

UNIwersytet Medyczny
IM. KAROLA MARCINKOWSKIEGO W POZNANIU
WYDZIAŁ MEDYCZNY

mgr Weronika Kawałkiewicz

**Wykorzystanie Dopplerowskiej wibrometrii laserowej
w diagnostyce dysfunkcji stawu skroniowo-żuchwowego**

Rozprawa na stopień doktora nauk medycznych,
wykonana w Zakładzie Biofizyki Katedry Biofizyki UMP
oraz w Katedrze i Klinice Chirurgii Stomatologicznej i Periodontologii UMP

Promotor:

prof. zw. dr hab. Leszek Kubisz

prof. dr hab. n. med. Jerzy Sokalski

POZNAŃ 2020

Pragnę złożyć serdeczne podziękowania

*Panu Profesorowi Leszkowi Kubiszowi
i Panu Profesorowi Jerzemu Sokalskiemu
za życzliwość, poświęcony czas i ogromną pomoc.*

*Rodzinie i przyjaciołom
za wyrozumiałość i wsparcie.*

Spis treści

I. WSTĘP	6
1. LASEROWA WIBROMETRIA DOPPLEROWSKA	6
1.1. Efekt Dopplera	7
1.2. Zasada działania laserowego wibrometru Dopplerowskiego	11
1.3. Zastosowanie laserowej wibrometrii Dopplerowskiej	12
1.3.1. Medycyna	12
1.3.2. Przemysł	15
1.3.3. Sztuka	16
1.3.4. Nauki biologiczne	16
2. STAW SKRONIOWO-ŻUCHWOWY	17
2.1. Ogólna budowa stawów	17
2.2. Anatomia, fizjologia i patofizjologia stawów skroniowo-żuchwowych	17
2.3. Staw skroniowo-żuchwowy a inne stawy	21
3. DYSFUNKCJE STAWÓW SKRONIOWO-ŻUCHWOWYCH	22
3.1. Podział dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych	23
4. DIAGNOSTYKA DYSFUNKCJI STAWÓW SKRONIOWO-ŻUCHWOWYCH	28
5. CZASZKA	33
5.1. Budowa czaszki - wielkość	33
5.2. Badania czaszki	34
II. CEL PRACY	37
III. MATERIAŁ I METODY	38
1. OPIS GRUPY BADANEJ	38
2. METODY BADAWCZE	41
2.1. Badania kliniczne – palpacyjne	41
2.2. Laserowa wibrometria Dopplerowska	43
2.2.1. Szybka Transformata Fouriera	47
2.2.2. Wyznaczenie I i II harmonicznej oraz amplitud	50
2.2.3. Statystyka	51
3. PRZEBIEG BADANIA	52
IV. WYNIKI BADAŃ	54
V. PODSUMOWANIE WYNIKÓW	84
VI. Dyskusja	86
VII. WNIOSKI	94
VIII. STRESZCZENIE	96
IX. ABSTRACT	97
X. SPIS TABEL	98
XI. SPIS RYCIN	100
XII. PIŚMIENNICTWO	102
XIII. ZGODA KOMISJI BIOETYCZNEJ	110

Stosowane skróty

LDV – ang. Laser Doppler vibrometry, laserowa wibrometria Dopplerowska,

BS – ang. Beam scattering, rozdzielacz wiązek,

EKG – ang. Electrocardiography, elektrokardiografia,

SSŻ – stawy skroniowo-żuchwowe,

SSŻD – dysfunkcje stawów skroniowo-żuchwowych,

OPG – ang. Orthopantomography, zdjęcie ortopantomograficzne,

MRI – ang. Magnetic resonance imaging, rezonans magnetyczny,

CT – ang. Computed Tomography, tomografia komputerowa,

CBCT – ang. Cone Beam Computed Tomography, tomografia wiązki stożkowej,

IC – ang. Cranial index, indeks cefaliczny,

RTG – ang. Radiography, zdjęcie rentgenowskie,

SMV – ang. Submentovertex, zdjęcie cefalometryczne podbródkowo-ciemieniowe,

NP – ang. Normal people, pacjenci ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi,

DDR – ang. Dick displacement with reduction, przemieszczenie krążka stawowego z redukcją,

DDNR – ang. Disk displacement without reduction, przemieszczenie krążka stawowego bez redukcji,

ESG – ang. Energy Sistem Headphones, słuchawki z systemem oszczędzania energii,

FFT – ang. Fast Fourier Transformation, szybka transformata Fouriera,

LP – staw lewy, wysuwanie żuchwy do przodu,

PP – staw prawy, wysuwanie żuchwy do przodu,

LB – staw lewy, przesuwanie żuchwy na bok,

PB – staw prawy, przesuwanie żuchwy na bok,

LO – staw lewy, opuszczanie i podnoszenie żuchwy,

PO – staw prawy, opuszczanie i podnoszenie żuchwy,

SL – staw lewy,

SP – staw prawy,

SL zdr – staw lewy u pacjentów ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi,

SP zdr – staw prawy u pacjentów ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi,

SL ch – staw lewy u pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych,

SP ch – staw prawy u pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych.

I. WSTĘP

Szacuje się, że zaburzenia morfologiczne i czynnościowe narządu żucia dotyczą aż 25% populacji [1]. Wśród zaburzeń układu stomatognatycznego najczęściej wymienia się próchnicę, periodontopatię oraz dysfunkcje stawów skroniowo-żuchwowych. Te ostatnie uznawane są za trzecią najczęściej występującą chorobę społeczną [2, 3]. Według źródeł literaturowych dysfunkcje stawów skroniowo-żuchwowych dotyczą aż 50-70%, inne opracowania mówią nawet o 80% populacji [4, 5]. Zespół bólowy stawów skroniowo-żuchwowych dotyczy 4-12% osób [6]. Dysfunkcje stawów skroniowo-żuchwowych odnoszą się głównie ludzi dorosłych, jednak mogą one również występować u osób młodych, a także dzieci [7–9]. Tak liczna grupa osób z zaburzeniami funkcji stawów skroniowo-żuchwowych wymaga wprowadzenia szerokiej diagnostyki i terapii. Rozpoznanie dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych oparte jest o badanie podmiotowe i przedmiotowe oraz badania dodatkowe. Podczas badania podmiotowego wykorzystuje się między innymi wskaźnik Helkimo, który pozwala na subiektywną ocenę stopnia dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych opisanym przez pacjenta [2]. Do metod diagnostycznych stawów skroniowo-żuchwowych należy również rezonans magnetyczny czy też tomografia komputerowa [2, 10–13]. Innymi badaniami diagnostycznymi stawów skroniowo-żuchwowych są badania wykorzystujące ultradźwięki, Zebris JMA oraz ARCUS-digma [2, 14]. Częstość obserwowanych w praktyce stomatologicznej zaburzeń czynności stawów skroniowo-żuchwowych przyczyniła się do opracowania szeregu metod diagnostycznych i skłoniła mnie do podjęcia badania nad wykorzystaniem lasera w bezinwazyjnej i bezkontaktowej oraz bezpiecznej dla pacjenta wibrometrii Dopplerowskiej, która może okazać się pomocna w wykrywaniu dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych [15, 16].

1. Laserowa wibrometria Dopplerowska

Początki laserowej wibrometrii Dopplerowskiej (LDV) sięgają 1964 roku. Metoda ta ma swój początek w pomiarach prędkości płynu, które zostały podane przez Yeh'a i Cummis'a [17].

Laserowa wibrometria Dopplerowska stanowi metodę pomiaru drgań, które można zdefiniować jako powtarzające się ruchy. Otaczają one człowieka ze wszystkich stron, ich przykładami mogą być: wahający się żyrandol, drgające struny gitary, drgające membrany w słuchawce telefonicznej bądź w głośniku czy też drgania cząsteczek powietrza.

Ruch drgający opisywany jest przez jego częstość (częstotliwość), czyli liczbę pełnych drgań jakie wykonane są w czasie jednej sekundy. Wszystkie ruchy, które powtarzają się w regularnych odstępach czasu, nazywane są ruchami okresowymi [18].

Laserowa wibrometria Dopplerowska znajduje szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach, począwszy od medycyny, przez przemysł, a skończywszy na sztuce. Metoda ta stanowi doskonałą alternatywę do pomiarów drgań wykonywanych za pomocą akcelerometrów. Co wynika z tego, iż laserowa wibrometria Dopplerowska jest metodą bezkontaktową. Dzięki czemu wyeliminować można wpływ temperatury czy masy czujników pomiarowych. Ponadto czujniki pomiarowe nie zawsze mogą zostać umieszczone bezpośrednio na powierzchni badanego obiektu. Metoda działania laserowej wibrometrii Dopplerowskiej opiera się na zjawisku Dopplera [15, 16].

Obecnie na rynku dostępnych jest kilka rodzajów wibrometrów. W pomiarach został zastosowany typ PDV-100. Pozwala on na zmierzenie drgań w danym punkcie badanego obiektu. Prócz PDV-100 na rynku dostępnych jest kilka rodzajów wibrometrów, m.in. różnicowe, laserowe 3D, obrotowe, skanujące czy też skanujące 3D. Wibrometr różnicowy umożliwia wykonanie pomiaru drgań obiektu znajdującego się na powierzchni innego drgającego obiektu. W przypadku wibrometru 3D możliwe jest wykonanie pomiaru drgań w trzech kierunkach, dzięki trzem niezależnym głowicom. Kolejnym typem są wibrometry skanujące, które umożliwiają pomiar drgań całej powierzchni według ustalonej mapy punktów. Mogą one występować również w wersji 3D czy też w postaci mikroskopowego wibrometru skanującego. Ostatnim jest wibrometr obrotowy, który umożliwia pomiary drgań skrętnych czy przemieszczenia kąтового [19].

1.1. Efekt Dopplera

Efekt Dopplera po raz pierwszy opisany został przez Christiana Dopplera w 1842 roku [20, 21]. W swojej pracy przedstawił on zmianę koloru światła pod wpływem ruchu gwiazd podwójnych [20]. Efekt Dopplera opisuje, w jaki sposób zmiana częstotliwości fali zależy od prędkości źródła i obserwatora [21]. Poniższe równanie wskazuje wszystkie możliwe do rozważania przypadki zjawiska Dopplera.

$$\frac{f_o}{V - v_o} = \frac{f_s}{V - v_s} \quad (1)$$

gdzie:

f_o – częstość rejestrowana przez obserwatora,

f_s – częstość wysyłana przez źródło,

V – prędkość fali,

v_o – prędkość obserwatora,

v_s – prędkość źródła [22].

Przekształcenie powyższego równania pozwala na rozważenie kilku przypadków:

- Źródło oraz obserwator zbliżają się do siebie.

$$f_o = \frac{V + v_o}{V - v_s} \quad (2)$$

gdzie:

v_o – prędkość obserwatora,

v_s – prędkość źródła,

V – prędkość fali.

- Źródło oraz obserwator poruszają się w tym samym kierunku.

$$f_o = f_s \frac{V - v_o}{V - v_s} \quad (3)$$

Jeżeli $v_o = v_s$, wtedy $f_o = f_s$.

- Źródło zbliża się do obserwatora, który pozostaje w spoczynku, z prędkością $v_s = 2V$,
gdy $v_o = 0$

$$f_o = f_s \frac{V}{V - 2V} = f_s \frac{V}{(-V)} = -f_s \quad (4)$$

Częstotliwość zarejestrowana przez obserwatora jest równa częstotliwości generowanej przez źródło ze znakiem minus.

- Nietoperz lecący w kierunku ściany odbijającej dźwięk rejestruje swoje własne echo [22].

$$f_o = f_s \frac{V + v_s}{V - v_s} \quad (5)$$

Badania dotyczące efektu Dopplera u nietoperzy przeprowadzone zostały na dwóch grupach nietoperzy, podkowcowatych oraz wąsowiczkach lejkowargowych. Prędkość lotu nietoperzy powodowała zmianę częstotliwości echa, które do nich powracało [23].

Źródło i obserwator w spoczynku

Czasową oscylację monochromatycznej fali, y_s , o częstotliwości kątowej ω , oznaczyć można jako

$$y_s = A \sin \varphi_s \quad (6)$$

gdzie:

φ_s – faza fali emitowanej przez źródło,

$$\varphi_s = \omega t \quad (7)$$

Miejsce obserwatora i źródła, dla czasu τ , opisać można przez wektor pozycji, odpowiednio dla obserwatora r_o i źródła jako r_s

$$\tau = \frac{|r_o - r_s|}{c} \quad (8)$$

gdzie:

c – prędkość propagacji fali.

Czasowa oscylacja obserwatora, φ_o , może być wyrażona w następujący sposób

$$y_o = A \sin \varphi_o \quad (9)$$

gdzie:

φ_o – faza fali zarejestrowanej przez obserwatora.

$$\varphi_o = \omega(t - \tau) \quad (10)$$

Przesunięcie fazy występuje pomiędzy oscylacją źródła i obserwatora, mimo tego, że częstotliwość kątowna mierzona przez obserwatora i emitowana przez źródło jest taka sama.

Łącząc równania (6), (8) i (9), gdy zarówno obserwator i źródło poruszają się po drodze $r_o(t)$ i $r_s(t)$, fala propagacji dana jest równaniem

$$\tau = \frac{|r_o(t) - r_s(t - \tau)|}{c} \quad (11)$$

Powyższe równanie (11) opisuje sytuację, gdy fala poruszająca się w kierunku obserwatora w czasie t , emitowana przez źródło w czasie $t - \tau$, przemieszcza się między źródłem a obserwatorem w czasie τ .

Źródło i obserwator poruszają się w tym samym kierunku ze stałą prędkością

Ruch odbywa się wzdłuż kierunku x . Pozycja obserwatora opisana będzie przez poniższe równanie

$$r_o(t) = (x_{o0} + v_o t) u_r \quad (12)$$

Pozycja źródła opisana jest natomiast następująco

$$r_s(t) = (x_{s0} + v_s t) u_r \quad (13)$$

gdzie:

u_r – wektor jednostkowy w kierunku w kierunku osi x .

Podstawienie równania (12) i (13) do

$$\tau = \frac{|r_o(t) - r_s(t)|}{c} \quad (14)$$

co daje

$$c\tau = \pm[(x_{o0} - x_{s0}) + (v_o - v_s)t + v_s\tau] \quad (15)$$

Znak „+” odpowiada sytuacji, gdy

$$r_o(t) > r_s(t) \quad (16)$$

natomiast „-” odwrotnie

$$r_s(t) > r_o(t) \quad (17)$$

Z równania (15) τ uzyskuje się jako funkcję czasu

$$\tau = \frac{(x_{o0} - x_{s0}) + (v_o - v_s)t}{(c - v_s)} \quad (18)$$

Łącząc równanie (18) oraz (19)

$$\omega' = \omega \left(1 - \frac{d\tau}{dt}\right) \quad (19)$$

uzyskuje się wartość częstotliwości kątovej zarejestrowanej przez obserwatora

$$\omega' = \omega \left(1 - \frac{v_o - v_s}{c - v_s}\right) = \omega \left(\frac{c - v_o}{c - v_s}\right) \quad (20)$$

Równanie (20) ważne jest, gdy

$$\frac{r_o(t) - r_s(t)}{c - v_s} > 0 \quad (21)$$

W sytuacji, gdy w równaniu (15) wykorzystany zostanie znak „-”

$$\omega' = \omega \left(\frac{c + v_o}{c - v_s}\right) \quad (22)$$

Równanie (22) ważne jest, gdy

$$\frac{r_o(t) - r_s(t)}{c + v_s} < 0 \quad (23)$$

Obserwator przemieszcza się, źródło pozostaje w spoczynku

Źródło ulokowane w zerowym punkcie układu współrzędnych, a obserwator porusza się wzdłuż $r_o(t)$. Wtedy równanie (11) przyjmuje postać

$$\tau = \frac{|r_o(t)|}{c} \quad (24)$$

Jeżeli u_r jest wektorem jednostkowym, poruszającym się z oryginalnego, to równanie (24) ma postać

$$\tau = \frac{r_o(t)u_r}{c} \quad (25)$$

Zróżniczkowanie powyższego równania daje

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{1}{c} \left(\frac{dr_o(t)}{dt} u_r + r_o(t) \frac{du_r}{dt} \right) \quad (26)$$

I użycie równania (19) daje częstość kołową zmierzoną przez obserwatora równą

$$\omega' = \omega \left(1 - \frac{v_o u_r}{c} \right) \quad (27)$$

uwzględniając, że $dr_o(t)dt$ jest v_o a druga część, w nawiasie jest równa 0, finalne równanie (27) będzie miało postać

$$\omega' = \omega \left(1 - \frac{v_o}{c} \cos\beta \right) \quad (28)$$

gdzie:

β – kąt pomiędzy u_r i v_o .

Źródło porusza się, a obserwator pozostaje w spoczynku

Źródło porusza się na drodze $r_s(t)$ [24]

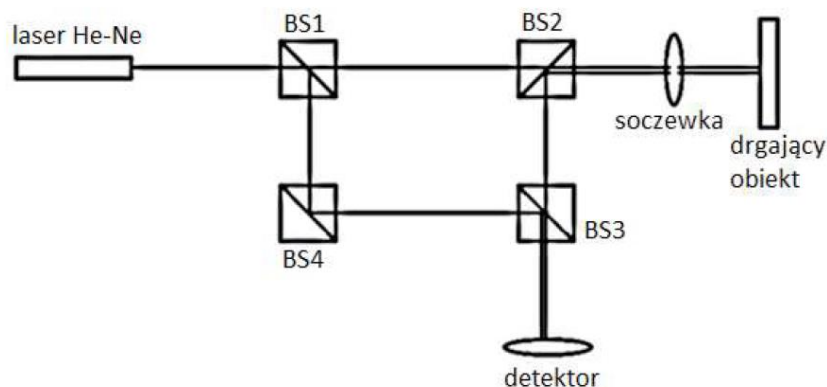
$$\tau = \frac{|r_s(t - \tau)|}{c} \quad (29)$$

1.2. Zasada działania laserowego wibrometru Dopplerowskiego

Laserowa wibrometria Dopplerowska (LDV) to, jak już wspomniano, bezkontaktowa metoda pomiaru drgań. Dzięki temu można wyeliminować wpływ temperatury badanego obiektu i masy czujników pomiarowych. LDV pozwala na pomiary z odległości rzędu nawet 30 metrów. Zasada działania wibrometru opiera się na zjawisku Dopplera [15, 16]. Głównymi elementami, z których składa się głowica wibrometru jest laser, interferometr i układ soczewek [19]. Lasery mogą posiadać ośrodek aktywny w postaci ciekłej, stałej i gazowej [25]. W przypadku laserowej wibrometrii Dopplerowskiej wykorzystany zostaje laser na ośrodku gazowym - helowo-neonowy [19].

W ośrodku gazowym znajduje się mieszanina helu oraz neonu w stosunku 20:80. W wyniku przyłożonego napięcia dochodzi do przepływu elektronów, które zderzają się z atomami helu. Te następnie zderzają się z atomami neonu, które emitują światło. Laser zbudowany jest, między innymi z dwóch zwierciadeł Z_1 i Z_2 . Światło, odbijając się między nimi, powoduje swoją silniejszą emisję, a ta część, która wydostaje się przez zwierciadło Z_2 , tworzy wiązkę laserową [26]. Laser helowo-neonowy zaliczany jest do laserów klasy drugiej, czyli do laserów bezpiecznych. Naturalną reakcją ochronną jest instynktowne mruganie oczami [27]. Działanie laserowego wibrometru Dopplerowskiego polega na porównaniu wiązki odbitej od drgającego obiektu z wiązką referencyjną. Wiązka lasera

generowana przez laser helowo-neonowy trafia na rozdzielacz wiązek (BS), gdzie rozdzielona zostaje na dwie wiązki: wiązkę referencyjną oraz pomiarową. Wytworzona wiązka referencyjna trafia na detektor, a wiązka pomiarowa nakierowana zostaje, przez kolejny rozdzielacz wiązek, na badany, drgający obiekt. Dochodzi do zmiany częstotliwości wiązki pomiarowej. Wiązka ta po odbiciu od drgającego obiektu i przejściu przez kolejne rozdzielacze wiązek trafia na detektor, gdzie porównana zostaje z wiązką referencyjną. Wibrometr przetwarza uzyskany sygnał świetlny na elektryczny, którego parametry odpowiadają parametrom wiązki świetlnej [19]. Rycina 1 przedstawia schemat działania laserowego wibrometru Dopplerskiego.



