

Modelowa ocena aktywności mięśni układu stomatognatycznego podczas ruchu odwodzenia i przywodzenia*

Model assessment of the muscular activity of the stomatognathic system during abduction and adduction

Jerzy Margielewicz¹, Edward Kijak², Wiesław Chladek¹, Bogumiła Frączak², Danuta Lietz-Kijak³

¹Z Katedry Logistyki i Transportu Przemysłowego Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej w Katowicach
Kierownik: prof. dr hab. A. Śladkowski

²Z Katedry i Zakładu Protetyki Stomatologicznej Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego w Szczecinie
Kierownik: prof. dr hab. n. med. B. Frączak

³Z Katedry i Zakładu Propedeutyki i Fizykodiagnostyki Stomatologicznej Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego w Szczecinie
Kierownik: prof. dr hab. n. med. K. Lisiecka-Opalko

HASŁA INDEKSOWE:

biomechanika, modelowanie, układ stomatognatyczny

KEY WORDS:

biomechanics, modelling, stomatognathic system

Streszczenie

W pracy przeprowadzono badania modelowe, których celem była ocena aktywności mięśni układu stomatognatycznego podczas ruchu odwodzenia i przywodzenia żuchwy. W celu realizacji problemu badawczego sformułowano przestrzenny model kinematyki żuchwy. Danymi wyjściowymi do przeprowadzenia obliczeń numerycznych, były zarejestrowane podczas badań klinicznych, trajektorie głów wyrostków kłykciowych oraz zębów siecznych. Na ich podstawie obliczono współrzędne konfiguracyjne, odwzorowujące ruchy odwodzenia i przywodzenia żuchwy, które stanowiły podstawę dalszych obliczeń. W zaproponowanym podejściu, aktywność mięśni żucia oraz nadgnykowych, otrzymuje się jako wynik zmiany długości włókien mięśniowych w wybranych momentach czasowych. W tym celu wprowadzono bezwymiarowy współczynnik aktywności, który zdefiniowano jako stosunek pracy wykonanej przez dany mięsień do pracy wykonanej przez wszystkie mięśnie.

Summary

In this study the representative tests were carried out, their aim was to evaluate the muscular activity of the stomatognathic system during abduction and adduction of the mandible. To perform the study a spatial model of kinematics of the mandible was developed. The trajectories of the tops of condylar processes and the incisive teeth, recorded during the clinical research, were adopted as the criteria for conducting numerical calculations. Based on these criteria the configuration coordinates, mapping the movement of mandibular abduction and adduction, provided the ground for the subsequent calculations. Due to the approach proposed, the activation of the masticator and suprahyoid muscles is a result of the changes in the length of fibres at selected time points. Therefore, a non-dimensional activity coefficient was introduced, and denoted as the ratio of the work of a particular muscle to the activity of all the muscles.

* Pracę wykonano w ramach projektu badawczego N N518 384237 finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Wstęp

Współczesna stomatologia wykorzystuje wiele technik diagnostycznych do oceny sprawności narządu żucia. Metody te poza niezaprzeczalnymi zaletami, cechują się również określonymi ograniczeniami. Kompletny obraz biomechanicznych warunków funkcjonowania narządu żucia jest możliwy do uzyskania dzięki zastosowaniu badań modelowych. Szczegółowy opis zjawisk zachodzących w obrębie układu stomatognatycznego wymaga zastosowania zasad mechaniki, dzięki którym otrzymuje się nowe jakościowo informacje, które są niedostępne przy użyciu dotychczas stosowanych technik diagnostycznych. W celu numerycznego odwzorowania rzeczywistych ruchów żuchwy koniecznym staje się sformułowanie wiarygodnych modeli obliczeniowych. Biomechanika układu stomatognatycznego jest na tyle złożona, że zawarta w nim ilość informacji przekracza możliwość jednoczesnego ich uwzględnienia. Precyzyjne określenie celu badań pozwala na przyjęcie takich założeń modelowych, które są istotne z punktu widzenia rozwiązywanego zadania badawczego.

