywność mięśni skroniowych podczas połykania i żucia. Z kolei pacjenci z klasą III osiągnęli najwyższą aktywność mięśni skroniowych i żwaczy podczas czynności maksymalnego skurczu izometrycznego [11].

Interesujące i wnikliwe badania zmian czynności spoczynkowej w zależności od morfologii twarzowej części czaszki przedstawili Cha i wsp. [9]. Autorzy opisali wybiórczy związek spoczynkowej aktywności włókien przednich mięśni skroniowych z parametrami sagitalnymi i wertykalnymi budowy twarzowej części czaszki. Odnotowano istotnie większą czynność spontaniczną mięśni skroniowych w grupie pacjentów z III klasą szkieletową (ANB < 0°) i dotylną rotacją żuchwy (SN-GoMe > 36°). Ponadto stwierdzono, że spoczynkowa aktywność mięśni skroniowych wzrastała wraz ze wzrostem inklinacji żuchwy do przedniego dołu czaszki (SN-GoMe). Tym samym u badanych z III klasą szkieletową (kąt ANB < 0°) stwierdzono wyższą aktywność elektryczną włókien przednich mięśni skroniowych w porównaniu do innych grup, wyodrębnionych na podstawie morfologicznych parametrów sagitalnych i wertykalnych.

Dużo uwagi poświęcono także zagadnieniom wpływu wad transwersalnych na aktywność elek-

tryczną mięśni. Moreno i wsp. [11], u pacjentów ze zgryzem krzyżowym, zaobserwowali zmniejszenie aktywności mięśni żwaczy w MVC po stronie wady. Z kolei Tecco i wsp. [22] zauważyli zwiększenie spoczynkowej aktywności mięśni skroniowych w podobnej grupie pacjentów. Ponadto, w grupie tej odnotowano znaczne zwiększenie aktywności mięśni mostkowo-obojczykowo-sutkowych w MVC. Zauważono także zwiększenie liczby cykli żucia po stronie zgryzu krzyżowego w odniesieniu do strony niedotkniętej tym zaburzeniem zgryzowym [23].

Analiza wyników przedstawionych prac bezspornie potwierdziła wpływ morfologii na zmiany czynności elektrycznej mięśni układu ruchowego narządu żucia, tłumacząc istotę wzajemnych powiązań anatomiczno-fizjologicznych poszczególnych elementów układu ruchowego narządu żucia. Szeroki zakres badań podstawowych wykorzystujących EMG w analizie czynności elektrycznej mięśni układu ruchowego narządu żucia przyczynił się w tym aspekcie do znacznego poszerzenia wiedzy z zakresu anatomii, fizjologii i patologii narządu żucia.

Osobną i bardzo liczną grupę prac (91 artykułów) stanowiły badania dotyczące wykorzystania EMG do oceny i monitorowania terapii ortodontycznych (Tabela 2).

Wiodące miejsce w tym aspekcie zajęły badania, mające na celu weryfikację skuteczności procedur leczniczych, stosowanych u pacjentów z symptomami zaburzeń czynnościowych układu ruchowego narządu żucia (31 artykułów). Analizie poddawano najczęściej skuteczność terapii przy pomocy szyn akrylowych. Po leczeniu zaobserwowano znaczący spadek aktywności mięśni żwaczy i skroniowych w pozycji spoczynkowej żuchwy [24]. Ponadto, w badanej grupie pacjentów odnotowano również znacznie większą symetrię współdziałania mięśni żwaczy i skroniowych podczas maksymalnego zaciskania zębów [25]. Pomiary elektromiograficzne wykorzystywane były także w tworzeniu pętli sprzężeń zwrotnych, stanowiących immanentną część metody biofeedback, której założenie oparte jest na relaksacji mięśni i zwiększeniu świadomości kinestetycznej pacjentów, uznając tym samym nadrzędną rolę czynników psychologicznych w etiologii TMD [26].