Ryc. 1. Schemat działania laserowego wibrometru Dopplerskiego [19]

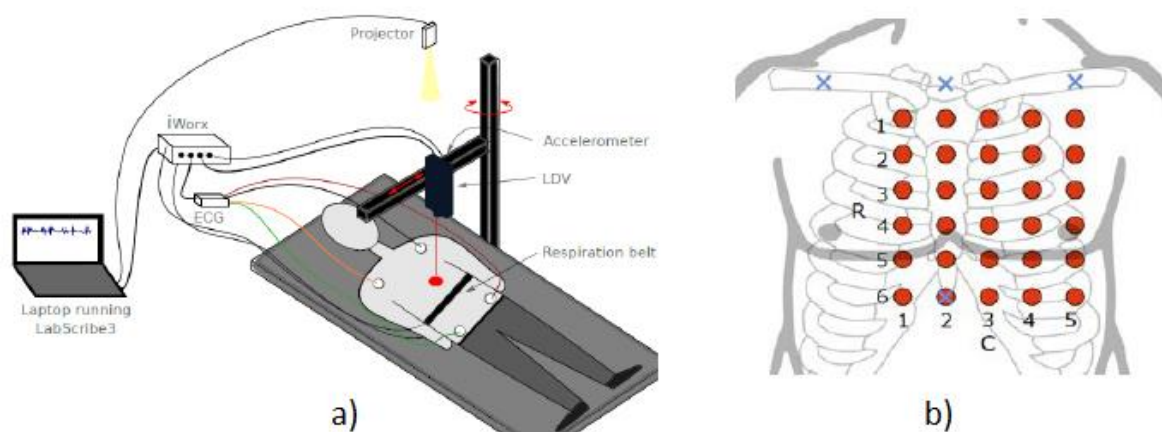
1.3. Zastosowanie laserowej wibrometrii Dopplerskiej

1.3.1. Medycyna

Bezkontaktowy charakter laserowej wibrometrii Dopplerskiej pozwala na jej wykorzystanie w wielu dziedzinach, w tym również w medycynie. Laserowa wibrometria Dopplerska znajduje tu najszersze zastosowanie w pomiarach elementów ucha. Przeprowadzone zostały, między innymi badania skurczu mięśni ucha środkowego. Laserowa wibrometria Dopplerska wykorzystana została do pomiaru ruchomości błony bębenkowej w odpowiedzi na podawany bodziec akustyczny jako wskaźnik do oceny ruchu kosteczek słuchowych u ludzi. Podczas badań laserowy wibrometr zamontowany został na mikroskopie chirurgicznym, a wiązka laserowa skupiona została na błonie bębenkowej [28]. Innymi przeprowadzonymi badaniami było pobudzenie błony bębenkowej za pomocą szumu białego. Zaobserwowano wystąpienie związku między uzyskanymi widmami, a chorobami związanymi z uchem środkowym [29]. Podobne badania przeprowadzone zostały również z wykorzystaniem dźwięków o dziewięciu różnych częstotliwościach, u pacjentów zdrowych. Druga seria pomiarowa wykonana została u osób z niedosłuchem typu odbiorczego.

Wykorzystano tu również mikroskop operacyjny [30]. Pomiary drgań błony bębenkowej zostały przeprowadzone także w polskich jednostkach naukowych. Były one dwuetapowe. Pierwsza część to pomiary drgań na prawidłowo działających preparatach, w przypadku drugiego etapu pomiary wykonane zostały na tych samych preparatach, jednak z zaimplantowanymi protezami. Celem tych badań było rozróżnianie chorób ucha środkowego oraz optymalizacja konstrukcji protez słuchowych [31].

Laserowa wibrometria Dopplerowska w medycynie, prócz pomiarów układu słuchowego, znalazła również zastosowanie w badaniach układu sercowego. Zarejestrowane zostały dźwięki serca, co dotychczas było wykonywane za pomocą mikrofonów i akcelerometrów. Wibrometria pozwoliła na pomiary ruchomości skóry klatki piersiowej. Badani pacjenci umieszczani byli w pozycji leżącej, założono im 3-odprowadzeniowy zestaw EKG oraz pas oddechowy. Miejsca pomiarowe wibrometru zostały wyznaczone za pomocą projektora. Rycina 2 prezentuje układ pomiarowy oraz miejsca pomiarów LDV [32].

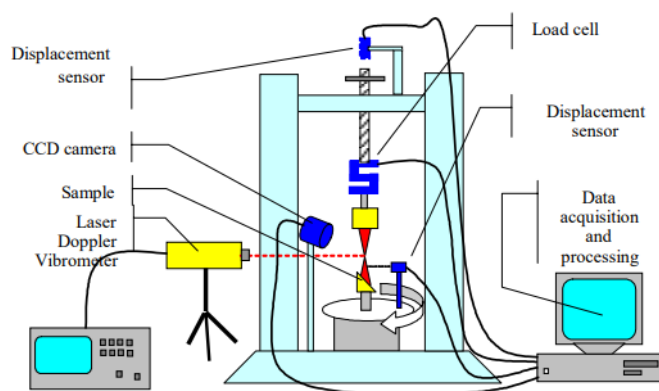


Ryc. 2. a) układ pomiarowy, b) miejsca pomiarów zaznaczone przez projektor [32]

Laserowa wibrometria Dopplerowska może znaleźć zastosowanie w kardiologii jako alternatywna metoda dla dotychczas używanych mikrofonów i akcelerometrów. Dzięki bezkontaktowości eliminowane są dodatkowe obciążenia skóry [32]. Metoda ta wykorzystana została również do badań urządzeń kardiologicznych, takich jak zastawki. Celem tego badania było określenie prawdopodobieństwa wystąpienia ich uszkodzenia [33].

Pomiary za pomocą wibrometrii wykonane zostały również na ścięgnach mięśni. Miały one na celu określenie charakterystyki ścięgien [33]. Podczas badań zaprojektowane zostało stanowisko, które pozwoliło na poddanie badanej próbki obciążeniu, określenie jej wydłużenia oraz powierzchni, zbadanie jej drgań, a także początkowych wymiarów. Do

badania wykorzystane zostały cztery ścięgna wycięte z tylnych kończyn młodych królików. Ścięgna te umieszczone zostały pomiędzy zaciskami [34]. Rycina 3 prezentuje układ pomiarowy.



Ryc. 3. Schemat do badania mięśni [30]

Laserowa wibrometria Dopplerowska znalazła także zastosowanie w pomiarach drgań ręka-ramię [33]. Jest to tak zwany zespół wibracji ramię-ręka, który spowodowany jest długotrwałą ekspozycją na drgania. Do objawów zespołu należą, m.in. mrowienie, drętwienie czy też uczucie zimna [35]. Dotychczas badania zespołu wibracji ramię-ręka wykonywane były za pomocą akcelerometrów, jednak ich masa mogła wpływać na uzyskane wyniki, co zostało wyeliminowane przez zastosowanie metody bezkontaktowej, laserowej wibrometrii Dopplerowskiej 3D. Pozwoliło to na pomiar przenoszenia drgań na całym układzie ręka-ramię [36].

Wibrometria znalazła również zastosowanie w stomatologii. Dzięki wysokiej czułości wibrometrii możliwe jest wykrycie nawet niewielkich przemieszczeń zębów, czego nie da się ustalić przy ręcznej kontroli. Procedura ta pozwala również na pomiar sygnałów, które mogą świadczyć o ruchomości zębów. Niestabilność ta zależy od kilku czynników, m.in. szerokości przyzębia, kształtu oraz długości korzeni, położenia zęba w łuku zębowym czy też kierunku przyłożonej siły. Ocena mobilności zęba wykonywana była za pomocą laserowego wibrometru Dopplerowskiego po zastosowaniu obciążenia dynamicznego. Po wzbudzeniu zęba, ten mógł się swobodnie poruszać i nie były stosowane żadne ograniczenia. Wzbudzenie zęba odbywało się poprzez uderzenie go młoteczkiem. Badania przeprowadzone zostały w warunkach *in vitro*, co pozwoliło na uniknięcie wpływu ruchu głowy pacjenta podczas wykonywanych pomiarów. Po usunięciu zębów zostały one umieszczone w materiałach o różnych poziomach sztywności. Były to: utwardzona żywica, twardy silikon, twardy silikon z gipsem (warstwa 0,5 mm) oraz twardy silikon z gipsem (cieńsza warstwa). Twardy silikon

oraz silikon z gipsem (warstwa 0,5 mm) przedstawiają warunki najbardziej zbliżone do fizjologicznych. Stopień mobilności, jak i sztywność podparcia zębów, były różne. W przypadku zębów umieszczonych w twardym silikonie oraz twardym silikonie z gipsem (0,5 mm warstwa) wyniki ruchliwości były do siebie zbliżone, natomiast dla zęba umieszczonego w utwardzonej żywicy zaobserwowano niższy stopień ruchliwości. Dla zęba umieszczonego w twardym silkonie z gipsem (warstwa cieńsza) stopień ruchliwości był wyższy. Ustalenie stopnia mobilności zębów pozwala na lepszą diagnostykę i ustalenie dalszego leczenia [37].

1.3.2. Przemysł

Laserowa wibrometria Dopplerowska znajduje zastosowanie także w przemyśle. Przykładem może być maszyna wirnikowa, której głównym źródłem drgań są ruchy obrotowe wirnika. Mierzyć należy drgania samego wirnika. W przypadku łożysk ślizgowych warstwa oleju tłumi sygnał drganiowy wirnika. Oznacza to, że jego drgania mogą być kilkukrotnie zwiększone w porównaniu do drgań obwodów łożysk. Stąd wynika konieczność uzupełnienia badania o pomiar drgań wałów. W tradycyjnych technikach pomiarowych stosowane są akcelerometry, wymagają one jednak bezpośredniego kontaktu z drgającym obiektem. Powoduje to konieczność wprowadzenia innych rozwiązań, umożliwiających bezkontaktowe pomiary, czyli wibrometrii. Autorzy, prócz omówionego przykładu wskazują zastosowanie LDV również w pomiarach i analizie szyn wyprowadzenia mocy bloku energetycznego, diagnostykę wału maszyn czy też diagnostykę izolatorów linii wysokiego napięcia [16].

Metoda ta wykorzystana została również jako procedura eksperymentalna do pomiaru drgań kątowych i translacyjnych [38]. Innym obszarem, w którym laserowa wibrometria Dopplerowska znalazła zastosowanie to wyznaczanie współczynnika piezoelektrycznego azotku glinu. Oferują one szerokie spektrum możliwości w zastosowaniach w układach mikroelektromechanicznych. Azotek glinu wykorzystywany jest, m.in. ze względu na odporność na wysoką temperaturę oraz dużą wytrzymałość termiczną. Pomiary przeprowadzone w tym przypadku za pomocą laserowej wibrometrii Dopplerowskiej porównano z wynikami uzyskanymi za pomocą MES, czyli metody elementów skończonych [39].

Inny rodzaj wibrometru, wibrometr skanujący, znalazł również zastosowanie w pomiarach powierzchni żelu, który miał odzwierciedlać tkanki miękkie ciała ludzkiego.

Pomiary przeprowadzone zostały na powierzchni mięśnia dwugłowego w trzech wybranych do tego miejscach za pomocą układu trzech wibrometrów [40].

1.3.3. Sztuka

Prócz zastosowań w medycynie i przemyśle LDV znajduje również wykorzystanie w innych dziedzinach, takich jak sztuka. Wynika to z tego, iż jest to metoda bezkontaktowa, co sprawia, że dzieło nie zostanie naruszone podczas pomiarów. W czasie badań mierzone są drgania powierzchni obiektu, co pozwala na stwierdzenie, czy nie występują ukryte defekty, do których należą zwłaszcza luki i odspojenia. Badania polegają na analizie drgań, które generowane są przez odspojoną warstwę, np. fresku, który został wzbudzony falą dźwiękową z głośnika. W przypadku badań, np. fresku, analizie poddane zostają drgania warstwy, która uległa odspojeniu [41].

Wibrometr skanujący wykorzystany został również do pomiarów drgań instrumentów. Wibrometr użyty został do pomiarów płyt dwóch modeli skrzypiec [42].

1.3.4. Nauki biologiczne

Laserowa wibrometria Dopplerowska prócz wymienionych powyżej zastosowań wykorzystywana jest również w weterynarii czy ocenie dojrzałości owoców [17, 43, 44]. W przypadku weterynarii badania zostały przeprowadzone dla ciem *Noctuna pronuba*, gdzie przebadana została ich błona bębenkowa [43].

Innymi badaniami w weterynarii są badania nad cykadami *Tympanistalna gastrica*. Pomiary przeprowadzone zostały w kilku punktach na ciele cykady, zarówno podczas wydawania przez nią dźwięku jak i przy dźwięku generowanym ze źródła zewnętrznego. W badaniach dążono do określenia miejsca wykazującego największe drgania [45].

Do badań wykorzystujących laserową wibrometrię Dopplerowską zalicza się również pomiary dojrzałości owoców [17, 44]. Pozwala to na określenie twardości tekstury gruszki, co ma stanowić o dojrzałości owocu [44]. Jedną ze stosowanych technik pomiaru polegała na wzbudzaniu powierzchni owocu za pomocą młoteczka, w wyniku czego powstawały drgania, które mierzone były za pomocą akcelerometrów. Wadą tych pomiarów jest jednak to, że wymagają one bezpośredniego kontaktu z badanym obiektem. Prócz wspomnianych wyżej gruszek badania za pomocą tej metody przeprowadzone zostały również na owocach kiwi oraz brzoskwiwi [44].

2. Staw skroniowo-żuchwowy

2.1. Ogólna budowa stawów

Stawy, inaczej nazywane połączeniami wolnymi bądź połączeniami maziowymi, stanowią najbardziej ruchome połączenia kości [46, 47]. Składają się z trzech podstawowych elementów, którymi są powierzchnie stawowe, jama stawowa oraz torebka stawowa. Powierzchnie stawowe pokryte są chrząstką stawową, która odporna jest na ścieranie. Powierzchnie te mogą być wklęsłe bądź wypukłe. Kolejnym elementem stawów jest jama stawowa, znajdująca się pomiędzy powierzchniami stawowymi. Jama stawowa wypełniona jest mazią stawową, która zmniejsza tarcie pomiędzy kośćmi [47, 48]. Ważnym elementem anatomicznym stawu jest torebka stawowa. Jest to osłona, która otacza staw, charakteryzująca się dużą elastycznością i odpornością na zerwanie. Wnętrze torebki stawowej wyścielone jest błoną maziową, która produkuje maź stawową [48]. Zewnętrzną warstwą torebki stawowej jest błona włóknista [46].

Ze względu na kształt powierzchni stawowych, a także zakres wykonywanych ruchów można wyróżnić kilka rodzajów stawów, takich jak: zawiasowy, obrotowy, śrubowy, elipsoidalny, siodełkowy, kulisty wolny, kulisty panewkowy, stawy nieregularne oraz stawy płaskie [46].

2.2. Anatomia, fizjologia i patofizjologia stawów skroniowo-żuchwowych

Stawy skroniowo-żuchwowe (SSŻ) stanowią jedyne narządy występujące w organizmie człowieka, których praca jest synchroniczna [46, 49, 50]. Są najczęściej używanymi stawami. Biorą udział w wielu procesach, w tym, np. przyjmowanie pokarmów czy artykulacja mowy [51]. Łączą one kość skroniową z żuchwą. Występują po lewej i prawej stronie czaszki [49, 50]. SSŻ stanowią istotną składową układu stomatognatycznego [52, 53]

Stawy skroniowo-żuchwowe zbudowane są z czterech części: powierzchni stawowej na kości skroniowej, głowy wyrostka kłykciowego żuchwy, chrząstki śródstawowej oraz torebki stawowej, która wzmocniona jest za pomocą więzadeł.

W powierzchni stawowej kości skroniowej można wyróżnić następujące elementy, takie jak: dół żuchwowy (część tylna wklęsła) oraz guzek stawowy (część przednia wypukła). Tabela 1 przedstawia skrócony opis poszczególnych elementów powierzchni stawowej kości skroniowej.

Tabela 1. Skrócony opis poszczególnych elementów powierzchni stawowej kości skroniowej

Element powierzchni kości skroniowej	Opis
Dół żuchwowy	W przedniej części przylega do chrząstki którą pokryty jest dołek stawowy znajdujący się w przedniej części. Głowa żuchwy oddzielona jest chrząstką stawową. Dołek stawowy umiejscowiony jest ku przodowi od szczeliny skalisto-bębnekowej
Guzek stawowy	Stanowi uwypuklenie, które przebiega równoległe do dołka stawowego. Przechodzi w wyrostek jarzmowy kości skroniowej. Pokryty jest chrząstką włóknistą

Kolejnym elementem stawu skroniowo-żuchwowego jest głowa żuchwy. Stanowi ona kostny walec, który w kierunkach strzałkowym i czołowym jest wypukły. Ku dołowi natomiast przechodzi w szyjkę żuchwy. Cała głowa żuchwy znajduje się wewnątrz torebki stawowej. Powierzchnię stawową stanowi wyłącznie przednia część, która pokryta jest chrząstką, natomiast jej tylna część pokryta jest tkanką łączną.

Chrzątka śródstawowa jest kolejną składową stawu skroniowo-żuchwowego. Jest to owalna płytka zbudowana głównie z tkanki łącznej zbitej. Płytkę jest cienka w środku, a grubsza na brzegach. Jej górna powierzchnia w części przedniej jest wklęsła. Przy zamkniętych ustach znajduje się na guzku stawowym. W odcinku tylnym jest wypukła i przylega do dołka stawowego. Chrzątka śródstawowa dzieli staw na część górną (większą) i dolną (mniejszą).

Ostatnim elementem składającym się na budowę stawu skroniowo-żuchwowego jest torebka stawu żuchwowego. Jest to luźny, lejkowaty worek łącznotkankowy. Worek ten ciągnie się od powierzchni stawowej na kości skroniowej do szyjki żuchwy. Torebka stawowa jest na tyle duża, że nawet w wyniku zwichnięcia głowy żuchwy nie musi dojść do rozerwania torebki [53].

Torebka stawowa wzmocniona jest przez więzadło boczne. Nie jest to jedyne więzadło zaliczane do więzadeł stawu skroniowo-żuchwowego. Tabela 2 przedstawia spis więzadeł i ich opis [54].

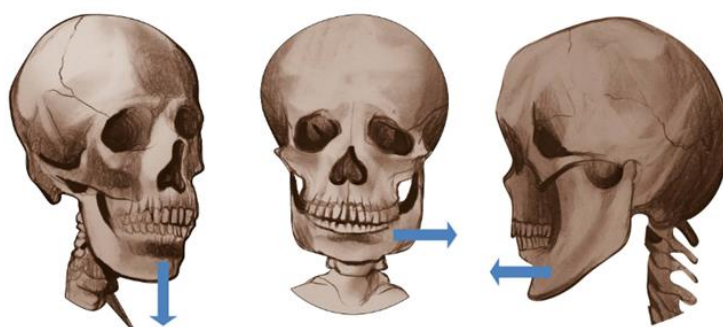
Tabela 2. Spis więzadeł i ich opis

Więzadło	Opis
Więzadło boczne	Według niektórych badaczy więzadło to składa się z dwóch części: więzadło oboczne, boczne i przyśrodkowe. Przednia część więzadła napina się przy przesuwaniu głowy ku tyłowi, natomiast tylna - przy maksymalnym przesunięciu ku przodowi.
Więzadło klinowo-żuchwowe	Rozpoczyna się przy kolcu klinowym a następnie rozszerza się ku przodowi i dołowi.
Więzadło rylcowato-żuchwowe	Łączy się z otaczającą tkanką łączną za wyjątkiem górnej części. Biegnie do końca i przedniej powierzchni wyrostka rylcowatego. Oddziela śliniankę przyuszną od podżuchwowej.

Stawy skroniowo-żuchwowe odpowiadają za wykonywanie ruchów w trzech płaszczyznach:

- ✓ opuszczanie i unoszenie żuchwy (ruchy zawiasowe),
- ✓ wysuwanie ku przodowi (protruzja) i cofanie (retruzja) (ruchy saneczkowe/ślizgowe) [55, 56],
- ✓ ruchy boczne (ruchy żucia).

Poniższa rycina obrazuje możliwe do wykonania ruchy za pomocą stawów skroniowo-żuchwowych.



Ryc. 4. Ruchy wykonywane za pomocą stawów skroniowo-żuchwowych [źródło własne]

Podczas spoczynku żuchwa jest oddalona od szczęki. Żuchwa zbliża się do szczęki podczas pochylania głowy ku przodowi, przy pochylaniu ku tyłowi oddala się. Tabela 3 przedstawia opis ruchu oraz mięśni biorących udział podczas poszczególnych ruchów. Za ruchy żuchwy odpowiada współdziałanie grup mięśniowych. Najprostszy z ruchów stanowi zaciśnięcie zębów. Działają wówczas następujące mięśnie: żwacz, skroniowy, skrzydłowy przyśrodkowy.