Przestrzenny opis ruchu żuchwy wymaga wprowadzenia globalnego układu odniesienia, przy czym najczęściej stosowany jest układ kartezjański. Przyjęcie takiego porządku pozwala w prosty sposób definiować zależności geometryczne, odwzorowujące budowę anatomiczną twarzoczaszki oraz matematycznie opisać trajektorie ruchu charakterystycznych punktów pomiarowych żuchwy. Z biomechanicznego punktu widzenia, rozróżnia się dwa podstawowe rodzaje ruchów realizowanych przez żuchwę. Do pierwszej grupy zalicza się ruchy artykulacyjne, przebiegające przy stałym kontakcie międzyzębnym oraz ruchy wolne (1, 2, 3). W niniejszej pracy podjęto próbę matematycznego odwzorowania pracy mięśni podczas ruchu odwodzenia i przywodzenia żuchwy, który jest wynikiem aktywności mięśni żwaczowych oraz nadgnykowych.

Pomimo wielu prób nie opracowano do tej pory jednoznacznej metody, przy użyciu której możliwe jest precyzyjne określenie wielkości sił generowanych przez poszczególne mięśnie układu stomatognatycznego. Stosowane kryteria optymalizacyjne, takie jak minimum wysiłku mięśni, czy też mini-

mum obciążenia stawów (4), dostarczają wyników w małym stopniu zgodnych z obserwacjami klinicznymi (5, 6). Zdaniem autorów do prawidłowego rozwiązania zagadnienia aktywności mięśni żwaczowych może być użyteczna analiza kinematyczna ruchu żuchwy. Dane liczbowe dotyczące zmian długości mięśni układu stomatognatycznego mogą być podstawą do zdefiniowania kryteriów aktywności mięśni żwaczowych, a w konsekwencji pełnego rozwiązania zagadnienia równowagi biostatycznej narządu żucia.

Metodyka

Analiza danych zgromadzonych podczas badań klinicznych wymaga numerycznego ich przetworzenia. W większości przypadków, sygnały odwzorowujące ruch elementów układu stomatognatycznego zapisywane są w postaci współrzędnych kartezjańskich. Zarejestrowane w takiej postaci wyniki badań klinicznych nie dostarczają jednoznacznych ilościowych i jakościowych danych o stanach biomechanicznych narządu żucia, z tego też względu poddaje się je odpowiedniemu przetwarzaniu numerycznemu. Jedną z metod numerycznego przetwarzania polega na obliczeniu współrzędnych konfiguracyjnych. Współrzędne konfiguracyjne to najmniejsza możliwa liczba wielkości kinematycznych, przy użyciu których jednoznacznie definiuje się orientację i położenie przestrzenne żuchwy. W celu wyznaczenia współrzędnych konfiguracyjnych należy dysponować odpowiednio sformułowanym przestrzennym modelem kinematyki układu stomatognatycznego. W proponowanym podejściu ocenę aktywności mięśni narządu żucia uzyskuje się jako wynik zmiany ich długości w wybranych chwilach czasu. W celu ilościowego i jakościowego opisu aktywności mięśni żwaczowych oraz nadgnykowych zdefiniowano bezwymiarowy współczynnik aktywności (1). Współczynnik ten charakteryzuje stosunek pracy badanego włókna mięśniowego do pracy wszystkich włókien uwzględnianych w badaniu modelowym.

$$w_i = \frac{\Delta l_i F_i}{\sum_{i=1}^n \Delta l_i F_i} \quad (1)$$

gdzie:

Δl_i – zmiana długości włókna mięśniowego, F_i – maksymalna siła jaką jest w stanie wygenerować mięsień, n – liczba włókien mięśniowych uwzględnianych w badaniu modelowym.

W analogiczny sposób, można zdefiniować współczynniki aktywności włókien mięśniowych położonych po obu stronach żuchwy (2).

$$w_P = \frac{\sum_{i=1}^{0.5 \cdot n} \Delta l_i^P \cdot F_i^P}{\sum_{i=1}^m \Delta l_i^P \cdot F_i^P + \sum_{i=1}^m \Delta l_i^L \cdot F_i^L},$$

$$w_L = \frac{\sum_{i=1}^{0.5 \cdot n} \Delta l_i^L \cdot F_i^L}{\sum_{i=1}^m \Delta l_i^P \cdot F_i^P + \sum_{i=1}^m \Delta l_i^L \cdot F_i^L} \quad (2)$$