Kolejną grupę zagadnień tworzyły badania prowadzone nad wpływem ortodontycznej terapii czynnościowej na aktywność elektryczną mięśni narządu żucia (wpływ ruchomych aparatów czynnościowych – 20 artykułów; wpływ stałych aparatów czynnościowych – 11 artykułów). Spośród ruchomych aparatów czynnościowych ocenie poddawano przede wszystkim aktywator i jego liczne modyfikacje oraz trainery ortodontyczne. Ciekawe rozważania na temat działania klasycznego aparatu Andresena przedstawili Erdem i wsp. [27]. Do badań zakwalifikowano 25 dzieci z tyłozgryzem i wychyleniem zębów siecznych (kąt ANB > 5°), bez symptomów zaburzeń ze strony stawów

skroniowo-żuchwowych. Badanych podzielono na dwie grupy. Grupę badaną, liczącą 15 osób, stanowiły dzieci poddane terapii aktywatorem. Grupę kontrolną tworzyło 10 nie poddanych leczeniu dzieci. Średni wiek w obu grupach był porównywalny i wynosił odpowiednio 11,3 oraz 11,0 lat. Wyniki badań sEMG, wykonanych po 12 miesiącach terapii wskazały, że aktywność mięśni żwaczy i skroniowych podczas czynności maksymalnego zaciskania, żucia i przetykania wzrosła znacząco w obu badanych grupach. Wzrost ten był jednak bardziej zaznaczony w grupie dzieci poddanych leczeniu. Ponadto, tylko w grupie poddanej terapii czynnościowej zaobserwowano wzrost czynności elektrycznej mięśnia okrężnego ust przy gwizdaniu, co ma znaczenie w przypadkach jego hipotonii, współistniejącej u pacjentów z dotylną wadą zgryzu i wychyleniem zębów siecznych szczęki.

Saccucci i wsp. [28] weryfikowali wpływ prefabrykowanego trenera ortodontycznego (Occlus-o-Guide, fir. Ortho-Tain Inc., USA) na aktywność mięśni u 9-letnich pacjentów z tyłozgryzem powikłanym zgryzem głębokim i współistniejącą niekompetencją czynnościową warg. Wyniki porównano z pomiarami wykonanymi w nieleczonej grupie kontrolnej, w podobnym wieku i z prawidłową okluzją. Pacjenci po przeprowadzonym półrocznym leczeniu osiągnęli podobną czynność elektryczną badanych mięśni, jak osoby z grupy kontrolnej, u których nie zarejestrowano zmian aktywności mięśniowej przez cały czas obserwacji.

Z kolei Tartaglia i wsp. [29] poddali weryfikacji skuteczność leczenia ortodontycznego przy pomocy czynnościowego pozycjonera silikonowego (Pre-Orthodontic Trainer – T4K, fir. MRC, Australia). Leczeniu poddano 10 chłopców w wieku 8–13 lat z tyłozgryzem. Po 6-miesięcznej terapii, u większości pacjentów zredukowany został nagryz poziomy i pionowy oraz odnotowano prawidłową relację w zakresie zębów trzonowych (I klasę Angle'a). Znormalizowana aktywność mięśni żwaczy i skroniowych w MVC nie zmieniła się istotnie po leczeniu. Ponadto nie zaobserwowano różnic w oszacowanych w MVC wartościach wskaźników aktywności, toru i symetrii po 6 miesiącach terapii. Brak zmian autorzy tłumaczą faktem wysokiej symetrii mięśni już przed leczeniem. Ponadto wyniki badań potwierdziły, że prawidłowa, w omawianym zakresie, czynność mięśni przed terapią nie została pod jej wpływem zaburzona.

Badania elektromiograficzne posłużyły również do określenia najlepszej pory użytkowania zdejmowanych czynnościowych aparatów ortodontycznych. W tym celu porównywano czynność elektryczną mięśni bez oraz w obecności aparatów w jamie ustnej o różnych porach dnia. Wyniki badań przeprowadzonych przez Tabe i wsp. [13] potwierdziły niską efektywność nocnego stosowania aparatów czynnościowych. Podobne wnioski przedstawili Hiyama i wsp. [15], na podstawie ana-

lizy aktywności elektrycznej mięśni żwaczy i nadgrykowych podczas snu w trakcie terapii aparatem czynnościowym – bionatorem. Pomiaru EMG, wykonane w pierwszych trzech godzinach snu bez aparatu oraz w kolejnych trzech z aparatem w jamie ustnej, nie wykazały znaczących zmian czynności elektrycznej mięśni podczas MVC. Wyniki badań skłoniły autorów do stwierdzenia, że nocna terapia aparatem wydaje się niewystarczająca dla uzyskania właściwej zmiany napięcia mięśni układu ruchowego narządu żucia, będącej głównym celem ortopedii czynnościowej.

Kolejną grupę prac, wykorzystujących pomiary elektromiograficzne w ocenie skuteczności terapii leczniczych, stanowiły badania porównujące aktywność mięśni przed i po terapii prowadzonej z użyciem stałych aparatów czynnościowych. Wyniki tych badań wydają się być bardziej obiektywne z uwagi na brak modyfikującego wpływu współpracy pacjenta na efekt terapii. Analizie poddano aparat Herbsta [30, 31] oraz jego kolejne modyfikacje – Fatigue Resistant Device (FRD) [32]. Wyniki prac wykazały, że optymalny czas terapii, potrzebny do uzyskania oczekiwanej adaptacji nerwowo-mięśniowej wynosi 6 miesięcy.