Tabela 3. Opis ruchu oraz mięśni biorących w nim udział

Ruch	Opis	Mięśnie
Rozwieranie szczęk	<p>Podczas rozwierania szczęk dochodzi do przesunięcia głowy żuchwy na szczyt guzka stawowego. Chrzątka ślizga się ku przodowi, a pomiędzy chrząstką a głową dochodzi do ruchu zawiasowego.</p> <p>Aby stwierdzić ruch żuchwy, należy umieścić palec ku przodowi i dołowi od przewodu słuchowego zewnętrznego. Podczas tego należy rozewrzeć usta szeroko. Wówczas pod palcem powstaje zagłębienie. Zagłębienie to widoczne jest zwłaszcza u osób chudych.</p>	<p>Skurcz następujących mięśni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ żuchwowo-gnykowego, ✓ bródkowo-gnykowego, ✓ przedniego brzuśca mięśnia dwubrzuścowego. <p>Ustalona zostaje przy tym kość gnykowa, co jest konieczne. Odbywa się to dzięki skurczom następujących mięśni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ tarczowo-gnykowego, ✓ mostkowo-gnykowego, ✓ rylcowo-gnykowego.
Unoszenie żuchwy	<p>Rozpoczęcie to przesunięcie głowy ze szczytu na podstawę guzka stawowego. Kolejnym etapem zwierania szczęk jest jednoczesny poślizg głowy żuchwy ku tyłowi i ruch zawiasowy.</p>	<p>Działanie następujących mięśni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ żwaczy, ✓ skrzydłowych przyśrodkowych, ✓ skroniowych. <p>Jednak włókna mięśniowego pociągają żuchwę ku tyłowi</p>
Wysuwanie żuchwy do przodu	<p>Wysunięcie żuchwy ku przodowi jest możliwe tylko przy jej wcześniejszym opuszczeniu. Wynika to z tego, że przy pełnym użębieniu dolne siekacze natrafiłyby na podniebienną powierzchnię siekaczy górnych.</p>	<p>Możliwe dzięki pracy mięśni skrzydłowych bocznych.</p>
Cofanie żuchwy do tyłu	<p>Pierwszym etapem jest ustawienie siekaczy brzegami siecznymi na sobie. Następnie ruch nożycowy przednich zębów żuchwy względem zębów szczęki.</p>	<p>Możliwe dzięki pracy następujących mięśni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ dna jamy ustnej, ✓ tylnych włókien mięśnia skroniowego.
Ruchy boczne	<p>Głowa, po odpowiedniej stronie, to znaczy tej po której odbywa się ruch, obraca się na miejscu koło swojej osi pionowej. W tym czasie głowa strony przeciwnej będzie przesuwana się ku przodowi na guzek stawowy.</p>	<p>Za ruch w kierunku prawym odpowiada mięsień skrzydłowy boczny strony lewej. W sytuacji, gdy ruch odbywa się z większą siłą, udział bierze również mięsień żuchwowo-gnykowy znajdujący się po tej samej stronie. W tym czasie obserwuje się również działanie mięśni odpowiedzialnych za zwieranie szczęki. Dzięki czemu utrzymany jest kontakt obydwu szeregów zębów. Podczas powrotu wykonywany jest odwrotny ruch.</p>

Stawy skroniowo-żuchwowe składają się z dwóch powierzchni, powierzchni stawowej górnej oraz powierzchni stawowej dolnej [49]. Powierzchnie te oddzielone są od siebie za pomocą krążka stawowego [46]. Nie są one do siebie dopasowane, co wyrównuje, wspomniany, krążek stawowy [55]. Powierzchnia głowy żuchwy zwrócona jest ku górze i do przodu, sprawia to, że zwrócona jest do guzka stawowego [46].

Krążek stawowy, stanowiący dopasowanie między powierzchniami, ma kształt owalnej płytki. Jest cienki pośrodku, 1-2 mm, a grubszy na obwodzie, 2-3 mm [52]. Zbudowany jest ze zbitej tkanki łącznej włóknistej w części środkowej, a w zewnętrznej, który z chrząstki włóknistej [46, 57]. Krążek stawowy zmniejsza siłę tarcia między elementami kostnymi stawu, a także obciążenia występujące podczas ruchu stawu skroniowo-żuchwowego. Pozbawiony jest zarówno naczyń krwionośnych, jak i włókien nerwowych [57]. Podczas otwierania ust krążek przemieszcza się do przodu, tak samo jak wyrostek kłykciowy [58]. Krążek stawowy zrosnięty jest z torebką stawową [46]. Torebka ta jest obszerna i nienapięta, co sprawia, że ruchy żuchwy nie są ograniczone [55]. Dzięki czemu nawet w przypadku zwicznienia żuchwy nie musi dojść do rozerwania torebki stawowej. Zbudowana jest ona z mazi stawowej, która zawiera liczne proteiny oraz elektrolity. Zadanie torebki stawowej nie sprowadza się jednak tylko i wyłącznie do sprawnej pracy stawu, stanowi ona również źródło substancji odżywczych [53].

2.3. Staw skroniowo-żuchwowy a inne stawy

Stawy skroniowo-żuchwowe dzięki występowaniu krążka stawowego między powierzchniami stawowymi są bardziej stabilne [59]. Stabilność ta będzie większa w sytuacji, gdy zęby znajdują się w okluzji niż wtedy, gdy szczeka jest otwarta [50]. Oznacza to, że wpływ na ułożenie stawów skroniowo-żuchwowych zależy od kontaktu zębów, który należy uwzględnić podczas leczenia dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych (SSZD) [59].

Różnicą między stawami skroniowo-żuchwowymi a innymi stawami jest to, że stawy skroniowo-żuchwowe działają symetrycznie. Żuchwa jako jedyna kość w organizmie człowieka zawieszona jest na obu końcach, co oznacza, że nie jest ona zdolna do samodzielnego ruchu na jednym z końców, powoduje to implikacje kliniczne. Ruch po jednej ze stron generuje ruch drugiej strony. Ból oraz dysfunkcje w jednym stawie mogą więc prowadzić do tego samego stanu w drugim stawie [59].

3. Dysfunkcje stawów skroniowo-żuchwowych

Pojęcie dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych wprowadzone zostało w 1963 roku przez Shore'a. Oznaczało ono dolegliwości bólowe, które nie dotyczyły tylko łuków żebowych czy SSŻ, ale również bólu pojawiającego się w obrębie całej głowy [60]. Badania stawów skroniowo-żuchwowych rozpoczęto w Polsce w podobnym czasie, bo już pod koniec lat 60-tych [7]. Zmiany w stawach skroniowo-żuchwowych nazywane są dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych. Jedną z wielu ich odmian jest zespół Costena [50]. Zaburzenia stawów skroniowych uznawane są za trzecią chorobę społeczną w dziedzinie stomatologii (zaraz po próchnicy zębów i periodontopatii) [2, 7]. Szacuje się, że zaburzenia działania narządu żucia dotyczą ponad 25% populacji [1]. Dysfunkcje stawów skroniowo-żuchwowych dotyczą aż 50-70% populacji, inne źródła literaturowe podają, że nawet do 80% populacji [4, 5]. Pacjenci nie są jednak świadomi ich posiadania zanim nie wystąpią objawy bólowe [61]. Zespół bólowy stawów skroniowo-żuchwowych dotyczy 4-12% [6]. Piśmiennictwo przedstawia również dane dotyczące objawów bólowych dotyczących osób młodych, w wieku 18-29 lat, gdzie w poszczególnych grupach badanych (uczniowie szkół średnich, studenci, żołnierze poborowi oraz młodzi robotnicy) objawy bólowe ma od 1,8% (młodzi robotnicy) do 5,4% (żołnierze poborowi) pacjentów. Występowanie zaburzeń stawów skroniowo-żuchwowych w formie bezbólowej dla wspomnianych grup wynosi od 30% (żołnierze) do 52,8% uczniowie szkół średnich) [7]. Co najmniej 60-70% osób posiada jeden z objawów świadczących o zaburzeniach stawów skroniowo-żuchwowych, jednak tylko jedna na cztery osoby jest ich świadoma [62]. Nasilenie objawów następuje między 20 a 40 rokiem życia i częściej dotyczy kobiet (4-krotnie) [4, 6, 63]. Zaledwie około 5% osób, posiadających przynajmniej jeden z objawów, szuka pomocy [10, 62]. Średni wiek takich pacjentów to 30 lat [11]. Dysfunkcje stawów skroniowo-żuchwowych dotyczą przeważnie osób w wieku średnim, mogą jednak występować również u młodzieży oraz osób w wieku podeszłym [5]. Pojawienie się zaburzeń stawów skroniowo-żuchwowych można zaobserwować także u dzieci. Częstość ich występowania zwiększa się wraz z wiekiem dzieci. Tak samo jak w przypadku dorosłych, nasilenie objawów jest większe u dziewcząt [8, 9]. Zaburzenia czynności stawów skroniowo-żuchwowych uznawane są za drugie, z najczęściej występujących, schorzeń w układzie mięśniowo-szkieletowym. Jak już wspomniano dotyczą one przeważnie osób dorosłych, jednak liczba dzieci nimi objęta również jest duża, wynosi 30-70%. W przypadku młodzieży jest to 60-80% [64]. Do najczęstszych objawów dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych należą kliknięcia

i trzeszczenie stawów. Kliknięcia stawów są wynikiem przesunięcia kłykcia ku tyłowi [4, 65]. Należy jednak pamiętać, że brak objawu, jakim jest kliknięcie, nie musi oznaczać prawidłowo działającego, zdrowego stawu skroniowo-żuchwowego [65]. Trzaski i trzeszczenie stawów pojawiają się podczas otwierania i zamykania ust [61]. Innymi objawami dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych są, m.in. wada zgryzu, ograniczony zakres ruchu, nieprawidłowy tor żuchwy podczas ruchu, bóle głowy, szumy uszne, zaburzenia w odcinku szyjnym, uczucie ucisku odczuwane za oczami czy też trudności przy otwieraniu ust [1, 61, 63, 66, 67]. Ból głowy występuje aż u 40-70% pacjentów z dysfunkcjami (wg Kleinrok). Jest on umiejscowiony w 70% przypadków w skroni, w 65% w okolicy czoła oraz części ciemieniowej czaszki, a 46% objawów bólowych występuje pod potylicą [60]. W przypadku przewlekłych dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych można również mówić o objawach depresji, problemach ze snem a także braku energii. Chroniczna dysfunkcja stawów skroniowo-żuchwowych powoduje natomiast zakłócenie funkcjonowania w społeczeństwie oraz może mieć negatywny wpływ na zdolność pracy [1].

Uznaje się, że duże znaczenie w zaburzeniach stawów skroniowo-żuchwowych mogą mieć czynniki psychogenne. Zalicza się do nich: stany lękowe, niektóre cechy charakteru, choroby umysłowe, zwłaszcza stany depresyjne czy też sytuacje stresowe dla pacjenta. Jako inne przyczyny wymieniana jest nieprawidłowa okluzja czy też leczenie ortodontyczne. Istnieją jednak niezgodności w tych opiniach [2]. Początkowo sugerowano, że głównym czynnikiem dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych są rozbieżności zgryzu. Wraz z większą ilością badań stwierdzono, że etiologia SSŻD związana może być z czynnikami psychospołecznymi, psychologicznymi oraz fizycznymi [65].

3.1. Podział dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych

Problem dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych pierwszy raz dostrzeżony został w 1920 roku przez Wrighta [3]. W 1934 roku tematem schorzeń stawów skroniowo-żuchwowych zajął się Costen, od którego nazwiska nazywa się jeden z rodzajów dysfunkcji [3, 50]. Następnie w 1966 roku Ramfjord i Ash dokonali podziału zaburzeń stawów skroniowo-żuchwowych na trzy podgrupy [3]. Pierwsza próba sklasyfikowania dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych podjęta została przez Bella w 1960 roku [3]. Kolejne podziały dotyczące schorzeń stawów skroniowo-żuchwowych przeprowadzone zostały odpowiednio w 1966 (Ramfjord i Ash), 1989 (Bell, modyfikacja poprzedniej klasyfikacji, oraz Steng, de Bont i Boering), 1991 (Kaplan), 1996 (Okseon) oraz 2000 (Ahlers). Ostatnia

z klasyfikacji wzbudza jednak dyskusje, ponieważ według części specjalistów nie jest to klasyfikacja schorzeń stawów skroniowo-żuchwowych, a układu stomatognatycznego [3].

Zaburzenia dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych można podzielić na dwie grupy: makrourazy oraz mikrourazy. Te ulegają natomiast kolejnym podziałom na zewnętrzne i wewnętrzne [61].

Do makrourazów zewnętrznych zalicza się urazy zewnątrzustne. Wśród nich wyróżnia się urazy losowe, takie jak: upadki, pobicia, wypadki komunikacyjne czy też wypadki sportowe. Makrourazy wewnętrzne obejmują również urazy zewnątrzustne. Narząd może wykonywać ruchy bierne oraz ruchy czynne. Za urazy występujące podczas ruchów biernych uznać można zabiegi stomatologiczne, laryngologiczne czy też anestezyjologiczne. W przypadku urazów podczas ruchów czynnych są to niektóre zabiegi stomatologiczne oraz internistyczne, a także ruchy żuchwy podczas ziewania, szerokiego uśmiechu, wysiłku fizycznego, silnych emocji oraz nadgryzania dużych i twardych kęsów [61].

Kolejną grupą zaburzeń stawów skroniowo-żuchwowych są mikrourazy. Jak wyżej wspomniano, dzieli się je również na zewnętrzne i wewnętrzne. Mikrourazy zewnętrzne to urazy wewnątrzustne. Działają one na staw, który przez dłuższy czas pozostaje w spoczynku. Wynikają z nawyków ruchowych pacjenta, których ten nie musi być świadomy, zabiegów ortopedycznych bądź ortodontycznych. Mikrourazy wewnętrzne to natomiast urazy zewnątrzustne. Mikrourazy wewnętrzne wynikają z wad zgryzu, które mogą być wrodzone lub nabyte oraz parafunkcji. Do parafunkcji zalicza się nadgryzanie przedmiotów, ciągłe żucie gumy po jednej stronie oraz bruksizm [61]. Bruksizm definiuje się jako mimowolne zgrzytanie oraz zaciskanie zębów, które występuje zwłaszcza podczas snu. Może jednak występować również w czasie codziennej aktywności. Liczba zachorowań na bruksizm stale się zwiększa. Zmniejsza się natomiast wiek pacjentów cierpiących na to schorzenie. Symptomy bruksizmu można zaobserwować już u 30-70% dzieci oraz 60-80% młodzieży [68].

Choroby stawu skroniowo-żuchwowego można podzielić na kilka podgrup, wyróżnia się wśród nich: zapalenia, artropatie, zaburzenia ruchomości, obrażenia, nowotwory, a także wady rozwojowe [69].

Zapalania stawów skroniowo-żuchwowych dzieli się następująco na ostre i przewlekłe, swoiste i nieswoiste, pierwotne i wtórne, urazowe oraz krwiopochodne. Tabela 4 przedstawia

podstawowe informacje na temat poszczególnych rodzajów zapalenia stawów skroniowo-żuchwowych [69].

Tabela 4. Podział zapaleń stawów skroniowo-żuchwowych

Zapalenie	Podstawowe informacje
Ostre zapalenie stawów skroniowo-żuchwowych	Wyróżnić można: <ul style="list-style-type: none"> ✓ zapalenie torebki stawowej, ✓ zapalenie wszystkich elementów stawu, ✓ zapalenie tkanek okołostawowych.
Ostre surowicze zapalenie stawów skroniowo-żuchwowych	<ul style="list-style-type: none"> ✓ W jamie stawowej powstaje wysięk surowiczy. ✓ Do objawów klinicznych należy obrzęk twarzy ku przodowi od skrawka ucha.
Ostre ropne zapalenie stawów skroniowo-żuchwowych	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Zapalenie to jest przeważnie następstwem surowiczego zapalenia. ✓ Wysięk ropny wypełnia torebkę stawową. ✓ Do objawów należy, m.in. wysoka temperatura ciała czy też ból w okolicy stawów skroniowo-żuchwowych. ✓ Może dojść do powstania przetoki ropnej do przewodu słuchowego zewnętrznego.
Przewlekłe zapalenie stawów skroniowo-żuchwowych	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Może być następstwem ostrego zapalenia, jednak częściej rozwija się jako przewlekłe zapalenie od początku. ✓ Dotyczy osób w podeszłym wieku. ✓ Etiologia tego zapalenia jest nieznana.
Gośćcowe zapalenie stawów skroniowo-żuchwowych	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Jest wynikiem zakażenia paciorkowcowego. ✓ Powstaje w tym samym czasie co w innych stawach.
Swoiste zapalenie stawów skroniowo-żuchwowych	Można podzielić następująco: <ul style="list-style-type: none"> ✓ gruźlicze zapalenie stawów skroniowo-żuchwowych (występuje rzadko), ✓ kiłowe zapalenie stawów skroniowo-żuchwowych (postać, jaką może przyjąć, to zapalenie torebki maziowej z uszkodzeniem chrząstki stawowej), ✓ rzeżączkowe zapalenie stawów skroniowo-żuchwowych (może mieć ostry lub podostry przebieg. Szerzy się przez krew).
Promienicze zapalenie stawów skroniowo-żuchwowych	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bardzo rzadko występuje jedynie jako zapalenie wtórne.

Jedną z chorób stawów skroniowo-żuchwowych są zaburzenia ruchomości. Rycina 5 przedstawia schemat podziału zaburzeń ruchomości [69].



Ryc. 5. Podział zaburzeń ruchomości stawu skroniowo-żuchwowego [69]

Podwichnięcie podzielić można na jednostronne oraz dwustronne. Najczęściej powstaje w wyniku urazu żuchwy podczas rozwartych szczęk. Jednak może powstać również w wyniku usuwania zębów dolnych, nadgryzienia twardego przedmiotu czy też ziewania.

W zaburzeniu nadmiernej ruchliwości wyróżnić można również zwichnięcie. Tak samo jak w przypadku podwichnięcia wyodrębnić można jednostronne i dwustronne, które występuje częściej. Zwichnięcie charakteryzuje się wyjściem głowy żuchwy poza obręb stawu, co skutkuje rozerwaniem torebki stawowej. W zależności od kierunku przemieszczenia żuchwy wyróżnić można przednie, tylne, boczne oraz przyśrodkowe zwichnięcie żuchwy.

Ograniczenie ruchomości stawów skroniowo-żuchwowych dzieli się na szczękościsk, przykurcz żuchwy oraz zeszywnienie stawów skroniowo-żuchwowych. Dwa pierwsze powodują ograniczenie ruchomości co jest następstwem zmian chorobowych pozastawowych (głównie mięśnie i tkanki miękkie).

Szczękościsk jest zwykle schorzeniem przemijającym. Charakteryzuje się ograniczeniem rozwarcia szczęk, które wynika z odruchowego przykurczu mięśni unoszących żuchwę (żwacza oraz skrzydłowego przyśrodkowego lub skroniowego). Spowodowany jest zwykle stanem zapalnym bądź urazem. Przyczynami jego występowania może być tężec, który stanowić może pierwszy z objawów, histeria czy też niektóre choroby ośrodkowego układu nerwowego.

Przykurcz żuchwy to ograniczenie jej ruchów, które spowodowane są zmianami okołostawowymi w mięśniach, więzadłach, skórze bądź też śluzówce. Mają one najczęściej charakter blizn pozapalnych lub pourazowych.

Ostatnim z rodzajów ograniczenia ruchomości jest zeszywnienie stawów skroniowo-żuchwowych. Początkowo jest to zeszywnienie włókniste, a następnie dochodzi do zrostu kostnego powierzchni stawowych lub otaczających tkanek, co powoduje unieruchomienie żuchwy. Zeszywnienia stawów skroniowo-żuchwowych powstające w wieku rozrodczym są wynikiem poważnych morfologiczno-czynnościowych i estetycznych zmian. Nieleczenie tego rodzaju zeszywnień może prowadzić nawet do kalectwa. Zeszywnienia stawów skroniowo-żuchwowych podzielić można na prawdziwe oraz fałszywe. Te pierwsze to zrost wewnątrztorbkowych powierzchni stawowych, które leczy się wyłącznie operacyjnie. Zeszywnienia fałszywe to zrost pozatorbkowy, który leczony może być zachowawczo. Zeszywnienia stawów skroniowo-żuchwowych można też podzielić na wrodzone oraz nabyte. Te drugie najczęściej spowodowane są urazem lub stanem zapalnym stawu lub sąsiednich tkanek bądź narządów.

Nowotwory stawów skroniowo-żuchwowych najczęściej mają postać kostniaka, chrzęstniaka, kostniakochrzęstniaka, włókniako-kostniaka oraz maziówczaka. Złośliwe, pierwotne nowotwory są rzadkością w przypadku nowotworów stawów skroniowo-żuchwowych.

Wśród wad rozwojowych wyróżnić można wady wrodzone i nabyte. W przypadku wad złożonych wrodzonych najczęściej występującą jest zespół żuchwowo-twarzowy Franceschettiego. Zaburzenie to dotyczy okolicy główki żuchwy. Charakteryzuje się jej niedorozwojem bądź brakiem. Leczenie zachowawcze w przypadku tego schorzenia nie daje niestety zbyt dobrych wyników. Wskazane jest leczenie operacyjne. Innym zaburzeniem rozwojowym jest zespół Pierre'a-Robina, gdzie obserwuje się niedorozwój wyrostków kłykciowych żuchwy, małóżuchwie, cofnięcie żuchwy czy też rozszczep podniebienia wtórnego. Schorzenie to powoduje niedrożność oddechową, co po porodzie korygowane jest przez doszycie języka do wargi dolnej, a w późniejszym okresie stosuje się leczenie operacyjne. Do wad nabytych zalicza się: jednostronny niedorozwój żuchwy, zniekształcenie morfologiczne wynikające z zaburzeń na tle hormonalnym oraz połowicznie postępujący zanik twarzy, tzw. chorobę Romberga [69].

4. Diagnostyka dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych

W diagnostyce dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych wyróżnić można kilka badań, takich jak: podmiotowe, przedmiotowe oraz rentgenowskie. Badanie podmiotowe obejmuje wywiad lekarski i stomatologiczny. Wywiad ten przeprowadzany jest przy pomocy karty badań ze wskaźnikiem Helkimo, który pozwala na subiektywną ocenę stopnia ciężkości na podstawie opisanych przez pacjenta objawów [2]. Test ten uznawany jest za pionierski w ocenie stawów skroniowo-żuchwowych [65].