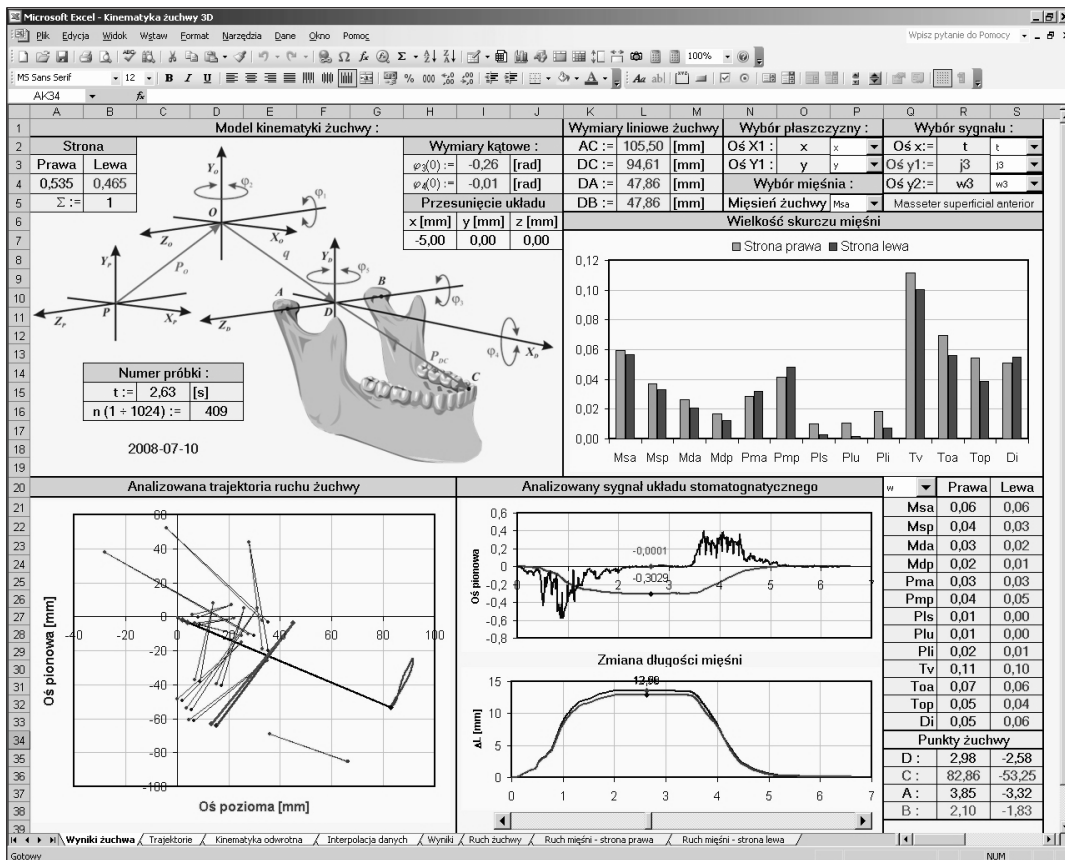
gdzie:

P, L – indeksy określające stronę żuchwy, P – strona prawa, L – strona lewa.

W celu usprawnienia obliczeń numerycznych opracowano specjalistyczny arkusz kalkulacyjny „Kinematyka 3D”, przy użyciu którego można sprawnie wykonać dowolną analizę kinematyczną narządu żucia (ryc. 1).

Opracowany arkusz kalkulacyjny „Kinematyka 3D” umożliwia graficzną wizualizację ułożenia włókien mięśniowych oraz żuchwy w płaszczyznach: strzałkowej, czołowej oraz poziomej, tj.:

- identyfikację podstawowych wymiarów, charakteryzujących budowę geometryczną żuchwy.
- identyfikację współrzędnych konfiguracyjnych modelu kinematyki układu stomatognatycznego.
- obliczenie wielkości skurczu lub rozkurczu włókien mięśniowych w dowolnej chwili czasu.
- ocenę aktywności mięśni układu stomatognatycznego.
- ustalenie związków przyczynowo-skutkowych, zachodzących pomiędzy współzależnymi konfiguracyjnymi.