Leung i wsp. [30] poddali półrocznej obserwacji pacjentów w wieku 10–15 lat, leczonych aparatem Herbsta. Autorzy odnotowali początkowy spadek (po 2 miesiącach terapii) aktywności mięśni żwaczy w MVC, po czym jej wzrost przewyższający wartości wyjściowe. Podobne wnioski przedstawili Sood i wsp. [32] na podstawie pomiarów sEMG przeprowadzonych u 10 dziewczynek w wieku 10–14 lat, z tyłozgryzem z wychyleniem zębów siecznych, bez zaburzeń czynnościowych układu ruchowego narządu żucia, które poddano leczeniu stałym aparatem czynnościowym Forsus™ (ang. Fatigue Resistant Device – FRD, firmy 3M Unitek, USA). Aktywność badanych mięśni podczas maksymalnego skurczu dowolnego, podobnie jak we wcześniej cytowanym badaniu, początkowo malała, a następnie wykazywała tendencję wzrostową. Początkowy spadek aktywności mięśni w MVC autorzy tłumaczyli brakiem stabilności okluzji, spowodowanej przez wysunięcie żuchwy, wymuszone działaniem aparatu czynnościowego.

Interesujące wyniki badań, dotyczące wpływu terapii czynnościowej na mięśnie układu ruchowego narządu żucia podczas terapii aparatem Herbsta, przedstawili Hiyama i wsp. [33]. Unikatość tych badań związana jest z oceną czynności mięśni skrzydłowych bocznych, będących niezwykle rzadko przedmiotem rozważań, z uwagi na ich lokalizację i wynikające z tego faktu trudności pomiarowe. W pozycji spoczynkowej zauważono znaczący wzrost aktywności badanych mięśni bezpośrednio po zacementowaniu aparatu w jamie ustnej, a następnie jej spadek po 4–6 miesiącach od rozpoczęcia leczenia. Natychmiast po usunięciu aparatu odnotowano ponowny, choć

niewielki, jej wzrost. Ponadto przeprowadzone pomiary metryczne na zdjęciach bocznych czaszki pozwoliły stwierdzić, że adaptacja mięśniowa podczas terapii aparatem Herbsta zachodzi dość szybko (w ciągu 4–6 miesięcy) i poprzedza zmiany morfologiczne, zachodzące w obrębie stawów skroniowo-żuchwowych.

Wyniki poddanych ocenie prac nie upoważniają do wskazania jednoznacznych odpowiedzi, co do wpływu poszczególnych terapii czynnościowych na aktywność elektryczną mięśni układu ruchowego narządu żucia. Trudność ta wynika w znacznej mierze z różnorodności przyjętej metodyki badań, tj. doboru badanych grup, konstrukcji stosowanych aparatów, czasu, po którym dokonano oceny efektów terapii oraz estymacji samej czynności elektrycznej mięśni.

Ważny nurt badań stanowiły rozważania nad wpływem zabiegów ortognatycznych na czynność mięśni układu ruchowego narządu żucia (12 artykułów). Wyniki tych badań wskazują na wzrost aktywności elektrycznej mięśni żucia podczas maksymalnego skurczu izometrycznego oraz podczas żucia u pacjentów po chirurgicznej korekcie klasy III [34]. Nie uzyskano jednak znacznej poprawy efektywności żucia i napięcia badanych mięśni podczas maksymalnego skurczu dowolnego po leczeniu ortodontyczno-chirurgicznym u pacjentów z II klasą szkieletową [35].

Niewielka liczba badań – zaledwie 3 prace, dotyczących stabilności leczenia ortodontycznego i oceny czynności elektrycznej mięśni po okresie aktywnej terapii, silnie sugeruje konieczność dalszych badań w tym kierunku, w celu oszacowania ryzyka nawrotu zaburzeń po zakończeniu leczenia.