Jednym z badań pozwalających na diagnostykę stawów skroniowo-żuchwowych jest badanie palpacyjne. Wykonuje się ono podczas rozwierania i zwierania szczęk, przez przewody słuchowe zewnętrzne, wykorzystując do tego palec wskazujący bądź palec piąty. Badanie to pozwala na ocenę ruchomości główek stawowych, przeskakanie, trzaski a także trzeszczenie stawów skroniowo-żuchwowych oraz zgryz i zwarcie szczęki, jak również szerokość ich rozwarcia [70]. Badanie palpacyjne pozwala również na ocenę sposobu czy też czasu zamknięcia ust. W trakcie badania można usłyszeć trzeszczenia czy trzaski, które świadczą o występowaniu dysfunkcji skroniowo-żuchwowych. Kliknięcia i trzaski związane są z przemieszczeniem krążka stawowego, które może występować z ograniczeniem jego ruchomości lub bez jego ograniczenia. Skrzywienie bądź trzeszczenie może wskazywać na zmiany degeneracyjne stawów skroniowo-żuchwowych. Dźwięki te są trudne do wyeliminowania i mogą powodować uczucie dyskomfortu u pacjenta. Objawy dźwiękowe mogą zostać zmniejszone jedynie u 33% pacjentów przy zastosowaniu terapii fizykanej oraz leczenia ortodontycznego [71].

Drugim badaniem przedmiotowym jest również kliniczna analiza okluzji (statycznej i dynamicznej), a także kliniczne badanie za pomocą wskaźnika dysfunkcji Helkimo [2, 72-74]. Wskaźnik ten oparty jest na analizie następujących symptomów: zaburzonego zasięgu ruchu, zaburzonej czynności stawów skroniowo-żuchwowych, bólu mięśni oraz bólu SSŻ, bólu podczas ruchu żuchwy. Każdy z symptomów oceniany jest w trzystopniowej skali. W przypadku pacjentów posiadających zaawansowane objawy dysfunkcji diagnostykę można poszerzyć o badanie okluzji w artykulatorze oraz badanie za pomocą ultradźwiękowego systemu ARCUS-digma [2].

Wspomniany wskaźnik Helkimo ma dwie "składowe", jest to wskaźnik anamnestyczny oraz wskaźnik kliniczny [60, 74]. Wskaźnik anamnestyczny można powiązać z opisanym wyżej badaniem podmiotowym, a wskaźnik kliniczny z badaniem przedmiotowym [2, 60, 72].

Podczas oceny funkcjonowania stawów skroniowo-żuchwowych za pomocą wskaźnika anamnestycznego Helkimo pacjent wypełnia ankietę. Znajdują się w niej pytania dotyczące dolegliwości bólowych, które wynikają z dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych. Są to pytania dotyczące takich objawów, jak trzaski, trzeszczenie, uczucie sztywności lub zmęczenia mięśni żucia, ograniczenie otwarcia ust, szczękoscisk, ból podczas ruchów żuchwy, ból twarzy oraz szczęki, a także zwichnięcie stawów. Wyniki wskaźnika anamnestycznego można zakwalifikować do jednej z trzech kategorii. Pierwsza z nich to brak dolegliwości subiektywnych dysfunkcji, kategoria ta oznaczana jest jako Ai-0 [60, 72]. Do drugiej kategorii zakwalifikowani zostają pacjenci, którzy zgłaszają nieznaczne dolegliwości, jest to kategoria Ai-I. Oznacza to jeden lub kilka z następujących objawów: trzaski/trzeszczenie w SSŻ, zmęczenie mięśni żucia czy też zaobserwowanie zwiększonego napięcia mięśniowego zaraz po przebudzeniu lub podczas ruchów żuchwy. Trzecia kategoria, Ai-II, to zgłoszenie przez pacjenta minimum jednego z symptomów, takich jak: niemożliwe otwarcie przez pacjenta szeroko ust, szczękoscisk, ból podczas ruchów, ból twarzy, szczęk, szyi i ramion czy też zwichnięcie stawów [60, 72].

Pytania jakie zadawane są w teście Helkimo, przedstawione zostały w pracy zespołu Rani i wsp. [65] oraz w pracy Suhas i wsp. [74]. Na każde z pytań można odpowiedzieć tak/nie. Poniżej tłumaczenie pytań [65, 74].

1. Czy występują dźwięki (kliknięcia lub trzeszczenie) w obszarze SSŻ?
2. Czy występuje sztywność szczęki podczas przebudzenia bądź powolnego ruchu żuchwy?
3. Czy występuje odczucie zmęczenia w okolicy szczęki?
4. Czy występują trudności podczas otwierania ust?
5. Czy żuchwa jest zablokowana podczas otwierania ust?
6. Czy w obszarze mięśni żucia SSŻ występuje ból?
7. Czy występuje ból podczas ruchu żuchwy?
8. Czy występują zwichnięcia żuchwy [65, 74]?

Drugą "składową" testu Helkimo jest wskaźnik kliniczny. Analizie w nim poddaje się pięć symptomów, takich jak: zaburzony zakres ruchu (A), zaburzona czynność SSŻ (B), ból podczas ruchu żuchwy (C), ból mięśni (D) oraz ból SSŻ (E). Wszystkie te objawy oceniane są w trzystopniowej skali, gdzie 0 to brak objawów, 1 to delikatne nasilenie objawu/umiarkowane objawy, a 5 to poważne nasilenie występowania danego objawu/zaawansowane objawy [60, 72, 74].

Zaburzony zakres ruchu oceniany jest na podstawie maksymalnego otwarcia ust, jakie może wykonać pacjent, maksymalny ruch w prawo, maksymalny ruch w lewo oraz maksymalna protruzja. Maksymalne otwarcie ust ocenić można w trzystopniowej skali, gdzie 0 oznacza brak objawów, to normalne otwarcie ust, mieszczące się w przedziale 40-52 mm. 30-39 mm to nieznacznie zaburzone otwarcie ust, które kwalifikowane jest jako łagodne nasilenie objawów (1 punkt). Ostatnie kryterium w maksymalnym rozwarciu ust to znacznie zaburzone, czyli poniżej 30 mm [60, 74] bądź powyżej 52 mm (5 punktów) [60]. Maksymalny ruch żuchwy

w prawo a także w lewo oceniany jest również w trzystopniowej skali (0,1 lub 5 punktów). 0 punktów uzyskuje się dla ruchu > 7mm, 1 punkt dla 4-6 mm, a 0-3 mm to uzyskanie 5 punktów. Taką samą punktacją uzyskuje się także dla protruzji [74].

Kolejnym ocenianym objawem jest zaburzona czynność stawów. Tutaj również objawy klasyfikowane są do jednego z trzech punktów skali. Dzieli się je następująco: brak objawów akustycznych (0), objawy akustyczne (1) oraz szczękoscisk (5). Ból mięśni podczas badania palpacyjnego dzielony jest następująco: brak, tkliwość mięśni w jednym lub dwóch miejscach bądź w trzech-czterech miejscach. Podobny podział zastosowany jest do badania stawów skroniowo-żuchwowych metodą palpacyjną. Jest on następujący: brak bólu, tkliwość w bocznej okolicy stawów skroniowo-żuchwowych oraz tkliwość w tylnej okolicy stawów skroniowo-żuchwowych. Ostatnim objawem w klinicznym wskaźniku Helkimo jest ból podczas ruchu stawów skroniowo-żuchwowych, który klasyfikowany jest do jednej z kategorii: brak bólu, ból podczas ruchu w jednym kierunku czy też ból podczas dwóch lub więcej kierunków ruchu [60]. Liczba punktów uzyskana podczas opisanego badania pozwala na ocenę zaawansowania dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych [60, 73, 74]. Pacjenci nie posiadający dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych uzyskują 0 punktów, grupę taką oznacza się jako Di0 [73, 74]. Uzyskanie odpowiednio 1-4 punktów - to niewielka dysfunkcja, charakteryzująca się łagodnymi objawami. Jest to grupa dysfunkcyjna I oznaczana jako DiI [60, 73, 74]. W grupie tej odnotowuje się od 1 do 4 z następujących objawów (objawy łagodne): odchylenia żuchwy podczas ruchu opuszczania bądź podnoszenia, kliknięcia bądź trzeszczenie stawów skroniowo-żuchwowych, wrażliwość podczas badania palpacyjnego stawów (1-3 miejsca), wrażliwość nad stawem skroniowo-żuchwowym, ból związany z 1 ruchem żuchwy, maksymalne otwarcie ust w granicach 30-39 mm lub ruch poziomy w zakresie 4-6 mm [73] 5-9 punktów - średnia dysfunkcja, oznaczana jako DiII, występują tutaj objawy umiarkowane [60, 72, 73]. W grupie DiIII występuje co najmniej

jednen z objawów łagodnych, połączony jest on jednak z objawem poważnym, albo też 5 objawów łagodnych. Do objawów poważnych zalicza się: blokowanie bądź zwichnięcie stawów skroniowo-żuchwowych, wrażliwość w czterech lub więcej miejsc mięśni żucia, wrażliwość na dotyk w tylnej części stawów, ból związany z dwoma lub więcej ruchami żuchwy, maksymalne otwarcie ust <30 mm lub jeden lub więcej ruchów poziomych <4 mm [73]. Ostatnia z grup to grupa dysfunkcyjna 3 (DiIII), której ilość punktów mieści się w przedziale 10-25. Grupa ta wykazuje objawy zaawansowane, dysfunkcje te uznaje się za ciężkie [60, 72]. W grupie tej odnotowuje się od 2 do 5 ciężkich objawów połączonych z dowolnym objawem łagodnym [73].

Innym sposobem oceny SSŻ jest badanie ruchomości stawu skroniowo-żuchwowego. Można wyróżnić tutaj trzy badania: ruchy czynne, ruchy bierne oraz badanie gry stawowej [75].

Podczas pierwszego z badań – ruchów czynnych - pacjent wykonuje ruchy, za które odpowiadają stawy skroniowo-żuchwowe, czyli obniżanie/podnoszenie żuchwy, przesuwanie żuchwy na boki, a także wysuwanie żuchwy do przodu. Na podstawie wykonanych ruchów terapeuta może ocenić zakres ruchu oraz to jakie różnice występują między prawidłowym fizjologicznym przebiegiem ruchu [75].

Drugim z badań są ruchy bierne, podczas których pacjent siedzi, a po jego lewej stronie stoi terapeuta. Obejmuje on prawą ręką głowę pacjenta, tak że mały palec umieszczony jest bezpośrednio za stawem skroniowo-żuchwowym. Lewa ręka terapeuty obejmuje natomiast żuchwę pacjenta i wykonuje ruchy, za które odpowiada staw skroniowo-żuchwowy. Na koniec badania testowane jest czucie końcowe. Możliwe jest również wykonanie nacisku, który ma na celu określenie wywołania objawów bólowych [75].

Ostatnim jest badanie gry stawowej. Polega ono na wykonaniu, przez terapeutę, ruchu przesunięcia/translacji w stawie skroniowo-żuchwowym. Ruch ten może się odbywać na dwa różne sposoby: prostopadle lub równoległe do płaszczyzny stawowej. W trakcie badania stawy skroniowo-żuchwowe wykonują ruchy we wszystkich możliwych dla niego kierunkach [75].

W diagnostyce dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych stosuje się również zdjęcia ortopantomograficzne (OPG). Pozwalają one na wykrycie zaawansowanych zmian kostnych wyrostka kłykciowego. Metoda ta ma jednak również wady. Podczas badania żuchwa znajduje się w częściowym rozwarciu i protruzji. Wpływa to więc na to, że uzyskane

informacje nie są uznawane za jednoznaczne na temat ułożenia żuchwy w dole stawowym [76]. Badanie to nie pozwala na ocenę krążka stawowego [77].

Inną metodą diagnostyczną dysfunkcji stawów skroniowych-żuchwowych jest rezonans magnetyczny (MRI) [10–12]. Badanie to pozwala na uzyskanie obrazów w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej. MRI umożliwia ukazanie położenia krążka stawowego oraz tkanek miękkich, które go otaczają. Według piśmiennictwa nieprawidłowości w położeniu krążka, które widoczne są na zdjęciach, można zaobserwować u 26-38% badanych [76]. Obrazowanie za pomocą rezonansu magnetycznego uznawane jest za najbardziej przydatne narzędzie do oceny tkanek miękkich [12].

Stwierdzono, że obrazowanie za pomocą rezonansu magnetycznego jest w 95% dokładne przy ocenie położenia krążka stawów skroniowo-żuchwowych oraz w 93% w ocenie zmian kostnych stawu [78].

Inną metodę diagnostyczną stawów skroniowo-żuchwowych stanowi tomografia komputerowa, CT [11]. Jest ona uznawana za przydatną do oceny zmian chorobowych oraz następstw urazów, takich jak np. złamania [13]. Jednak w przypadku oceny położenia krążka stawowego metoda ta sprawia trudności techniczne, nie jest więc przeważnie stosowana w ocenie funkcjonowania stawów skroniowo-żuchwowych [76].

Metodą, która znajduje coraz szersze zastosowanie w diagnostyce stawów skroniowo-żuchwowych, jest natomiast CBCT, ang. Cone Beam Computed Tomography. CBCT umożliwia uzyskanie trójwymiarowego obrazu [76]. Metoda ta znajduje szerokie zastosowanie w dziedzinie stomatologii, w tym także w badaniach stawów skroniowo-żuchwowych [79, 80]. Jej zaletą jest niska ekspozycja na promieniowanie [76]. Dawka promieniowania jest około 10-krotnie mniejsza niż w przypadku tomografii komputerowej [81].

Innym rodzajem badań stawów skroniowo-żuchwowych są badania z wykorzystaniem ultradźwięków. Do nich zaliczany jest ARCUS-digma, który stanowi narzędzie, rejestrujące ruchy żuchwy na podstawie ruchów czujników ultradźwiękowych. Narzędziem wykorzystującym ultradźwięki do diagnostyki dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych jest również Zebris JMA. Jest on systemem nagrywania, który sterowany jest komputerowo. Zawiera dwa łuki pomiarowe, górny i dolny. Na łuku dolnym umieszczone są źródła generujące ultradźwięki o różnej intensywności [14].

5. Czaszka

5.1. Budowa czaszki - wielkość

Wielkość czaszki człowieka wynosi około 1400 cm^3 [47]. Jednak w zależności od płci, jej rozmiary będą się różnić. Nooranipour i Farahani [82] przeprowadzili badania, które miały na celu określenie wielkości czaszki oraz wagi mózgu u mężczyzn i kobiet pochodzenia irańskiego w wieku 18-22 lata. Badania te zostały przeprowadzone na grupie 772 pacjentów, 452 kobietach i 320 mężczyznach. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wykazano, że pojemność czaszki u mężczyzn wynosiła $(1340 \pm 110) \text{ cm}^3$, natomiast u kobiet $(1160 \pm 120) \text{ cm}^3$. Badania wykazały występowanie istotnej statystycznie różnicy przy porównaniu pojemności czaszki u kobiet i mężczyzn, poziom istotności, jaki został przyjęty, to 0,05. W latach 80 przeprowadzone również zostały badania, w których wykonano pomiary dla 20 000 czaszek. Badania te wykazały, że średnie wielkości czaszek zależne były od miejsca zamieszkania. Dla Azjatów, Europejczyków i Afrykanów wynosiły one odpowiednio: 1415 cm^3 , 1362 cm^3 i 1268 cm^3 . Autorzy pracy zwracają jednak uwagę, że czynnikami decydującymi o uzyskanych wynikach mogą być uwarunkowania genetyczne i czynniki środowiskowe [82].

Czynnikiem, który również może charakteryzować czaszkę, jest tzw. indeks cefaliczny (ang. cranial index, IC). Wyznacza się go na podstawie równania, uwzględniającego maksymalną szerokość czaszki oraz jego maksymalną długość, przedstawionego poniżej.

$$IC = \frac{\text{maksymalna szerokość czaszki}}{\text{maksymalna długość czaszki}} \cdot 100 \quad (32)$$

Przeprowadzono badanie mające na celu przedstawienie wartości indeksu u pacjentów narodowości tajskiej. W badaniu wzięło udział 185 pacjentów powyżej 18 roku życia (69 kobiet i 116 mężczyzn). Autorzy na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzili, że średnia wielkość czaszek mężczyzn jest większa niż średnia wielkość czaszek kobiet. U mężczyzn średnia maksymalna długość i szerokość czaszki wynosiła odpowiednio: 174,25mm i 142,38mm, natomiast u kobiet było to odpowiednio: 166,85mm (maksymalna długość czaszki) i 138,25mm (maksymalna szerokość czaszki).

Średnia wartość indeksu cefalicznego u mężczyzn pochodzenia tajskiego wynosiła więc $(81,81 \pm 4,23)$, natomiast u kobiet $(82,99 \pm 4,37)$. Na podstawie badań stwierdzono, że czaszki mężczyzn są większe od czaszek kobiet. Przy ich porównaniu występuje istotna statystycznie

różnica ($p < 0,01$). Nie odnotowano natomiast statystycznie istotnej różnicy przy porównaniu indeksu cefalicznego u kobiet i mężczyzn, pochodzących z Tajlandii. W pracy przedstawiono również wyniki badania przeprowadzonego przez zespół Han'a. Zbadał on indeks cefaliczny u Koreańczyków. Badania przeprowadzono na grupie 120 pacjentów (39 kobietach i 81 mężczyznach). Uzyskano następujące wartości indeksu, dla mężczyzn ($82,7 \pm 4,8$) oraz dla kobiet ($84,9 \pm 5,2$) [83].

5.2. Badania czaszki

Hashimoto i wsp. [84] przeprowadzili badania, które miały na celu określenie przenoszenia drgań między czaszką a żuchwą podczas zmiany pozycji żuchwy. Badania te zostały przeprowadzone na zdrowych wolontariuszach, 13 mężczyznach w wieku 25 do 40 lat z prawidłowym uzębieniem. Średni wiek pacjentów z odchyleniem standardowym wynosił ($31,6 \pm 6,1$) lat. Wykluczeni z badania zostali pacjenci, u których stwierdzono braki w uzębieniu (za wyjątkiem trzecich zębów trzonowych) oraz którzy posiadali symptomy mogące świadczyć o występowaniu dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych. Podczas badań mierzono procentową zmianę drgań zachodzącą na drodze czaszka – żuchwa. Zmiany zmierzone zostały dla 12 różnych pozycji żuchwy (żuchwy prawie zamkniętej, otwartej kolejno na: 10, 20, 30 i 40mm, maksymalnie otwartej, na prawym i lewym kle, krawędzi siekacza, maksymalnym wychyleniu w prawo i lewo, maksymalnym wysunięciu do przodu). Podczas pomiarów wibrator został umieszczony na szczycie czaszki pacjenta. Akcelerometry natomiast umieszczone zostały na powierzchni policzkowej odpowiadającej danemu zębowi za pomocą żywicy akrylowej i cementowi cyjanoakrylowemu. Na podstawie przeprowadzonych badań zaobserwowano, że większa zmiana drgań następowała przy pozycji otwarcia ust, natomiast mniejsze zmiany wibracji następowały przy ruchu bocznym oraz przy wysunięciu szczęki [84].

Podczas swoich badań Akan i wsp. [85] sprawdzali, czy występuje zależność między rodzajem dźwięku a wadą zgryzu. Sprawdzona została relacja między dźwiękiem wydawanym przez stawy skroniowo-żuchwowe podczas leczenia ortodontycznego. Łącznie udział w badaniu wzięło 32 pacjentów w wieku 9-13 lat, którzy przydzieleni zostali do jednej z dwóch grup. 11 pacjentów zakwalifikowanych zostało do grupy ze zgryzem krzyżowym oraz 21 pacjentów z wadami zgryzu klasy II typu 1. Przed przystąpieniem do właściwej części pacjenci zostali poddani badaniom za pomocą metod klasycznych (badanie palpacyjne oraz

osłuchanie). Pomiary wykonane zostały dla obu stawów skroniowo-żuchwowych, prawego i lewego.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że spadek drgań stawów skroniowo-żuchwowych uważany jest za objaw poprawy stanu stawów. W przypadku pacjentów z wadami zgryzu klasy II typu 1 obserwowano nasilenie dźwięków podczas leczenia, inaczej było dla pacjentów z bocznym zgryzem krzyżowym, gdzie zaobserwowano zmniejszenie nasilenia dźwięków [85].

Ogütçen – Toller [86] w swoich badaniach analizował nagrania dźwiękowe, które zarejestrowane zostały dla stawów skroniowo-żuchwowych. Praca ta miała na celu ocenę stanu stawów skroniowo-żuchwowych. Łącznie przebadanych zostało 64 pacjentów, z czego 12 stanowiło grupę kontrolną. Osoby poddane badaniu były w wieku od 15 do 43 lat. 34 spośród przebadanych pacjentów stanowiły kobiety (co stanowiło 65,35% badanych). Rejestracja dźwięków została przeprowadzona dla ruchu opuszczania/podnoszenia żuchwy, wysuwania żuchwy do przodu oraz przesuwania jej na boki.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można ocenić nasilenie zaburzeń, co może być pomocne w diagnostyce stawów skroniowo-żuchwowych. Klikanie i trzeszczenie stawów skroniowo-żuchwowych uznano za objaw nieprawidłowo funkcjonujących stawów skroniowo-żuchwowych. Jednak brak kliknięć czy trzeszczenia stawów skroniowo-żuchwowych nie powinien powodować uznania stawów skroniowo-żuchwowych za zdrowe [86].