Ryc. 1. Zrzut ekranu arkusza kalkulacyjnego „Kinematyka 3D”.

- eksport wyników obliczeń do zewnętrznych arkuszy kalkulacyjnych, w celu dalszej analizy.

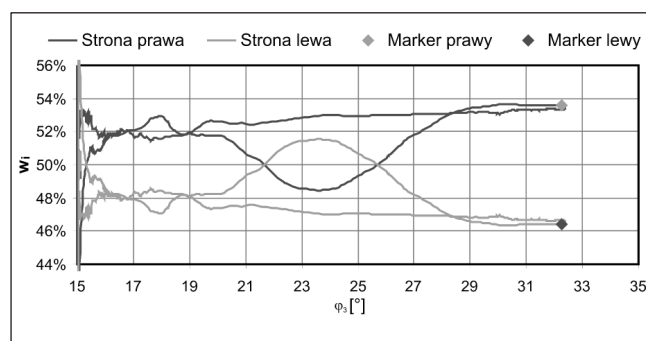
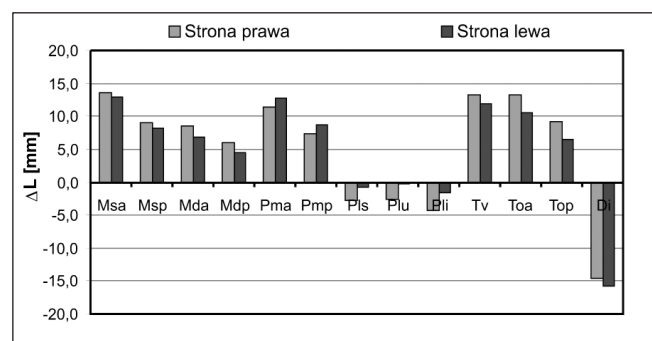
Istotną zaletą opracowanego arkusza kalkulacyjnego, jest duża liczba obliczanych wielkości kinematycznych, które są pomocne podczas odwzorowywania stanów biomechanicznych układu stomatognatycznego, dostarczając klinicyście pełnego obrazu o funkcjonowaniu układu mięśniowego podczas ruchu żuchwy.

Badania modelowe

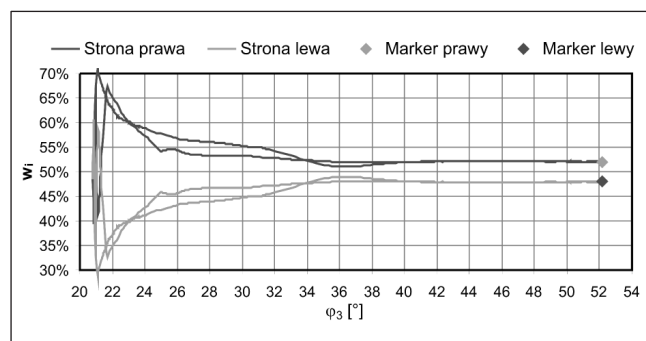
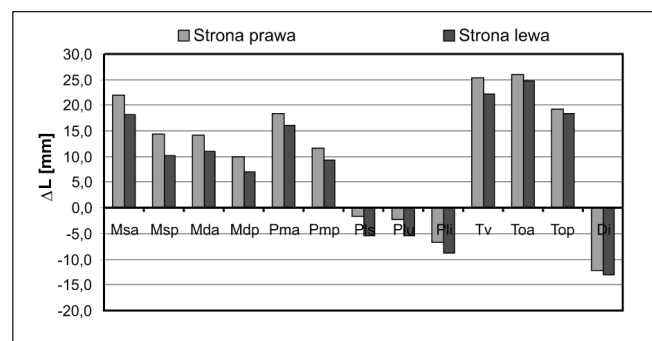
W pracy zamieszczono wyniki badań modelowych aktywności mięśni układu stomatognatycznego podczas ruchu odwodzenia i przywodzenia żuchwy. Ruchy żuchwy zarejestrowano przy użyciu elektronicznego systemu Zebris w Katedrze i Zakładzie Protetyki Stomatologicznej Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego w Szczecinie. Na podstawie zarejestrowanych w badaniach klinicznych, trajektorii ruchu odwodzenia i przywodzenia punktów pomiarowych żuchwy, wyznaczono współrzędne konfiguracyjne modelu kinematycznego. Obliczone następnie z kinematyki odwrotnej żuchwy, współrzędne konfiguracyjne były podstawą do wyznaczenia zmian długości mięśni układu stomatognatycznego oraz ich aktywności. Charakterystyki odwzo-