Wnioski

1. Pomiaru elektromiograficzne wykorzystywane są w wielu dziedzinach ortopedii szczękowej w celu zwiększenia wiarygodności wyników prowadzonych badań.
2. Szeroki repertuar badań podstawowych, wykorzystujących EMG w analizie czynności elektrycznej mięśni układu ruchowego narządu żucia, przyczynił się do znacznego poszerzenia wiedzy z zakresu anatomii, fizjologii i patologii narządu żucia.
3. Wzrost zainteresowania elektromiografią w ortopedii szczękowej w ostatnich latach związany jest z potrzebą efektywnego i świadomego leczenia przyczynowego, zapewniającego najlepsze i najbardziej stabilne efekty, obciążone jednocześnie najmniejszym ryzykiem oddziaływań jatrogennych.
4. Wysoka sprawność rozpoznawcza badań elektromiograficznych umożliwia identyfikację pacjentów z objawami zaburzeń układu ruchowego narządu żucia.
5. Wprowadzenie elektromiografii do repertuaru metod diagnostycznych umożliwiło obiektyw-

ną ocenę zmian czynności elektrycznej mięśni układu ruchowego narządu i monitoring terapii ortodontycznych.

Piśmiennictwo

- [1] Witkowska A. Zarys historii elektromiografii. Znaczenie elektromiografii globalnej w diagnostyce neurofizjologicznej. *Nowiny Lekarskie*. 2008;77(3):227–230.
- [2] Woźniak K, Lipski M, Lichota D, Buczkowska-Radlińska J. Elektromiografia powierzchniowa w stomatologii: system EMG 8 – Bluetooth. *Implantoprot*. 2008;3(32):52–55.
- [3] Lapatki BG, van Dijk JP, Jonas IE, Zwarts MJ, Stegman DF. A thin, flexible multielectrode grid for high-density surface EMG. *J App Physiol*. 2004;96(1):327–336.
- [4] Drost G, Stegman D, Engelen B, Zwarts M. Clinical applications of high-density surface EMG: A systematic review. *J Electromyogr Kinesiol*. 2006;16(6):589–602.
- [5] Lapatki BG, Oostenveld R, van Dijk P, Jonas IE, Zwarts MJ, Stegman DF. Optimal placement of bipolar surface EMG electrodes in the face based on single motor unit analysis. *Psychophysiol*. 2010;1,47(2):229–314.
- [6] Moreno I, Sanchez T, Ardizzone I, Aneiros F, Celemin A. Electromyographic comparison between clenching, swallowing and chewing in jaw muscles with varying occlusal parameters. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2008;1,13(3):207–212.
- [7] Hiyama S, Asakawa S, Ono T, Mochida-Matsubara M, Ohyama K. Evaluation of stomatognathic function in orthodontic treatment. *World J Orthod*. 2005;6(4):343–354.
- [8] Castoflorio T, Farina D, Bottin A, Piancino MG, Bracco P, Marletti R. Surface EMG of jaw elevator muscles: effect of electrode location and inter-electrode distance. *J Oral Rehabil*. 2005;32, 411–417.
- [9] Cha BK, Kim CH, Baek S.H. Skeletal sagittal and vertical facial types and Electromyographic activity of the masticatory muscle. *Angle Orthod*. 2007;77(3):463–470.
- [10] Pinho JC, Caldas FM, Mora MJ, Santana-Penin U. Electromyographic activity in patients with temporomandibular disorders. *J Oral Rehabil*. 2000;27(11):985–990.
- [11] Moreno I, Sanchez T, Ardizzone I, Aneiros F, Celemin A. Electromyographic comparison between clenching, swallowing and chewing in jaw muscles with varying occlusal parameters. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2008;13(3):207–213.
- [12] Ferrario VF, Sforza C, Colombo A, Ciusa V. An electromyographic investigation of masticatory muscles symmetry in normo-occlusion subjects. *J Oral Rehabil*. 2000;27(1):33–40.
- [13] Tabe H, Ueda HM, Kato M, Nagaoka K, Nakashima Y, Shikata N, Tanne K. Influence of functional appliances on masticatory muscle activity. *Angle Orthod*. 2005;75(4):616–624.
- [14] Saifuddin M, Miyamoto K, Ueda HM, Shikata N, Tanne K. A quantitative electromyographic analysis of masticatory muscle activity in usual daily life. *Oral Dis*. 2001;7(2):94–100.
- [15] Hiyama S, Kuribayashi G, Ono T, Ishiwata Y, Kuroda T. Nocturnal Masseter and Suprahyoid Muscle Activity Induced by Wearing a Bionator. *Angle Orthod*. 2002;72(1):48–54.
- [16] Woźniak K. Zaburzenia czynnościowe układu ruchowego narządu żucia w świetle wybranych metod diagnostyki instrumentalnej. Rozprawa habilitacyjna. Wyd. Hogben, Szczecin. 2009;21:305–308.