Innymi analizami czaszki były badania postępów leczenia w zgryzie krzyżowym. W badaniu Kecik i wsp. [87] udział wzięło 35 pacjentów, 20 dziewcząt i 15 chłopców. Grupa kontrolna składała się z 31 pacjentów, 18 dziewcząt i 13 chłopców. Wiek wszystkich osób wynosił około 10 lat. Dzieci w tej grupie zostały poddane badaniom uwzględniającym również stan stawów skroniowo-żuchwowych oraz badanie palpacyjne mięśni żwaczy. Pomiary przeprowadzone zostały w grupie kontrolnej, a także w grupie badanej. W grupie badanej przeprowadzono pomiary przed leczeniem i 6 miesięcy po jego zastosowaniu. Z każdego badania uzyskano następujące wyniki: cefalometrię boczną (RTG czaszki w pozycji bocznej) oraz przednią, radiogram SMV, przezczaszkowy radiogram stawów skroniowo-żuchwowych oraz analizę drgań stawów i elektromiografię mięśni żwaczy. U pacjentów obarczonych zgryzem krzyżowym zaobserwowano zwiększenie wibracji w porównaniu do grupy kontrolnej [87].

Deng i wsp. [88] podczas prowadzonych badań zajęli się analizą kształtu fali elektrosonograficznej dla dźwięków, jakie zarejestrowane zostały dla stawów skroniowo-żuchwowych. Badania przeprowadzone zostały na grupie 40 wolontariuszy (10 pacjentów ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi (NP, ang. normal people), 10 pacjentów z przemieszczonym krążkiem stawowym z redukcją (DDR, ang. disc displacement with reduction) oraz 20 pacjentów z przemieszczeniem krążka bez redukcji (DDNR, ang. disc displacement without reduction). Wśród osób, u których zaobserwowano przesunięcie krążka stawowego, z redukcją lub bez, były 23 kobiety i 7 mężczyzn w wieku 14 do 43 lat. 10 pacjentów zostało zakwalifikowanych do grupy kontrolnej (7 kobiet i 3 mężczyzn w wieku 20-22 lata). Żadna z osób grupy kontrolnej nie miała objawów bólowych stawów skroniowo-żuchwowych a także nie miała problemów z otwarciem ust. Wszystkie pomiary przeprowadzone zostały w dźwiękoszczelnym pomieszczeniu. Pacjenci podczas prowadzonych badań poinstruowani zostali o przebiegu badania. Na głowie pacjenta umieszczono słuchawki ESG, tak żeby przetworniki znajdowały się bezpośrednio nad stawami skroniowo-żuchwowymi. Początkowo dokonano pomiarów w naturalnym ułożeniu żuchwy, a następnie podczas otwierania ust przez pacjenta. Tempo opuszczania/podnoszenia żuchwy dyktowane było przez metronom. Podczas badania pacjenci otwierali buzię tak szeroko, jak było to możliwe. Rejestrowano trzy-cztery cykle, podczas których zaobserwować można cztery opuszczenia/podniesienia żuchwy.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników zaobserwowano różnicę dla częstotliwości uzyskanych dźwięków, były one jednak niewielkie przy porównaniu pacjentów z przemieszczonym krążkiem stawowym z redukcją oraz pacjentów z przemieszczeniem krążka bez redukcji. U pacjentów z przemieszczonym krążkiem stawowym z redukcją zakres zarejestrowanych częstotliwości mieścił się w przedziale 0-200Hz, u pacjentów z przemieszczeniem krążka bez redukcji zakres częstotliwości mieścił się w przedziale 0-250Hz [88].

II. CEL PRACY

Celem przeprowadzonych badań była ocena przydatności laserowej wibrometrii Dopplerowskiej w wykrywaniu dysfunkcji stawu skroniowo-żuchwowego.

Cele szczegółowe:

1. Czy możliwa jest rejestracja i analiza sygnału laserowej wibrometrii Dopplerowskiej drgań przyusznej części czaszki wywołanych ruchami w stawach skroniowo-żuchwowych?
2. Wyznaczenie parametrów sygnałów Dopplerowskich wrażliwych na występowania dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych.
3. Czy zastosowanie laserowej wibrometrii Dopplerowskiej pozwala na wczesne wykrywanie zaburzeń w stawach skroniowo-żuchwowych?

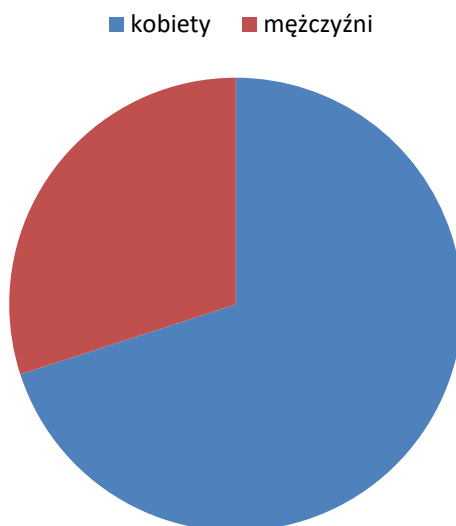
III. MATERIAŁ I METODY

1. Opis grupy badanej

W badaniu udział wzięli wolontariusze w wieku 20-35 lat, zarówno kobiety i mężczyźni. Wszyscy uczestnicy badania zakwalifikowani zostali do jednej z dwóch grup, osób bez dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych oraz osób z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych. W każdej z przebadanych grup było 30 osób. Poniższa tabela przedstawia podział grupy badanej, Tabela 5, Rycina 6.

Tabela 5. Podział grupy badanej

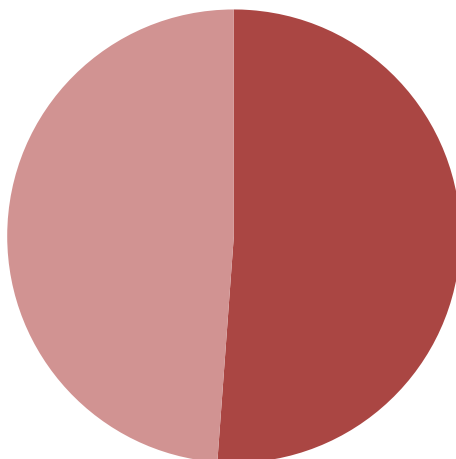
Pacjenci	60
Kobiety	43
Mężczyźni	17
Pacjenci bez dysfunkcji SSŻ	30 (22 kobiety, 8 mężczyzn)
Pacjenci z dysfunkcjami SSŻ	30 (21 kobiet, 9 mężczyzn)



Ryc. 6. Podział pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych

Kobiet biorących udział w badaniu było 43, co stanowiło 71,7%. W tej grupie 22 posiadały zdrowe stawy skroniowo-żuchwowe, a 21 było objętych dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych. Co odpowiednio stanowiło 51,2% i 48,8% uczestniczek badania, Rycina 7.

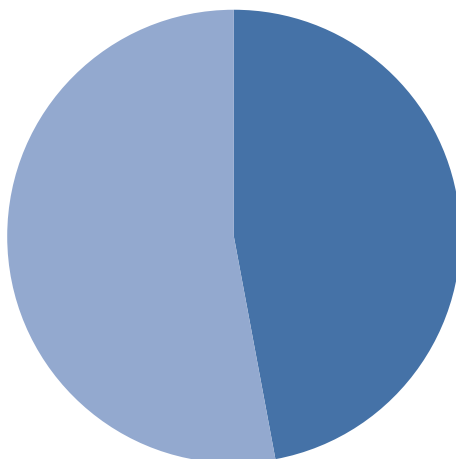
■ kobiety bez dysfunkcji SSŻ ■ kobiety z dysfunkcją SSŻ



Ryc. 7. Podział uczestniczek badania stawów skroniowo-żuchwowych

Mężczyźni biorący udział w badaniu stanowili 28,3% (17 mężczyzn) całej grupy. W tej grupie 8 zakwalifikowanych zostało do grupy bez dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych, a 9 do grupy objętej schorzeniami stawów. Stanowiło to odpowiednio 47,1% i 52,9%, Rycina 8.

■ mężczyźni bez dysfunkcji SSŻ ■ mężczyźni z dysfunkcją SSŻ



Ryc. 8. Podział uczestników badania stawów skroniowo-żuchwowych

Średni wiek pacjentów ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi wynosił (26 ± 4) lat. Mediana wieku tych pacjentów to 23,5 roku. Średni wiek kobiet, stanowiących 51,16% grupy ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi, to ($25,4 \pm 3,7$) lat. Mediana wieku kobiet nieobjętych schorzeniami stawów skroniowo-żuchwowych to 23 lata. Mężczyźni, nieobjęci

dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych, mieli średni wiek równy $(25,9 \pm 4,1)$ lat. Mediana ich wieku to 24 lata.

Średni wiek pacjentów posiadających zaburzenia czynnościowe stawów skroniowo-żuchwowych wynosił $(24,4 \pm 3,1)$ lat. Mediana wieku pacjentów tych pacjentów równa jest 23 lata. Średni wiek kobiet, których stawy skroniowo-żuchwowe objęte są dysfunkcjami skroniowo-żuchwowymi, wynosi $(24,3 \pm 2,4)$ lat, mediana dla tej grupy to 23 lata. Mężczyzn, ze schorzeniami stawów skroniowo-żuchwowych było 9, ich średni wiek wynosił $(24,7 \pm 4,3)$ lat.

Na przeprowadzenie badań uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu.

2. Metody badawcze

2.1. Badania kliniczne – palpacyjne

Przed rozpoczęciem właściwej części badania stawów skroniowo-żuchwowych za pomocą laserowej wibrometrii Dopplerowskiej pacjenci skierowani zostali na badanie palpacyjne stawów skroniowo-żuchwowych, które przeprowadzane było przez tego samego specjalistę.

Ocenę stawów skroniowo-żuchwowych profesjonalnie przeprowadził lekarz dentysta specjalista z zakresu chirurgii stomatologicznej z wykorzystaniem anamnestycznego i klinicznego wskaźnika dysfunkcji Helkimo przy biernym udziale doktorantki. Badanie miało dwie części anamnestyczną i kliniczną w oparciu o dwuczęściowy wskaźnik Helkimo z 1974 roku, często stosowany w badaniu dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych [72-74].

W anamnestycznym kwestionariuszu według Helkimo, pacjent udzielał subiektywnych odpowiedzi o braku dolegliwości ze strony stawów skroniowo-żuchwowych, co oznaczało AiH – 0, jeżeli dolegliwości były łagodne (uczucie zmęczenia lub sztywność szczęk, zwiększenie napięcia mięśniowego podczas ruchów żuchwy lub po przebudzeniu oraz dźwięki w stawie skroniowo-żuchwowym: szmery, trzaski lub trzeszczenia), oznaczało AiH – I, a silne dolegliwości (szczękościsku, przeskakiwaniu, bólu podczas ruchów żuchwy, bólu w obszarze mięśni żucia lub stawu skroniowo-żuchwowego lub trudności w szerokim otwieraniu ust) oznaczało AiH– II.

Badaniem klinicznym zgodnym z kliniczną częścią wskaźnika dysfunkcji Helkimo (Di), specjalista ustalał stopień ciężkości zaburzeń stawowych w oparciu o 5 objawów (A–E): A – zaburzony zasięg ruchu (oceniany na podstawie pomiarów maksymalnego otwarcia ust przez pacjenta), B – zaburzona czynność stawu skroniowo-żuchwowego (oceniana na podstawie przebiegu toru podczas otwierania i zamykania ust oraz ewentualnych objawów akustycznych), C – bóle mięśniowe (oceniane na podstawie palpacyjnego badania mięśni: żwacza, skroniowego i skrzydłowego bocznego), D – bóle stawu skroniowo-żuchwowego (tkliwość stawów oceniana w dwóch miejscach: małym palcem, przez zewnętrzny przewód słuchowy - oceniana tylna powierzchnia stawu oraz uciskając poprzez policzek boczną powierzchnię stawu), E – bóle podczas ruchu (stwierdzane na podstawie zgłoszenia bólu podczas wykonywania przez badanego ruchów żuchwy). Każdy z objawów oceniany był według skali ciężkości: 0 – brak objawów, 1 – umiarkowane objawy, 5 – zaawansowane objawy.

Tabela 6. Punktacja symptomów według klinicznej części wskaźnika Helkimo

	Parametr	0	1	5
A	Zaburzony zasięg ruchu	Odwodzenie > 39 mm Ruchy boczne > 6mm	Odwodzenie 36- 39 mm Ruchy boczne 4 – 6 mm	Odwodzenie <36 mm Ruchy boczne <4 mm
B	Zaburzona czynność stawu	Ruchy płynne, bez dewiacji	Objawy akustyczne w jednym lub obu stawach lub/i dewiacje większe niż 2 mm	Szczękościsk lub luksacja stawów
C	Bóle podczas ruchu	Brak dolegliwości bólowych	Ból podczas jednego kierunku ruchów	Ból podczas 2 lub więcej kierunków ruchów
D	Bóle mięśniowe	Brak dolegliwości bólowych	Tkliwość mięśni podczas badania w 1 miejscu	Ból mięśni podczas badania w kilku miejscach
E	Bóle stawu skroniowo-żuchwowego	Brak dolegliwości bólowych	Tkliwość okolicy bocznej	Ból w okolicy tylnej

Wyniki badania od 0 do 25 punktów ukazały zaawansowanie dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych, która wzrastała wprost proporcjonalnie do uzyskanej liczby punktów:

0 pkt – brak objawów klinicznych dysfunkcji, skrótowo nazwane DiH- 0;

1-4 pkt – niewielka dysfunkcja –skrótowo nazwana DiH - I;

5–9 pkt – średnia dysfunkcja – skrótowo nazwana DiH - II;

10–25 pkt – ciężka dysfunkcja - skrótowo nazwana DiH - III

Na podstawie przeprowadzonego badania utworzono 2 grupy pacjentów bez dysfunkcji i z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych. Do obu grup, grupy kontrolnej i badanej, zakwalifikowani zostali pacjenci w wieku między 20 a 35 rokiem życia. Do grupy pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych (grupa badana) zakwalifikowani zostali pacjenci, u których specjalista stwierdził zaburzenia czynności obu stawów skroniowo-żuchwowych bądź dominację dysfunkcji jednego z nich. Do grupy osób ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi (grupa kontrolna) zakwalifikowani zostali pacjenci, u których nie stwierdzono występowania dysfunkcji żadnego ze stawów. Następnie pacjenci poddawani zostali badaniom stawów skroniowo-żuchwowych za pomocą laserowej wibrometrii Dopplerowskiej. Jeżeli podczas badań osoby skarżyły się na dyskomfort bądź ból podczas wykonywania ruchów, za które odpowiadają stawy skroniowo-żuchwowe, zostały one wyłączone z grupy biorącej udział w badaniu.

Badanie palpacyjne stawów skroniowo-żuchwowych wykonuje się podczas rozwierania i zwierania szczęk. Jest ono wykonywane przez przewody słuchowe zewnętrzne, wykorzystuje się do tego palce wskazujące bądź palce piąte. Pozwala ono na ocenę ruchomości główek stawowych, przeskakiwanie, trzaski, a także trzeszczenie stawów skroniowo-żuchwowych, zgryz i zwarcie szczęki oraz szerokość ich rozwarcia [89].

Badanie palpacyjne, jak już wspomniano, pozwala na ocenę: stanu stawów skroniowo-żuchwowych i sposobu czy też czasu otwarcia i zamknięcia ust. Podczas tego badania można również usłyszeć kliknięcia, trzaski czy też trzeszczenie, które świadczą o dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych. Kliknięcia i trzaski związane są przemieszczeniem krążka stawowego, które może występować z ograniczeniem jego ruchomości lub bez jego ograniczenia. Skrzypienie bądź trzeszczenie może wskazywać na zmiany degeneracyjne stawów skroniowo-żuchwowych. Dźwięki te są trudne do wyeliminowania i mogą powodować uczucie dyskomfortu u pacjenta [90].

2.2.Laserowa wibrometria Dopplerowska

Laserowa wibrometria Dopplerowska stanowi bezkontaktową metodę pomiaru drgań, która wykorzystana została w przypadku prowadzonych badań do pomiaru drgań czaszki, jakie wywołane zostały ruchami w stawach skroniowo-żuchwowych. Rycina 9 przedstawia laserowy wibrometr Dopplerowski jednopunktowy PDV-100.



Ryc. 9. Laserowy wibrometr Dopplerowski PDV-100

Laserowa wibrometria Dopplerowska wykorzystuje wiązkę lasera helowo-neonowego. Wiązka ta nakierowana zostaje na skórę nad stawami skroniowo-żuchwowymi, miejsca te wcześniej zostały oznakowane za pomocą plasterków refleksyjnych. Plasterki te konieczne są, aby zapewnić odpowiednie odbicie wiązki laserowej do głowicy wibrometru. Aby pomiar mógł być uznany za prawidłowy, do głowicy lasera musi powrócić przynajmniej 60% światła. Ilość powracającego światła można określić na podstawie danych wyświetlanych na głowicy wibrometru. Rycina 10 prezentuje plasterek refleksyjny umieszczony na skórze nad stawem skroniowo-żuchwowym.



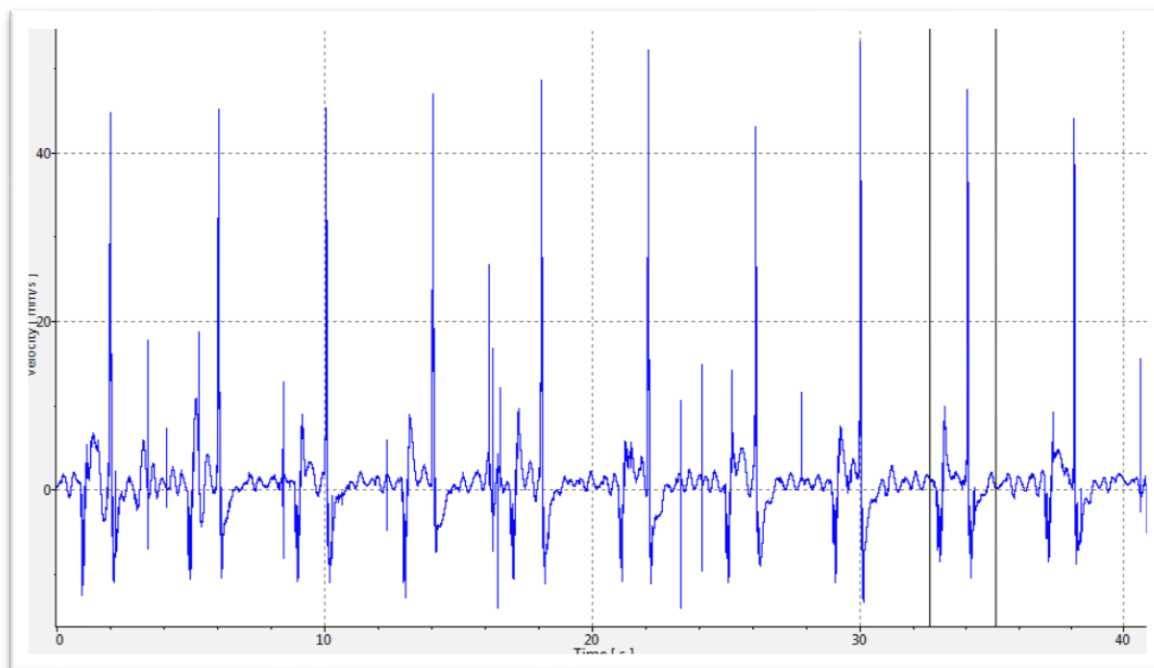
Ryc. 10. Plasterek refleksyjny naklejony na skórze nad stawem skroniowo-żuchwowym

Podczas badań drgań stawów skroniowo-żuchwowych pacjenci usadzani są na fotelu z zagłówkiem, na którym wsparta zostaje głowa pacjenta. W odległości ok. 50cm od stawów skroniowo-żuchwowych ustawiona zostaje głowica wibrometru. Pomiary za pomocą wibrometru mogą być wykonywane w odległości od 30cm do nawet 30m. Zastosowana w badaniach odległość była jednakowa dla wszystkich pacjentów. Rycina 11 przedstawia układ pomiarowy laserowej wibrometrii Dopplerowskiej.