rowujące aktywność narządu żucia, obliczono dla różnych wartości kąta rozwarcia łuków zębowych. Na ryc. 2 przedstawiono wyniki badań modelowych pacjenta X1. W wyniku przeprowadzonych badań klinicznych stwierdzono trzaski w obu stawach skroniowo-żuchwowych, z większym nasileniem w obrębie lewego stawu. Na podstawie zarejestrowanych trajektorii ruchu odwodzenia i przywodzenia stwierdzono asymetryczną pracę stawów skroniowo-żuchwowych. Maksymalny zakres rozwarcia łuków zębowych, mierzony pomiędzy krawędziami zębów siecznych wynosi ok. 28,7 mm, natomiast przemieszczenia głów wyrostków kłykciowych w kierunku doprzednim przyjmowały wartości odpowiednia: dla prawej głowy żuchwy 4,7 mm oraz lewej 2,7 mm. Zarejestrowana trajektoria ruchu odwodzenia i przywodzenia w płaszczyźnie czołowej, ulega odchyleniu w stronę lewego stawu skroniowego, przyjmując wartość ok. 3 mm.

Na ryc. 3 przedstawiono wyniki badań modelowych aktywności mięśni układu stomatognatycznego pacjenta X2. Podczas badań klinicznych nie zaobserwowano objawów akustycznych w obrębie stawów skroniowo-żuchwowych, pacjent nie uskarżał się również na dolegliwości bólowe. Zarejestrowane trajektorie ruchu odwodzenia i



Ryc. 2. Wyniki badań modelowych mięśni pacjenta X1: a) zmiana długości mięśni, b) aktywność mięśni (EMG).



Ryc. 3. Wyniki badań modelowych mięśni pacjenta X2: a) zmiana długości mięśni, b) aktywność mięśni (EMG).

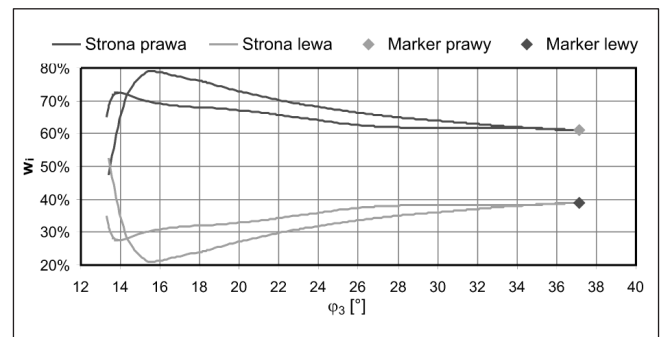
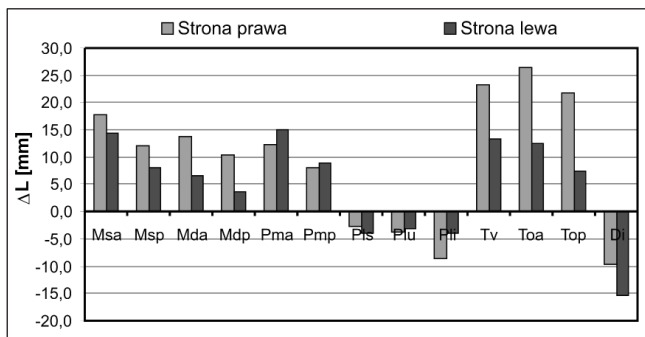
przywodzenia potwierdziły lewostronne zbaczanie żuchwy. Zakres rozwarcia łuków zębowych wynosi ok. 51 mm. Zapisy przemieszczeń głów wyrostków kłykciowych wykazują natomiast nieznaczną asymetrię pracy w stawach. Świadczą o tym różnice w przemieszczeniu głów żuchwy w kierunku doprzodnym, wynoszące dla prawego wyrostka kłykciowego 15,2 mm oraz 15,9 mm dla lewego.