- [17] Li J, Jiang T, Feng H, Wang K, Zhang Z, Ishikawa T. The electromyographic activity of masseter and anterior temporalis during orofacial symptoms induced by experimental occlusal highspot. *J Oral Rehabil*. 2008;35(2):79–87.
- [18] Rosales VP, Ikeda K, Hizaki K, Naruo T, Nozoe S, Ito G. Emotional stress and brux-like activity of the masseter muscle in rats. *Eur J Orthod*. 2002;24(1):107–117.
- [19] Ferrario VF, Sforza C, Dellavia C, Tartaglia GM. Evidence of an influence of asymmetrical occlusal interferences on the activity of the sternocleidomastoid muscle. *J Oral Rehabil*. 2003;30(1):34–40.
- [20] Tartaglia GM, Moreira Rodrigues da Silva MA, Bottini S, Sforza C, Ferrario VF. Masticatory muscle activity during maximum voluntary clench in different research diagnostic criteria for temporomandibular disorders (RDC/TMD) groups. *Man Ther*. 2000;13(5):434–440.
- [21] Yousefzadeh F, Shcherbaty V, King GJ, Huang GJ, Liu ZJ. Cephalometric and electromyographic study of patients of East African ethnicity with and without anterior open bite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010;137(2):236–246.
- [22] Tecco S, Tetè S, Festa F. Electromyographic evaluation of masticatory, neck, and trunk muscle activity in patients with posterior crossbites. *Eur J Orthod*. 2010;32(6):747–752.
- [23] Piancino MG, Farina D, Talpone F, Merlo A, Bracco P. Muscular activation during reverse and non-reverse chewing cycles in unilateral posterior crossbite. *Eur J Oral Sci*. 2009;117(2):122–128.
- [24] Ferrario VF, Sforza G, Tartaglia GM, Dellavia C. Immediate effect of a stabilization splint on masticatory muscle activity in temporomandibular disorders patients. *J Oral Rehabil*. 2002;29(9):810–815.
- [25] Botelho AL, Silva BC, Gentil FH, Sforza C, da Silva MA. Immediate effect of the resilient splint evaluated using surface electromyography in patients with TMD. *Cranio*. 2010;28(4):266–273.
- [26] Glaros AG. Temporomandibular disorders and facial pain: a psychophysiological perspective. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2008;33(3):161–171.
- [27] Erdem A, Kilic N, Eröz B. Changes in soft tissue profile and electromyographic activity after activator treatment. *Aust Orthod J*. 2009;25(2):116–122.
- [28] Saccucci M, Tecco S, Ierardo G, Luzzi V, Festa F, Polimeni A. Effects of interceptive orthodontics on orbicular muscle activity: a surface electromyographic study in children. *J Electromyogr Kinesiol*. 2011;21(4):665–671.
- [29] Tartaglia GM, Grandi G, Mian F, Sforza C, Ferrario V.F. Non-invasive 3D facial analysis and surface electromyography during functional pre-orthodontic therapy: a preliminary report. *J Appl Oral Sci*. 2009;17(5):487–494.
- [30] Leung DK, Hägg U. An electromyographic investigation of the first six months of progressive mandibular advancement of the Herbst appliance in adolescents. *Angle Orthod*. 2001;71(3):177–184.
- [31] Du X, Hägg U. Muscular adaptation to gradual advancement of the mandible. *Angle Orthod*. 2003;73(5):525–531.
- [32] Sood S, Kharbada OP, Duggal R, Sood M, Gulati S. Muscle response during treatment of Class II Division 1 malocclusion with Forsus Fatigue Resistant Device. *J Clin Pediatr Dent*. 2011;35(3):331–338.
- [33] Hiyama S, Ono PT, Ishiwata Y, Kuroda T, McNamara J.A. Neuromuscular and skeletal adaptations following mandibular forward positioning induced by the Herbst appliance. *Angle Orthod*. 2000;70(6):442–453.
- [34] Trawitzki LV, Dantas RO, Mello-Filho FV, Mariques W Jr. Effect of treatment of dentofacial deformities on the electromyographic activity of masticatory muscles. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2006;35(2):170–173.
- [35] Van den Braber W, van der Glas H, van der Bilt A, Bosman F. Masticatory function in retrognathic patients, before and after mandibular advancement surgery. *J Oral Maxillofac Surg*. 2004;62(5):549–554.

Adres do korespondencji:

Zakład Ortodontcji, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie
ul. Powstańców Wlkp. 72, 70-111 Szczecin
tel.: 91 46 61 702, fax: 91 46 61 703
e-mail: dagmara_piatkowska@onet.eu