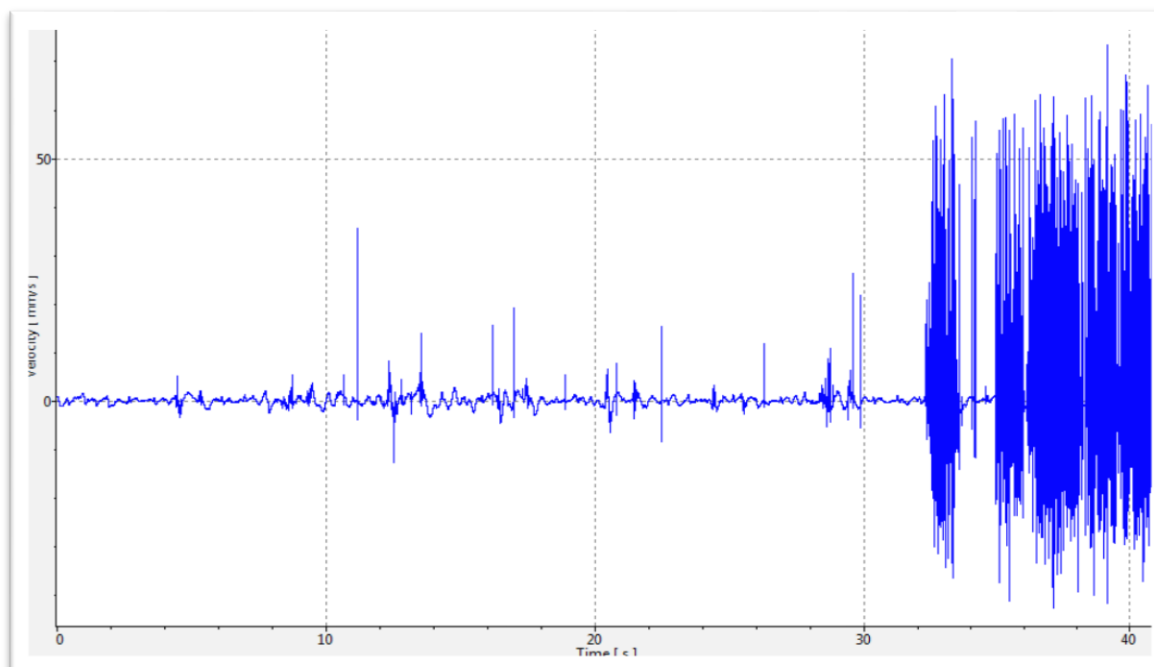
Ryc. 11. Układ pomiarowy do badań drgań stawów skroniowo-żuchwowych

Poniższa rycina przedstawia zapis sygnału podczas badania stawów skroniowych za pomocą laserowej wibrometrii Dopplerowskiej. Co dwie sekundy można zaobserwować zwiększenie amplitudy sygnału, które odpowiada ruchowi stawów skroniowo-żuchwowych. Kolejne dwie sekundy to chwila przerwy, a następnie kolejny ruch.



Ryc. 12. Zapis sygnału podczas badania u pacjenta ze zdrowym stawem skroniowo-żuchwowym – podczas ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy

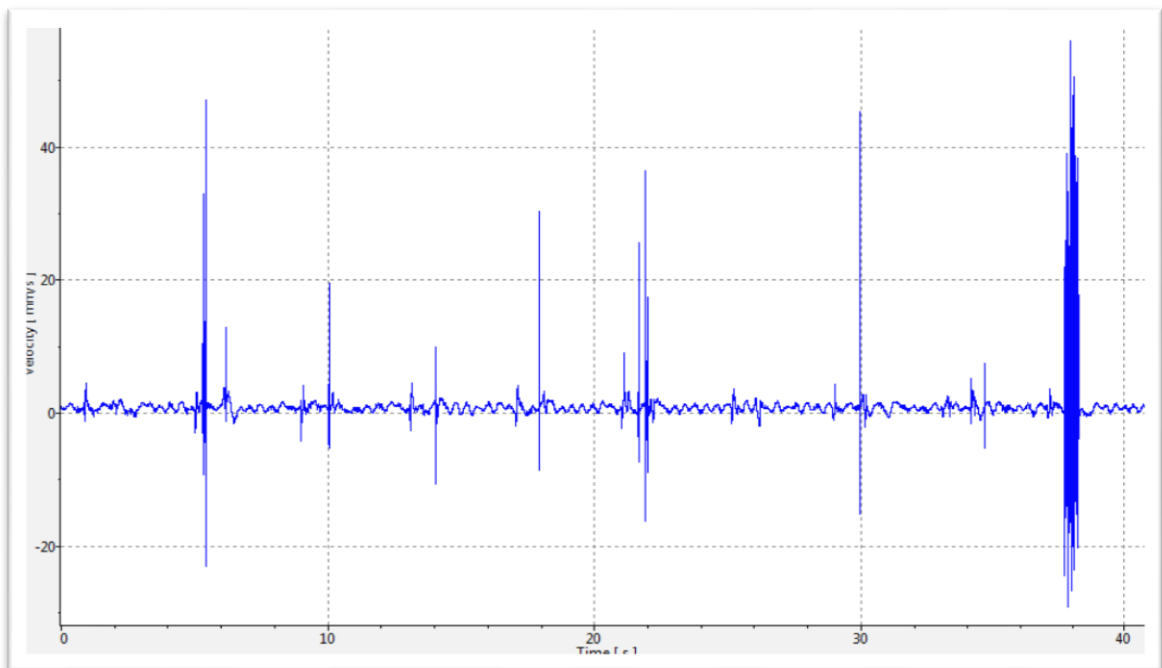
Laserna wibrometria Dopplerowska jest bardzo czułą metodą pomiaru drgań, pozwala ona na obserwację nawet niewielkich zakłóceń. Poniższe ryciny (Ryc. 13. i Ryc. 14.) przedstawiają dwa przykładowe rodzaje zakłóceń jakie zostały zarejestrowane.



Ryc. 13. Przykładowe zakłócenia zarejestrowane podczas pomiarów stawów skroniowo-żuchwowych. Zarejestrowane zakłócenia mogą być spowodowane przemieszczeniem się wiązki laserowej z plasterka refleksyjnego lub tym, że pacjent podczas badania zaczął mówić

Rycina 13 przedstawia przykładowe zakłócenia, można je zaobserwować od 32 sekundy. Mogą one być spowodowane przemieszczeniem się wiązki laserowej z plasterka refleksyjnego lub tym, że pacjent podczas badania zaczął mówić.

Rycina 14 również przedstawia zarejestrowane zakłócenie, które można zaobserwować około 38 sekundy. W tym przypadku zakłócenie to jest spowodowane uderzeniem o siebie zębów. Podczas badań pacjent proszony jest o to, aby nie powodować uderzania zębów o siebie, ponieważ dochodzi wtedy do zakłócenia sygnału, co można obserwować na poniższej rycinie.



Ryc. 14. Przykładowe zakłócenia zarejestrowane podczas pomiarów stawów skroniowo-żuchwowych. Zakłócenie spowodowane jest uderzeniem o siebie zębów

2.2.1. Szybka Transformata Fouriera

Transformata Fouriera stanowi narzędzie wykorzystywane w przetwarzaniu sygnału. Pozwala na przejście z dziedziny czasu na dziedzinę częstotliwości, a także odwrotnie, z dziedziny częstotliwości do dziedziny czasu [91]. W przypadku transformaty Fouriera wymaganym założeniem jest nieskończona długość sygnału poddawanego analizie. Klasyczna transformata Fouriera polega na całkowym przekształceniu ciągu sygnału. Dyskretna transformata Fouriera pozwala natomiast na przeprowadzenie sygnałów dyskretnych z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości. Całkowanie zastąpione jest w tym wypadku sumowaniem. Dyskretna transformata Fouriera ma następującą postać [92]:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \exp\left(-\frac{i2\pi nk}{N}\right), \quad (33)$$

gdzie:

$x[n]$ – analizowany sygnał w reprezentacji czasu,

N – całkowita liczba próbek,

$X[k]$ – dyskretna transformata Fouriera sygnału $x[n]$.

Równanie to pokazuje, że bez względu na to czy sygnał jest rzeczywisty czy zespolony transformata zawsze będzie zespolona. Zawiera ona więc dwa rodzaje informacji: amplitudę i fazę [92].

Ważnym zagadnieniem jest rozdzielczość częstotliwościowa, która prezentuje się następująco [92]:

$$\Delta f = \frac{f_s}{N} = \frac{1}{N\Delta t}, \quad (34)$$

gdzie:

f_s - częstotliwość próbkowania,

Δt - okres próbkowania,

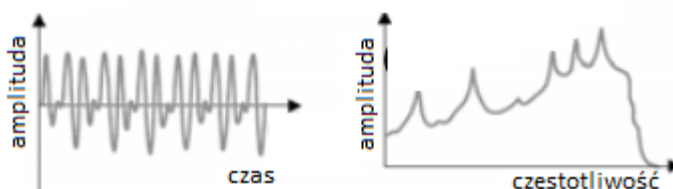
N – liczba próbek.

Zwiększenie rozdzielczości częstotliwościowej jest możliwe dzięki dwóm metodom. Pierwsza z nich zakłada zwiększenie liczby próbek przy niezmienionej częstotliwości próbkowania, co wydłużyć będzie czas rejestracji. Druga natomiast polega na zmniejszeniu częstotliwości próbkowania przy zachowaniu takiej samej liczby próbek [92].

Odmianą dyskretnej transformaty Fouriera jest szybka transformata Fouriera (FFT). FFT posiada dodatkowe ograniczenie, aby możliwe było jej zastosowanie, liczba próbek musi być całkowitą potęgą dwójki. Jeżeli, np. sygnał zawierać będzie 119 próbek, zmniejszenie do 64 próbek będzie powodowało utratę części informacji. Kolejną natomiast potęgą dwójki będzie 128. Występuje tutaj większa liczba próbek. Stosuje się więc metodę dodawania zer, czyli tzw. zero-padding. Metoda ta nie ma wpływu na rozdzielczość częstotliwościową, jej zadaniem jest wyłącznie umożliwienie analizy sygnału zawierającą liczbę próbek, która nie jest całkowitą potęgą dwójki [92].

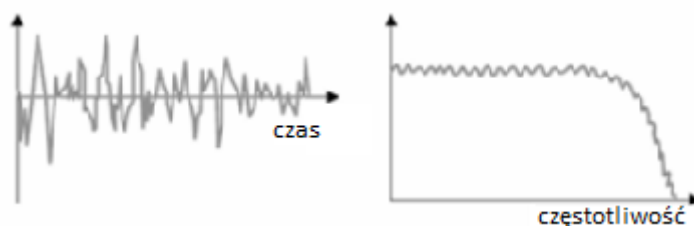
2.2.1.1. Okienka

Sygnałem nazywa się przebieg dowolnej wielkości fizycznej w zależności od czasu [1]. Sygnały dzieli się na stacjonarne i niestacjonarne, te natomiast ulegają kolejnym podziałom. Odpowiednio na deterministyczne i losowe oraz ciągłe i przejściowe. Do sygnałów deterministycznych należą takie, gdzie chwilowa wartość w dowolnej chwili jest możliwa do przewidzenia, można je również rozłożyć na sinusoidy (Ryc. 15.) [25].



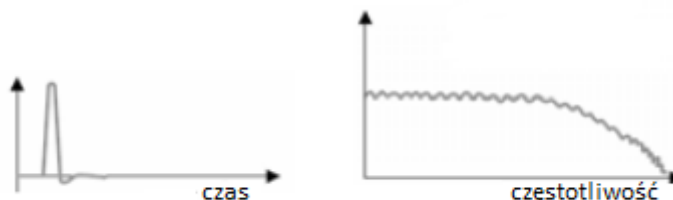
Ryc. 15. Przykładowe sygnały deterministyczne [93]

Sygnały losowe nie posiadają określonych składowych, mają one wartości przypadkowe, których nie można przewidzieć. Posiadają one natomiast wartość średnią. Widmo tego sygnału nie posiada charakterystycznych maksimum (Ryc. 16.) [93].



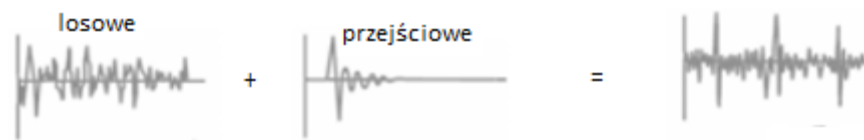
Ryc. 16. Przykładowe sygnały losowe [93]

Kolejnym rodzajem są sygnały przejściowe inaczej nazywane impulsowymi, w tym przypadku widmo częstotliwościowe jest w przybliżeniu płaskie. Powstający impuls mechaniczny jest krótkotrwały (Ryc. 17.) [93].



Ryc. 17. Przykładowe sygnały przejściowe [93]

Ostatni rodzaj to sygnały niestacjonarne ciągłe. Są one połączeniem sygnałów przejściowych oraz losowych. Mogą być więc traktowane jako losowe i rozłożone na impulsy i wtedy traktowane jako przejściowe (Ryc. 18.) [93].



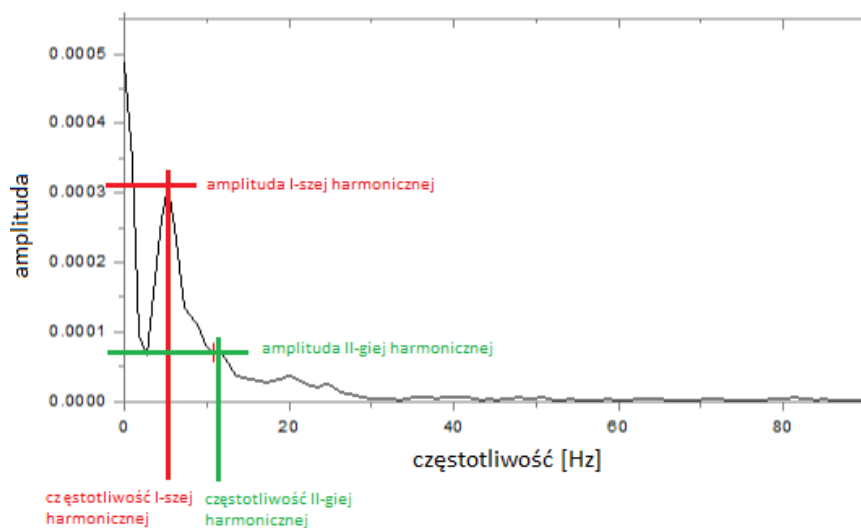
Ryc. 18. Przykładowe sygnały niestacjonarne ciągłe [93]

W zależności od rodzaju sygnału stosuje się odpowiednio dobrane okienka. Ich zadaniem jest zminimalizowanie przecieku, co pozwala na zaobserwowanie wyraźnego widma. Wyróżnia się kilka rodzajów okienek. Pierwszym z nich jest okno prostokątne, które używane jest do przebiegów niestacjonarnych, gdzie czas trwania jest krótszy niż czas okna. Okno to używane jest w przypadku sygnałów przejściowych. Jeżeli w tych sygnałach zostałyby użyte okno nieprostokątne, wpłynęłoby to na utratę rozdzielczości częstotliwościowej oraz deformację sygnału na jego końcach. Kolejnym okienkiem jest okno Hanninga, jest ono również przydatne w przebiegach niestacjonarnych, gdzie czas trwania jest dłuższy niż czas trwania okna. Okno Hanninga używane jest do ogólnego zastosowania. Okno Hamminga jest zmodyfikowanym oknem Hanninga, to okno nie sięga jednak do zera przy krawędziach. Podczas prowadzonych badań skorzystano z okna wykorzystywanego ogólnie, czyli okna Hanninga.

2.2.2. Wyznaczenie I i II harmonicznej oraz amplitud

Przeprowadzona szybka transformata Fouriera pozwoliła na wyznaczenie wartości częstotliwości I harmonicznej, II harmonicznej oraz ich amplitud. Uzyskane wartości amplitud zostały następnie poddane dalszej analizie. Wyznaczono ich stosunek.

Rycina 19 przedstawia sposób wyznaczenia częstotliwości I i II harmonicznej oraz ich amplitud.

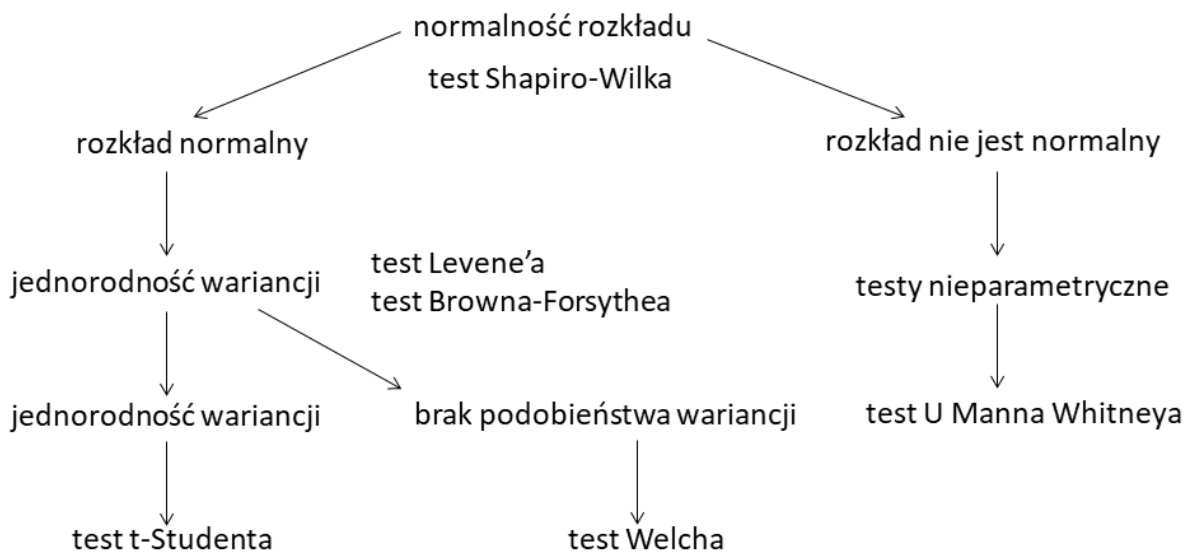


Ryc. 19. Wyznaczenie I-szej i II-giej harmonicznej oraz ich amplitud

2.2.3. Statystyka

Wszystkie uzyskane wyniki poddane zostają analizie statystycznej wykonanej za pomocą programu Statistica. Analiza statystyczna przeprowadzona została zarówno dla pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych oraz pacjentów nieobjętych tym schorzeniem. Statystyka przeprowadzona została dla wszystkich ruchów; obniżania/podnoszenia żuchwy, przesuwania żuchwy na boki oraz wysuwania żuchwy do przodu. Porównano wyniki uzyskane dla poszczególnych ruchów, dla obu stawów, oraz wyniki uzyskane przez pacjentów zdrowych oraz pacjentów objętych dysfunkcją.

Pierwszym etapem przy przeprowadzeniu analizy statystycznej było sprawdzenie normalności rozkładu za pomocą testu Shapiro-Wilka. W rozkładach, które wykazały cechy rozkładu normalnego, sprawdzono jednorodność wariancji za pomocą testu Levene'a i testu Browna-Forsythea. W przypadku zgodności wariancji przeprowadzono test t-Studenta. W przeciwnym wypadku zastosowano test Welcha. Jeżeli rozkład nie wykazał cech rozkładu normalnego, zastosowano testy nieparametryczne. Przeprowadzono wówczas test U Manna Whitneya. Rycina 20 przedstawia schemat postępowania przy analizie statystycznej.



Ryc. 20. Schemat przeprowadzania analizy statystycznej

Prócz powyżej opisanej statystyki przeprowadzono również analizę statystyczną, która miała na celu określenie korelacji między wiekiem pacjentów a uzyskaną częstotliwością drgań czaszki, jaka wywołana została ruchem w stawie skroniowo-żuchwowym, dla każdego z ruchów, dla pacjentów zdrowych i pacjentów, u których stwierdzono występowanie dysfunkcji badanego stawu. Sprawdzone normalność rozkładu dla wieku i uzyskanych

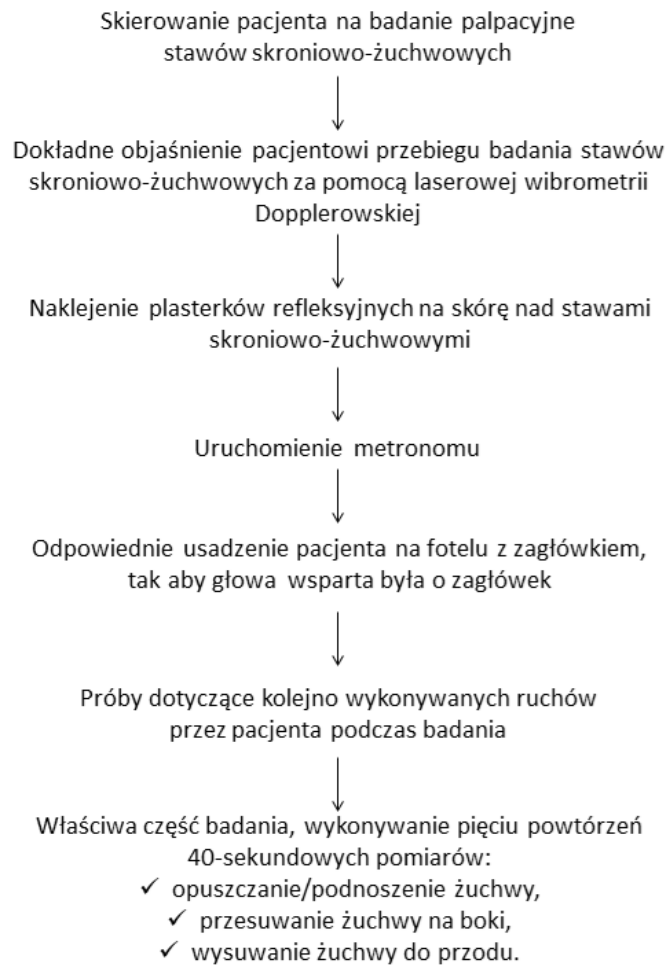
wyników za pomocą testu Shapiro-Wilka. W przypadku niezyskania dla któregoś z wyników rozkładu niewykazującego cech rozkładu normalnego, zastosowano testy nieparametryczne. Poziom istotności, jaki przyjęto podczas prowadzonej analizy statystycznej, jest równy 0,05.