Na rycinie 4 przedstawiono zmianę długości mięśni układu stomatognatycznego oraz charakterystyki aktywności mięśni zlokalizowanych po stronie lewej i prawej żuchwy pacjenta X3, który uległ urazowi złamania lewego wyrostka kłykciowego. Wykonane badania czynnościowe aparatem Zebris wykazały znaczną asymetrię pracy stawów skroniowo-żuchwowych. Asymetrię tę bardzo dobrze obrazują przemieszczenia głów wyrostków kłykciowych w kierunku doprzodnym, wynoszące odpowiednio 19,8 mm dla prawej głowy żuchwy oraz 5,3 mm dla lewej. Zarejestrowana trajektoria ruchu odwodzenia i przywodzenia zębów siecznych w płaszczyźnie czołowej, wyraźnie zbacza w stronę lewego stawu skroniowo-żuchwowego, przy czym maksymalna wartość odchylenia od płaszczyzny przyśrodkowej wynosi ok. 11 mm. Maksymalny zakres rozwarcia łuków zębowych, mierzony pomię-

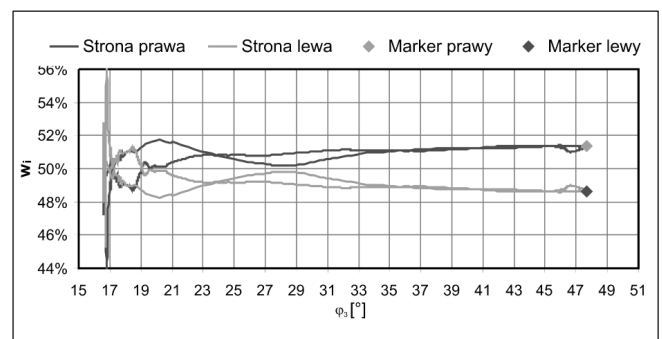
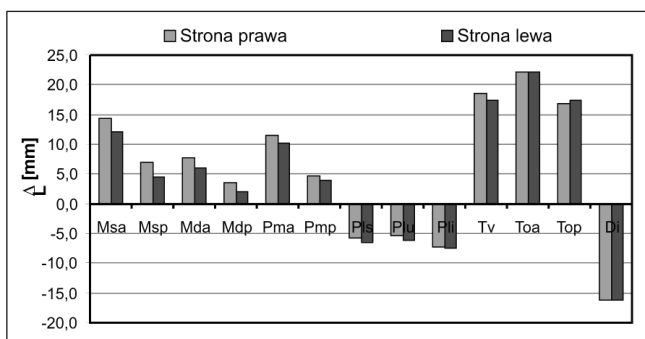
dzy krawędziami siecznymi wynosi ok. 41,3 mm.

Na rycinie 5 przedstawiono charakterystykę aktywności oraz zmianę długości mięśni układu stomatognatycznego pacjenta X4. Trzydziestoletnia pacjentka w dwudziestym roku życia była leczona ortodontycznie aparatem stałym. W chwili badania nie uskarżała się na jakiegokolwiek dolegliwości związane z funkcjonowaniem układu stomatognatycznego. Zarejestrowane trajektorie ruchu odwodzenia i przywodzenia w płaszczyźnie czołowej, wykazały asymetryczną pracę stawów skroniowo-żuchwowych. Zakres przemieszczeń wyrostków kłykciowych w kierunku doprzodnym wynosił, odpowiednio dla prawej głowy żuchwy 14,9 mm oraz 17 mm dla lewej. Maksymalna odległość zmierzona pomiędzy krawędziami zębów siecznych w rozwarcie szczęk wynosiła 45,6 mm.

Zakładając teoretycznie, że jeżeli układ stomatognatyczny funkcjonuje w sposób idealny, wówczas współczynniki aktywności mięśni zlokalizowanych po prawej i lewej stronie żuchwy powinny, niezależnie od stopnia rozwarcia łuków zębowych, przyjmować stałe wartości równe 0.5. Takie wartości współczynników aktywności (2), świadczą o symetrycznym funkcjonowaniu mięśni żwaczowych i nadgnykowych.



Ryc. 4. Wyniki badań modelowych mięśni pacjenta X3: a) zmiana długości mięśni, b) aktywność mięśni.