Przeprowadzona została również analiza statystyczna mająca na celu określenie wystąpienia bądź braku wystąpienia statystycznie istotnej różnicy przy porównaniu wyników, jakie zostały uzyskane przez kobiety i mężczyzn biorących udział w badaniu, zarówno ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi, jak i stawami skroniowo-żuchwowymi z dysfunkcjami. Normalność rozkładu ponownie sprawdzono za pomocą testu Shapiro-Wilka. Uzyskanie rozkładu niewykazującego cech rozkładu normalnego spowodowało konieczność zastosowania testów nieparametrycznych. Użyto w tym celu testu U Manna-Whitneya.

3. Przebieg badania

Badanie w przypadku każdego pacjenta miało jednakowy przebieg. Przed przystąpieniem do badania stawów skroniowo-żuchwowych za pomocą laserowej wibrometrii Dopplerowskiej pacjenci skierowani zostali na badanie stawów do specjalisty. Tam podczas badania klinicznego specjalista określał, czy pacjent ma zachowaną prawidłową czynność stawów, czy też stawy obciążone dysfunkcją. Badanie palpacyjne przeprowadzane było przy opuszczaniu i podnoszeniu żuchwy. Podczas badania oceniana była ruchomość główek stawowych i towarzyszące przeskakiwania, trzaski oraz trzeszczenie [86]. Po badaniu klinicznym pacjenci poddawani zostali badaniu za pomocą wibrometru. Pacjentom objaśniono przebieg badania. Rozwarcie szczęk pozwoliło na określenie miejsca stawów skroniowo-żuchwowych. Następnie naklejono plasterki refleksyjne na skórę nad stawami pacjenta. Plasterki te konieczne były przy badaniu, gdyż zapewniały większy procent odbicia światła od powierzchni nad stawami. Uzyskiwany sygnał posiadał dzięki temu mniej artefaktów. Następnie pacjent został odpowiednio usadzony na fotelu z zagłówkiem. Głowa pacjenta była wsparta na zagłówku, tak aby jak najbardziej ograniczyć dodatkowe drgania. Podczas wykonywania następujących ruchów w stawach żuchwowo-skroniowych: opuszczanie i podnoszenie żuchwy, przesuwanie żuchwy na boki oraz wysuwanie żuchwy do przodu rejestrowano sygnały za pomocą wibrometru. Kolejnym krokiem było uruchomienie metronomu, w takt którego pacjent wykonywał rytmiczne ruchy w powtarzalnych okresach. Przeprowadzający badanie początkowo liczył uderzenia tak, aby pacjentowi łatwiej było wykonywać poszczególne ruchy. Wykonanych zostało kilka prób podczas których pacjent sam odliczał kiedy należy wykonywać ruchy. Miało to na celu nauczenie pacjenta

wykonywania ruchów w takt metronomu. Pacjent został również poinstruowany o tym, żeby nie uderzać zębami o siebie podczas wykonywania odpowiednich ruchów oraz o tym aby wykonywać ruchy żuchwy w granicach komfortu. Właściwa część badania obejmowała pięć powtórzeń 40-sekundowych pomiarów dla wszystkich ruchów: opuszczanie/podnoszenie żuchwy, przesuwanie żuchwy na boki oraz wysuwanie żuchwy na boki. Rycina 21 przedstawia kolejne etapy badania.



Ryc. 21. Kolejne etapy badania stawów skroniowo-żuchwowych za pomocą laserowej wibrometrii Dopplerowskiej

IV. WYNIKI BADAŃ

Przeprowadzono pomiary mające na celu określenie częstotliwości drgań czaszki wywołanych ruchem w stawie skroniowo-żuchwowym. Badania wykonane zostały u pacjentów ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi oraz u pacjentów, u których występują dysfunkcje stawów skroniowo-żuchwowych. Pomiary wykonane zostały dla ruchów, za które odpowiadają stawy skroniowo-żuchwowe, tj. opuszczenie i podnoszenie żuchwy, przesuwanie żuchwy na boki oraz wysuwanie żuchwy do przodu. Z badań wykluczeni zostali pacjenci, którzy nie byli w stanie wykonać danego ruchu ze względu na odczuwany dyskomfort bądź ból.

Na podstawie pomiarów wyznaczono wartość średnią I harmonicznej, II harmonicznej oraz ich amplitud i stosunku amplitudy II harmonicznej do amplitudy I harmonicznej.

Pierwszym ruchem dla którego zarejestrowano sygnały laserowej wibrometrii Dopplerowskiej było opuszczanie i podnoszenie żuchwy, następnie kolejno przesuwanie żuchwy na boki oraz wysuwanie żuchwy do przodu. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczono wartość I harmonicznej. Pomiary przeprowadzono zarówno dla pacjentów ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi, jak i pacjentów objętych schorzeniami stawów skroniowo-żuchwowych. Tabela 7 prezentuje wyniki częstotliwości drgań I harmonicznej dla poszczególnych ruchów. Wyniki te zaprezentowano również w postaci poniższych wykresów (Ryc. 22. – Ryc. 24.).

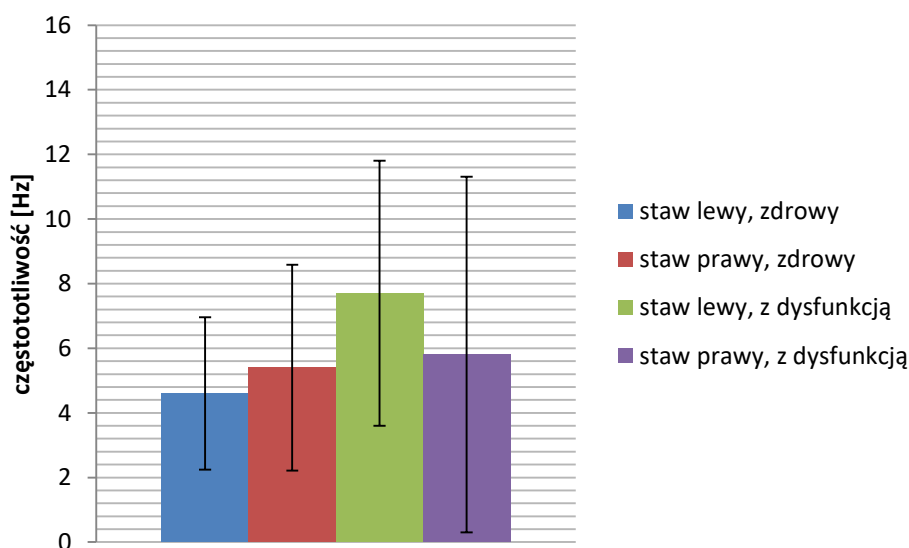
Uzyskane wyniki częstotliwości drgań I harmonicznej poddane zostały analizie statystycznej. Sprawdzone normalność rozkładu dla każdego z ruchów, dla pacjentów ze stawami skroniowo-żuchwowymi działającymi prawidłowo oraz u pacjentów objętych dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych. Normalność rozkładu sprawdzono za pomocą testu Shapiro-Wilka, poziom istotności, jaki został przyjęty, to 0,05. Tabela 7 prezentuje uzyskane wyniki.

Tabela 7. Średnie częstotliwości drgań I harmonicznej czaszki uzyskane przez pacjentów grupy kontrolnej i badanej podczas wszystkich ruchów. Sprawdzenie normalności rozkładu dla obu stawów, dla każdego z ruchów, dla grupy kontrolnej i badanej

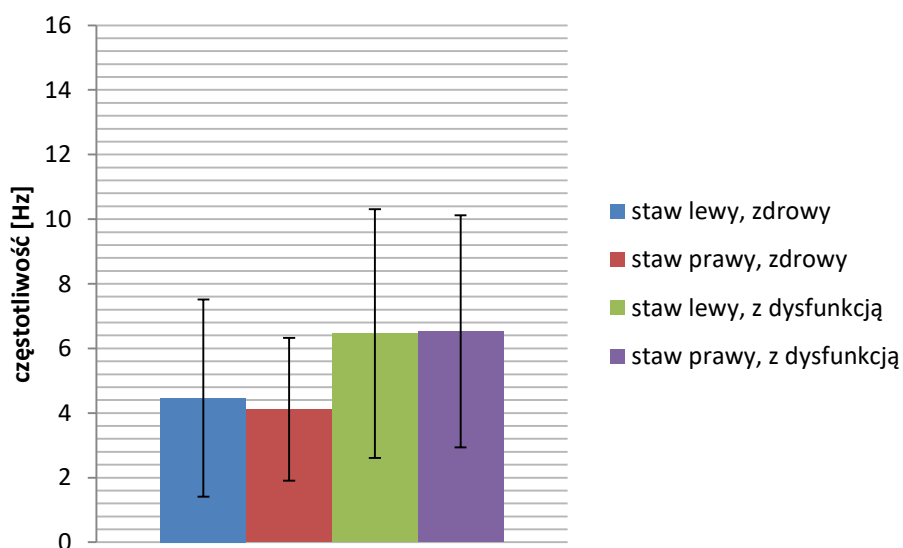
	Ruch Staw	SL, zdrowy		SP, zdrowy		SL, z dysfunkcją		SP, z dysfunkcją	
I harmoniczna, częstotliwość [Hz]	Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	4,6±2,4		5,4±3,2		7,7±4,1		5,8±5,5	
		normalność rozkładu	0,678*	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
	Przesuwanie żuchwy na boki	4,5±3,1		4,1±2,3		6,0±4,0		6,5±3,6	
		normalność rozkładu	<0,001	0,079*	0,060*	0,006	0,006	0,006	
	Wysuwanie żuchwy do przodu	5,0±3,0		5,5±2,6		5,3±2,2		6,8±3,3	
		normalność rozkładu	0,044	0,002	0,143*	0,894*	0,143*	0,894*	

*rozkład normalny

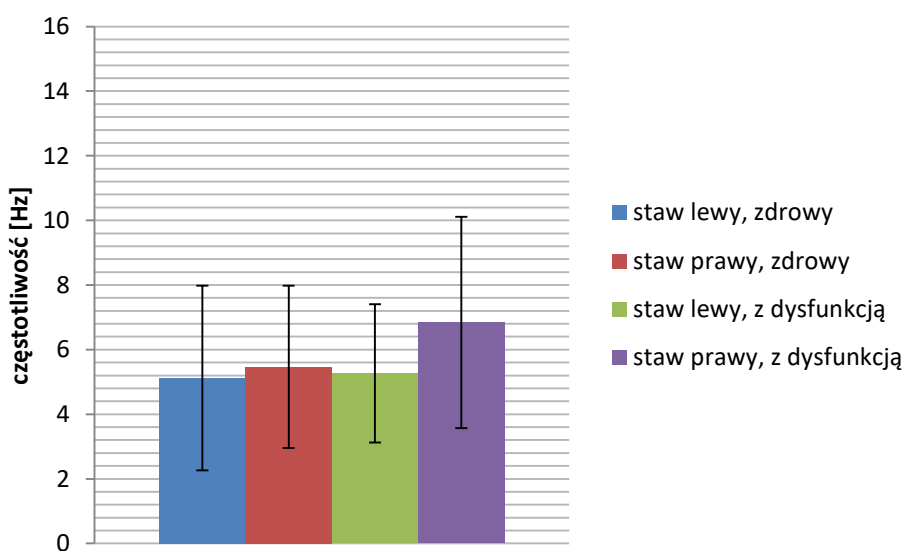
Rozkład wykazujący cechy rozkładu normalnego uzyskano dla następujących ruchów, dla stawów zdrowych: staw lewy- opuszczanie i podnoszenie żuchwy oraz staw prawy - przesuwanie żuchwy na boki; dla stawów objętych dysfunkcjami: staw prawy i lewy - wysuwanie żuchwy do przodu oraz w przypadku stawu lewego- przesuwanie żuchwy na boki. Dla pozostałych ruchów odnotowano rozkłady niewykazujące cech rozkładu normalnego.



Ryc. 22. Średnie częstotliwości drgań I harmonicznej czaszki uzyskane przez grupę kontrolną i badaną podczas ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy



Ryc. 23. Średnie częstotliwości drgań I harmonicznej czaszki uzyskane przez przez grupę kontrolną i badaną podczas ruchu przesuwania żuchwy na boki



Ryc. 24. Średnie częstotliwości drgań I harmonicznej czaszki uzyskane przez przez grupę kontrolną i badaną podczas ruchu wysuwania żuchwy do przodu

Uzyskane wyniki I harmonicznej poddane zostały analizie mającej na celu porównanie stanu stawów prawych i lewych u pacjentów zdrowych oraz stawów prawych i lewych u pacjentów objętych dysfunkcjami. Tabela 8 przedstawia uzyskane wyniki.

Tabela 8. Analiza statystyczna I harmonicznej, porównanie wyników pacjentów grupy kontrolnej (staw lewy i prawy) oraz pacjentów grupy badanej (staw lewy i prawy)

I harmoniczna	Występowanie bądź brak istotnie statystycznej różnicy dla porównania stawów lewego i prawego	Współczynnik korelacji dla stawów lewych i prawych	
	p-value	współczynnik R	p-value
Wysuwanie żuchwy do przodu, grupa kontrolna	0,589	0,206	0,275
Wysuwanie żuchwy do przodu, grupa badana	0,017*	0,398**	0,029*
Przesuwanie żuchwy na boki, grupa kontrolna	0,982	0,520**	0,003*
Przesuwanie żuchwy na boki, grupa badana	0,824	0,166	0,380
Opuszczanie i podnoszenie żuchwy, grupa kontrolna	0,438	0,331	0,073
Opuszczanie i podnoszenie żuchwy, grupa badana	0,959	0,157	0,407

*istotna statystycznie różnica
 ** istotna statystycznie korelacja

Statystycznie istotną różnicę odnotowano dla jednego z ruchów – wysuwania żuchwy do przodu dla stawów objętych dysfunkcjami. W tym też przypadku odnotowano statystycznie istotną korelację - na poziomie 0,398, co świadczy o niskiej korelacji. Korelację między uzyskanymi wynikami można zaobserwować również dla zdrowych stawów – przy przesuwaniu żuchwy na boki. Uzyskany wynik mówi tutaj o korelacji umiarkowanej.

Porównano również wyniki uzyskane dla grupy badanej oraz grupy kontrolnej. Normalność rozkładu dla danych ruchów przedstawia Tabela 7. Wyniki analizy statystycznej mającej na celu porównanie stawów działających prawidłowo oraz stawów z dysfunkcjami prezentuje Tabela 9.

Tabela 9. Ocena istotności różnic częstotliwości I harmonicznej pomiędzy grupą kontrolną a grupą badaną

Staw/ruch	p-value
SL, wysuwanie żuchwy do przodu	0,379
SP, wysuwanie żuchwy do przodu	0,025*
SL, przesuwanie żuchwy na boki	0,102
SP, przesuwanie żuchwy na boki	0,045*
SL, opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,112
SP, opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,525

*istotna statystycznie różnica

Statystycznie istotną różnicę zaobserwowano dla dwóch przypadków, dla porównania prawych stawów pacjentów zdrowych i pacjentów z dysfunkcjami stawów, podczas wysuwania żuchwy do przodu oraz przesuwania żuchwy na boki.

Przeprowadzono również analizę statystyczną mającą na celu porównanie częstotliwości I harmonicznej dla wszystkich ruchów (porównano opuszczanie i podnoszenie żuchwy, wysuwanie żuchwy do przodu oraz przesuwanie jej na boki w stawie lewym oraz prawym) u pacjentów zdrowych i pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych. Celem analizy było sprawdzenie, czy niezależnie od płaszczyzny ruchu, częstotliwości I harmonicznej są do siebie zbliżone. Tabela 10 prezentuje uzyskane wyniki.

Tabela 10. Porównanie wyników częstotliwości I harmonicznej dla wszystkich ruchów między sobą

		p-value
Grupa kontrolna	SL	0,670
	SP	0,875
Grupa badana	SL	0,875
	SP	0,162

Analizie statystycznej poddano również zależność częstotliwości I harmonicznej oraz wieku pacjentów. Przyjęto wartości rozkładów normalnych zaprezentowane w Tabeli 7, dla wszystkich ruchów. Sprawdzone również normalność rozkładu za pomocą testu Shapiro-

Wilka, dla wieku pacjentów. Zarówno dla osób ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi, jak i dla pacjentów z dysfunkcjami nie odnotowano rozkładu wykazującego cechy rozkładu normalnego. Uzyskane wyniki prezentuje Tabela 11.

Tabela 11. Korelacja wieku pacjenta a częstotliwości I harmonicznej, grupa kontrolna i grupa badana

		I-sza harmoniczna	Wartość R	p-value		Wartość R	p-value
Grupa kontrolna	SL	Wysuwanie żuchwy do przodu	0,458**	0,011*	Grupa badana	-0,113	0,551
		Przesuwanie żuchwy na boki	0,015	0,939		0,266	0,156
		Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	-0,089	0,641		-0,053	0,780
	SP	Wysuwanie żuchwy do przodu	0,157	0,408		0,250	0,182
		Przesuwanie żuchwy na boki	0,049	0,799		-0,027	0,887
		Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	-0,020	0,915		0,0215	0,254

*istotna statystycznie różnica
 ** istotna statystycznie korelacja

Wykonana analiza statystyczna wykazała występowanie statystycznie istotnej korelacji dla pacjentów ze zdrowymi stawami, przy porównaniu wieku i wyników I harmonicznej dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu. Uzyskana wartość korelacji 0,458 świadczy o korelacji umiarkowanej. Dla pozostałych korelacji nie uzyskano wyników istotnych statystycznie.

Przeprowadzono również analizę statystyczną mającą na celu określenie, wystąpienie bądź brak statystycznie istotnej różnicy w wynikach częstotliwości I harmonicznej uzyskanej przez kobiety i mężczyzn. Sprawdzone normalność rozkładu za pomocą testu Shapiro-Wilka. Uzyskane wyniki dla normalności rozkładu przedstawia Tabela 12.

Tabela 12. Normalność rozkładu I harmonicznej u kobiet i mężczyzn, w grupie kontrolnej i badanej

		Normalność rozkładu		p-value			p-value
Grupa kontrolna	kobiety	SL	Wysuwanie żuchwy do przodu	0,509*	Grupa badana		0,124*
			Przesuwanie żuchwy na boki	0,019		0,221*	
			Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,634*		<0,001	
		SP	Wysuwanie żuchwy do przodu	0,007		0,073*	
			Przesuwanie żuchwy na boki	0,074*		0,184*	
			Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	<0,001		<0,001	
	mężczyźni	SL	Wysuwanie żuchwy do przodu	0,001		0,822*	
			Przesuwanie żuchwy na boki	0,139*		0,629*	
			Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,618*		0,025	
		SP	Wysuwanie żuchwy do przodu	0,332*		0,892*	
			Przesuwanie żuchwy na boki	0,339*		0,043	
			Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,036		0,097*	

*rozkład normalny

Rozkład wykazujący cechy rozkładu normalnego zaobserwowano dla kobiet ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi, w przypadku ruchu stawu lewego: wysuwania żuchwy do przodu oraz opuszczania i podnoszenia żuchwy oraz stawu prawego: przy przesuwaniu żuchwy na boki. U pacjentek z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych rozkład normalny zaobserwowano dla obu stawów, dla ruchów: wysuwania żuchwy do przodu oraz przesuwania żuchwy na boki. W przypadku mężczyzn rozkład normalny dla stawów skroniowo-żuchwowych zdrowych zaobserwowano dla stawu lewego, dla ruchu przesuwania

żuchwy na boki oraz opuszczania i podnoszenia żuchwy, a także dla stawu prawego dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu oraz przesuwania żuchwy na boki. Dla pacjentów z dysfunkcją stawów skroniowo-żuchwowych rozkład normalny zaobserwowano dla stawu prawego i lewego dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu oraz dla stawu lewego podczas wysuwania żuchwy do przodu i stawu prawego dla opuszczania i podnoszenia żuchwy.

Przy porównaniu wyników częstotliwości I harmonicznej dla danego ruchu uzyskiwanego przez kobiety i mężczyzn zastosowano test U Manna-Whitneya oraz test t-Studenta. Wyniki porównania przedstawia Tabela 13.

Tabela 13. Porównanie wyników częstotliwości I harmonicznej uzyskanych przez kobiety i mężczyzn – analiza statystyczna

		I harmoniczna	p-value	
Grupa kontrolna	SL	Wysuwanie żuchwy do przodu	0,606	
		Przesuwanie żuchwy na boki	0,888	
		Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	p-value	0,762
	p Brn-For		0,057	
	p Levene		0,810	
	SP	Wysuwanie żuchwy do przodu	0,302	
		Przesuwanie żuchwy na boki	p-value	0,893
			p Brn-For	0,838
			p Levene	0,947
		Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,888	
Grupa badana	SL	Wysuwanie żuchwy do przodu	0,978	
		Przesuwanie żuchwy na boki	p-value	0,177
			p Brn-For	0,144
			p Levene	0,130
	Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,078		
	SP	Wysuwanie żuchwy do przodu	p-value	0,199
			p Brn-For	0,507
			p Levene	0,362
		Przesuwanie żuchwy na boki	0,239	
		Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,108	

Nie zaobserwowano statystycznie istotnej różnicy w wynikach uzyskanych przez kobiety oraz przez mężczyzn.