Ryc. 5. Wyniki badań modelowych mięśni pacjenta X4: a) zmiana długości mięśni, b) aktywność mięśni.

Podsumowanie

Przedstawiona w pracy metodyka umożliwia ocenę aktywności mięśni układu stomatognatycznego. Prostota metody sprawia, że jest efektywnym narzędziem, pozwalającym na przeprowadzenie badań modelowych narządu żucia w zakresie jego kinematyki. Na podstawie przeprowadzonych badań modelowych oraz analiz własnych, można sformułować następujące wnioski ogólne:

- Charakterystyki przedstawiające zmianę aktywności mięśni (ryc. 2b do 5b), zlokalizowanych po obydwóch stronach żuchwy można traktować jako jedno z kryteriów, które wskazuje stronę odpowiedzialną za nieprawidłowe funkcjonowanie układu stomatognatycznego.
- Zdefiniowane zależnościami (2), kryterium diagnostyczne może być stosowane jedynie podczas analizy ruchu odwodzenia, przywodzenia, wysuwania oraz cofania żuchwy. Kryterium to nie może być brane pod uwagę podczas analizy ruchów laterotruzyjnych, gdyż w trakcie ich wykonywania mięśnie układu stomatognatycznego z definicji funkcjonują asymetrycznie.
- Charakterystyki zamieszczone na rycinach od 2b do 5b, należy interpretować w następujący sposób. Jeżeli wartość jednego ze współczynników w_p lub w_L , przyjmuje wartości mniejsze od 0,5, wówczas przyczynę wywołującą dysfunkcję układu stomatognatycznego należy poszukiwać po tej stronie żuchwy.
- Ujemne wartości zmian długości mięśni, które przedstawiono na rycinach od 2a do 5a oznaczają, że mięśnie ulegają skróceniu. Natomiast dodatnie wartości charakteryzują zakresy wydłużenia mięśni.
- Wykresy słupkowe, opisujące zmianę długości mięśni, sporządzono podczas maksymalnego rozwarcia łuków zębowych.

Zamieszczone w pracy wyniki badań modelowych są asumptem do próby oszacowania wartości sił mięśniowych na podstawie zarejestrowanych pa-

rametrów kinematycznych ruchu żuchwy. Ponadto prezentowana metodyka badań może być przydatnym narzędziem diagnostycznym, umożliwiającym w sposób ilościowy i jakościowy ocenę stanu biomechanicznego narządu żucia. Celowym jest kontynuacja badań modelowych w zakresie kinematyki układu stomatognatycznego, przy czym szczególną uwagę należy zwrócić na: budowę geometryczną stawów skroniowo-żuchwowych, głów wyrostków kłykciowych oraz ruch krążków w przestrzeni stawowej.

Piśmiennictwo

1. *Kijak E.*: Cyfrowo-komputerowe obrazowanie zaburzeń zwarciowo-zgryzowych oraz dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych aparatem Arcusdigma. Rozprawa doktorska, Pomorska Akademia Medyczna, Szczecin 2004.
2. *Kleinrok M.*: Rozpoznawanie i leczenie czynnościowych zaburzeń układu ruchowego narządu żucia. Wyd. Śląskiej Akademii Medycznej, Katowice 1990.
3. *Okeson J. P.*: Leczenie dysfunkcji narządu żucia i zaburzeń zwarcia. Wyd. Czelej, Lublin 2005.
4. *Osborn J. W., Barager F. A.*: Predicted Pattern of Human muscle activity during clenching derived from a computer assisted model: Symmetric vertical bite forces. *J. Biomechanics*, 1985, 18, 8, 599-612.
5. *Ide Y., Nakazawa K.*: Anatomical Atlas of the Temporomandibular Joint. Quintessence Publishing Co. Ltd., Osaka 1991.
6. *Kober K.*: Zahnärztliche Prothetik. BD. II: Behandlungsplan, Kronenzahnersatz, Bückenahnersatz, Partielle Prothesen, Vollprothesen. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York 1980.

Zaakceptowano do druku: 25.I.2012 r.

Adresy autorów: 70-111 Szczecin, al. Powstańców Wielkopolskich 72.

© Zarząd Główny PTS 2012.