Grupę pacjentów objętych dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych podzielono również na dwie podgrupy, pacjentów u których występowała dysfunkcja dwustronna oraz pacjentów u których zaobserwowano dominację dysfunkcji po jednej ze stron. Tabela 14 oraz poniższe wykresy (Ryc. 25. i Ryc. 26.) przedstawiają wyniki uzyskane przez każdą z grup.

Wyniki uzyskane przez obie grupy zostały poddane analizie statystycznej. Dla każdego z ruchów, dla obu grup sprawdzono normalność rozkładu za pomocą testu Shapiro-Wilka. Tabela 14 przedstawia uzyskane wyniki dla normalności rozkładu.

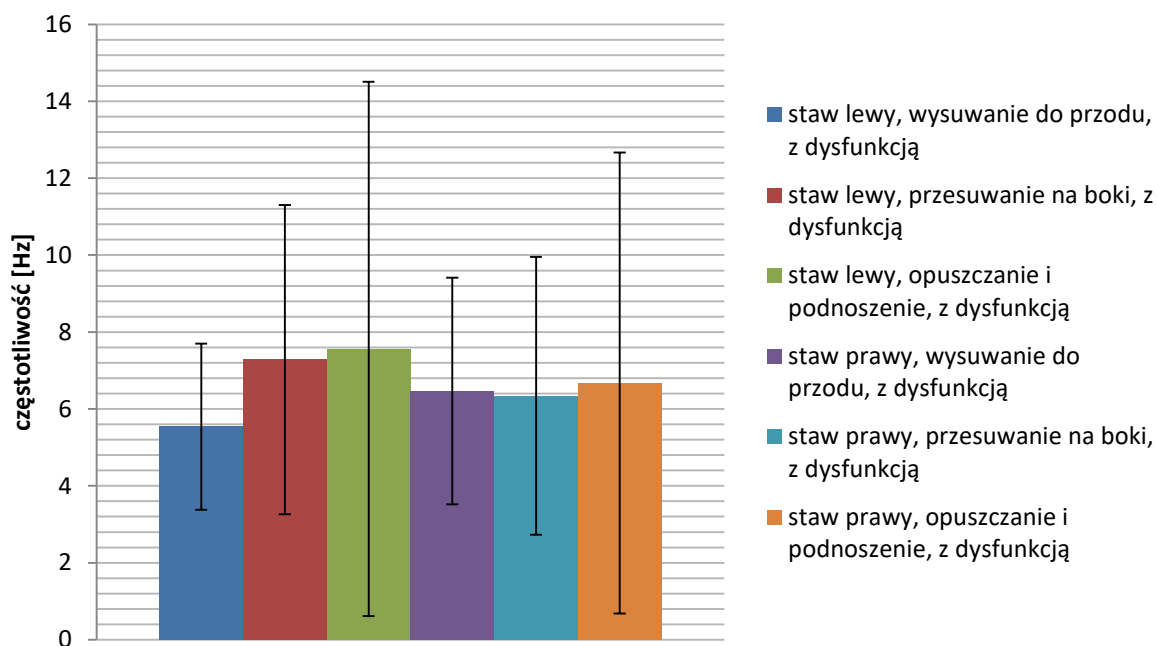
Tabela 14. Średnie częstotliwości drgań I harmoniczej oraz normalność rozkładu, uzyskane przez pacjentów z dysfunkcją dwustronną oraz przez pacjentów z dominacją dysfunkcji po jednej ze stron

I harmoniczna		Wysuwanie żuchwy do przodu	Przesuwanie żuchwy na boki	Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	Wysuwanie żuchwy do przodu	Przesuwanie żuchwy na boki	Opuszczanie i podnoszenie żuchwy
		SL			SP		
Dominacja dwustronna	Częstotliwość [Hz]	5,5±2,2	7,3±4,1	8,0±7,0	6,0±2,0	6,4±2,7	7,0±6,0
	Normalność rozkładu	0,670*	0,020	<0,001	0,955*	0,017	<0,001
Staw bez dominującej dysfunkcji				Staw z dominującą dysfunkcją			
Dominacja jednostronna	Częstotliwość [Hz]	5,4±3,5	6,4±5,3	7,0±6,0	7,2±5,4	5,2±2,9	5,0±4,0
	Normalność rozkładu	0,200*	0,389*	0,287*	0,728*	0,111*	0,138*

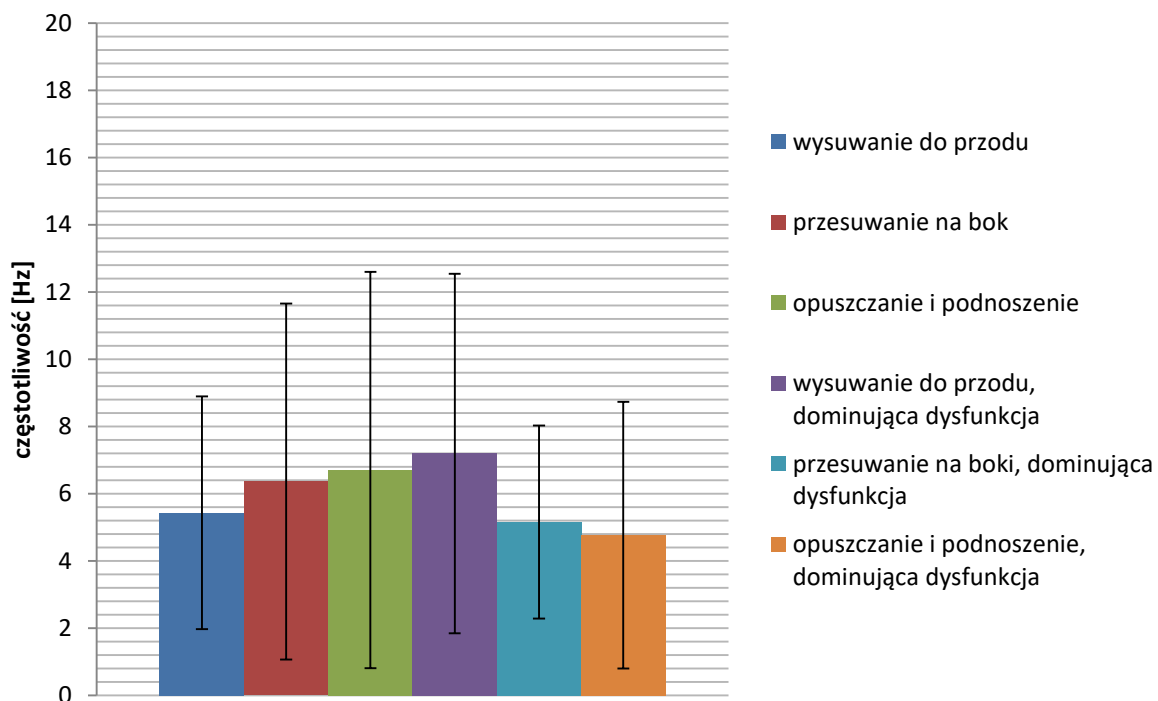
*rozkład normalny

Rozkład wykazujący cechy rozkładu normalnego zaobserwowano dla grupy z dwustronną

dysfunkcją, w przypadku dwóch ruchów: stawu lewego i stawu prawego podczas wysuwania żuchwy do przodu. Dla pacjentów, u których dominowała dysfunkcja po jednej ze stron, rozkład normalny zaobserwowano dla wszystkich ruchów.



Ryc. 25. Średnie częstotliwości drgań I harmoniczej uzyskane przez grupę z dwustronną dysfunkcją



Ryc. 26. Średnie częstotliwości drgań I harmoniczej uzyskane przez grupę z dominującą dysfunkcją po jednej ze stron

Uzyskane wyniki poddane zostały analizie statystycznej, gdzie porównano wyniki uzyskane przez oba stawy, dla każdej z grup. Tabela 15 prezentuje uzyskane wyniki.

Tabela 15. Porównanie częstotliwości I harmonicznej dla stawu lewego i prawego w grupie pacjentów z dysfunkcją dwustronną oraz pacjentów z dominującą dysfunkcją po jednej ze stron – wyniki analizy statystycznej

		p-value
Pacjenci z dysfunkcją dwustronną	Wysuwanie żuchwy do przodu	0,270
	Przesuwanie żuchwy na boki	0,761
	Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,353
Pacjenci z dysfunkcją dominującą po jednej ze stron	Wysuwanie żuchwy do przodu	0,202
	Przesuwanie żuchwy na boki	0,801
	Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,860

*istotna statystycznie różnica

Dla uzyskanych wyników nie zaobserwowano statystycznie istotnej różnicy.

Tak samo jak w przypadku I harmonicznej, również dla II harmonicznej wyznaczono wartości częstotliwości dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy, wysuwania żuchwy do przodu oraz przesuwania żuchwy na boki, dla pacjentów ze zdrowymi stawami oraz dla pacjentów obarczonych dysfunkcjami.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczono wartość II harmonicznej. Pomiary przeprowadzono zarówno dla pacjentów zdrowych, jak i pacjentów objętych dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych. Tabela 16 oraz wykresy (Ryc. 27. – Ryc. 29.) przedstawiają uzyskane wyniki.

Uzyskane wyniki częstotliwości drgań II-giej harmonicznej poddane zostały analizie statystycznej. Porównano wyniki uzyskane przez pacjentów ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi (staw prawy i lewy) oraz wyniki pacjentów z dysfunkcjami stawów

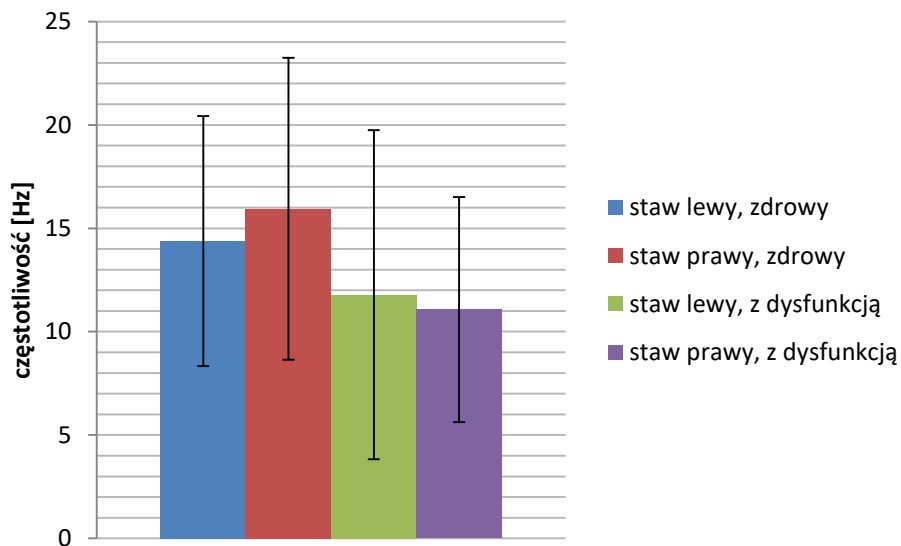
(staw prawy i lewy). Sprawdzono normalność rozkładów dla każdego z ruchów za pomocą testu Shapiro-Wilka. Uzyskane wyniki przedstawiono w Tabeli 16.

Tabela 16. Średnie częstotliwości drgań II harmonicznej czaszki uzyskane przez grupę kontrolną i badaną, dla wszystkich ruchów. Normalność rozkładu dla wszystkich ruchów, dla obu grup

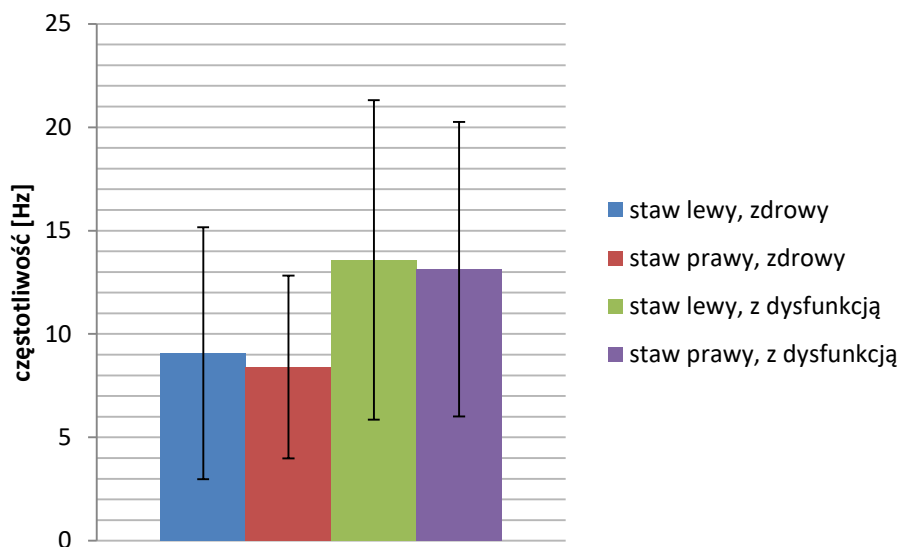
	Ruch Staw	SL, zdrowy		SP, zdrowy		SL, z dysfunkcją		SP, z dysfunkcją	
II harmoniczna, częstotliwość [Hz]	Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	14,4±6,1		15,9±7,3		12,0±8,0		11,1±5,5	
		normalność rozkładu	0,135*	0,163*	0,031	<0,001			
	Przesuwanie żuchwy na boki	9,1±6,1		8,4±4,5		13,6±7,8		13,1±7,2	
		normalność rozkładu	<0,001	0,079*	0,666*	0,003			
	Wysuwanie żuchwy do przodu	10,2±5,8		10,7±5,1		10,6±4,2		14,5±6,5	
		normalność rozkładu	0,044	0,002	0,143*	0,817*			

*rozkład normalny

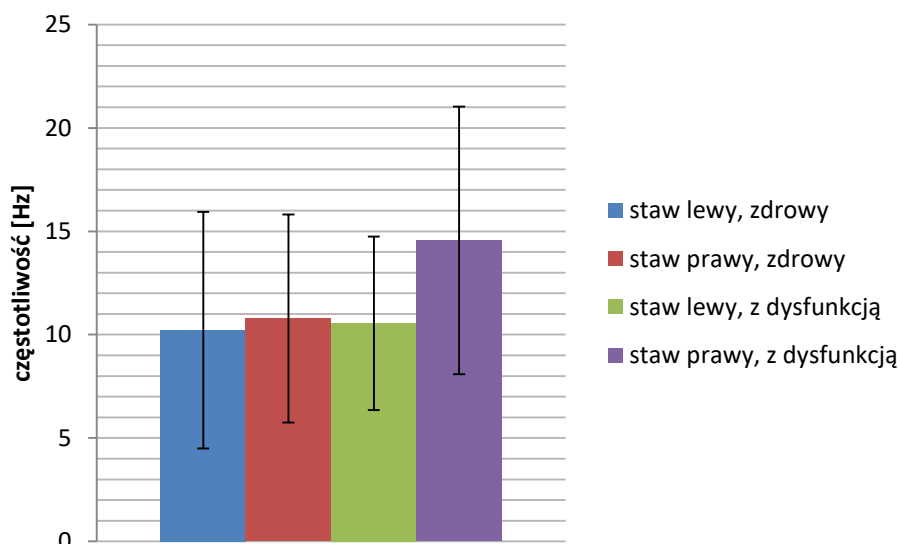
Rozkład normalny uzyskano dla następujących wyników, dla pacjentów ze zdrowymi stawami, dla ruchów: staw lewy – opuszczanie i podnoszenie żuchwy, staw prawy – przesuwanie żuchwy na boki oraz wysuwanie żuchwy do przodu. W przypadku pacjentów, u których występują stawy skroniowo-żuchwowe objęte dysfunkcjami rozkłady wykazujące cechy rozkładu normalnego, zaobserwowano dla: stawu lewego - wysuwanie żuchwy do przodu oraz przesuwanie żuchwy na boki, a także stawu prawego - wysuwanie żuchwy do przodu.



Ryc. 27. Średnie częstotliwości drgań II harmonicznej czaszki uzyskane przez grupę kontrolną i grupę badaną podczas ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy



Ryc. 28. Średnie częstotliwości drgań II harmonicznej czaszki uzyskane przez grupę kontrolną i grupę badaną podczas ruchu przesuwania żuchwy na boki



Ryc. 29. Średnie częstotliwości drgań II-giej harmonicznej czaszki uzyskane przez grupę kontrolną i grupę badaną, podczas wysuwania żuchwy do przodu

Uzyskane wyniki poddane zostały analizie statystycznej, która miała na celu porównanie wyników uzyskanych w obu stawach zdrowych oraz obu stawach, w których stwierdzono dysfunkcje. Tabela 17 przedstawia uzyskane wyniki.

Tabela 17. Porównanie wartości II harmonicznej dla stawu prawego i lewego, w grupie kontrolnej i grupie badanej

II-ga harmoniczna	Występowanie bądź brak istotnie statystycznej różnicy dla porównania stawów lewego i prawego
	p-value
Wysuwanie żuchwy do przodu, pacjenci ze zdrowymi stawami	0,404
Wysuwanie żuchwy do przodu, pacjenci z dysfunkcjami stawów	0,014*
Przesuwanie żuchwy na boki, pacjenci ze zdrowymi stawami	0,998
Przesuwanie żuchwy na boki, pacjenci z dysfunkcjami stawów	0,861
Opuszczanie i podnoszenie żuchwy, pacjenci ze zdrowymi stawami	0,193
Opuszczanie i podnoszenie żuchwy, pacjenci z dysfunkcjami stawów	0,465

*istotna statystycznie różnica

Statystycznie istotną różnicę zaobserwowano dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu, u pacjentów objętych dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych.

Porównano również wyniki częstotliwości II harmonicznej pacjentów ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi oraz pacjentów objętych schorzeniami stawów skroniowo-żuchwowych. Tabela 18 przedstawia uzyskane wyniki.

Tabela 18. Ocena istotności różnicy częstotliwości II harmonicznej pomiędzy grupą kontrolną a grupą badaną

Staw/ruch	p-value
SL, wysuwanie żuchwy do przodu	0,379
SP, wysuwanie żuchwy do przodu	0,048*
SL, przesuwanie żuchwy na boki	0,014*
SP, przesuwanie żuchwy na boki	0,007*
SL, opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,088
SP, opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,761

*istotna statystycznie różnica

Statystycznie istotną różnicę zaobserwowano przy porównaniu wyników pacjentów ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi oraz u pacjentów objętych dysfunkcjami, dla trzech ruchów, dla wysuwania żuchwy do przodu, dla stawów prawych oraz stawów prawych i lewych, podczas wysuwania żuchwy do przodu.

Wyznaczono również amplitudy I i II harmonicznej dla wszystkich ruchów. Średnie wartości amplitudy I harmonicznej dla wszystkich ruchów przedstawia Tabela 19 oraz wykresy (Ryc. 30. – Ryc. 32.).

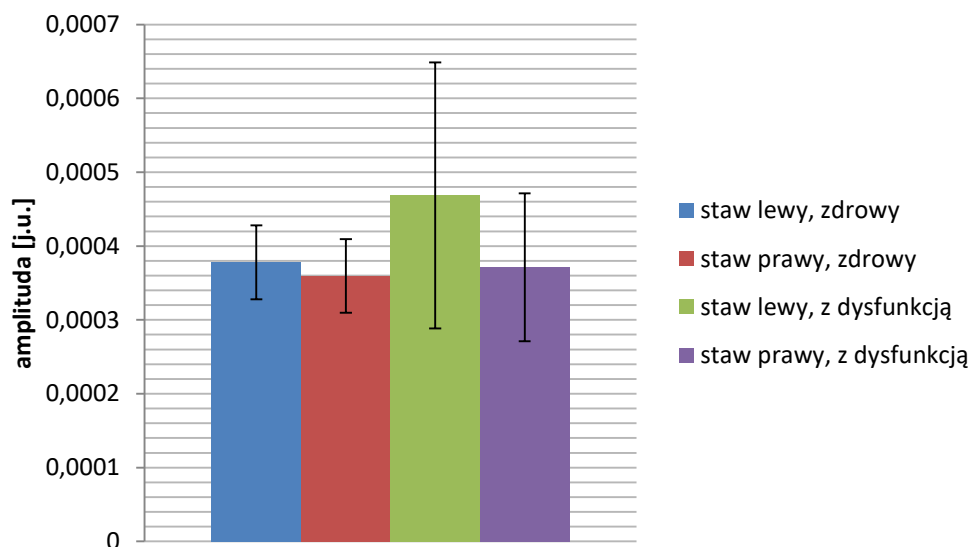
Sprawdzono normalność rozkładu dla każdego z ruchów, dla pacjentów ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi i pacjentów z dysfunkcjami stawów. Normalność rozkładu sprawdzono za pomocą testu Shapiro-Wilka, poziom istotności, jaki został przyjęty, to 0,05. Tabela 19 prezentuje uzyskane wyniki.

Tabela 19. Średnie wartości amplitudy I harmonicznej, dla wszystkich ruchów, dla grupy kontrolnej oraz grupy badanej. Normalność rozkładu dla wszystkich ruchów, dla obu grup

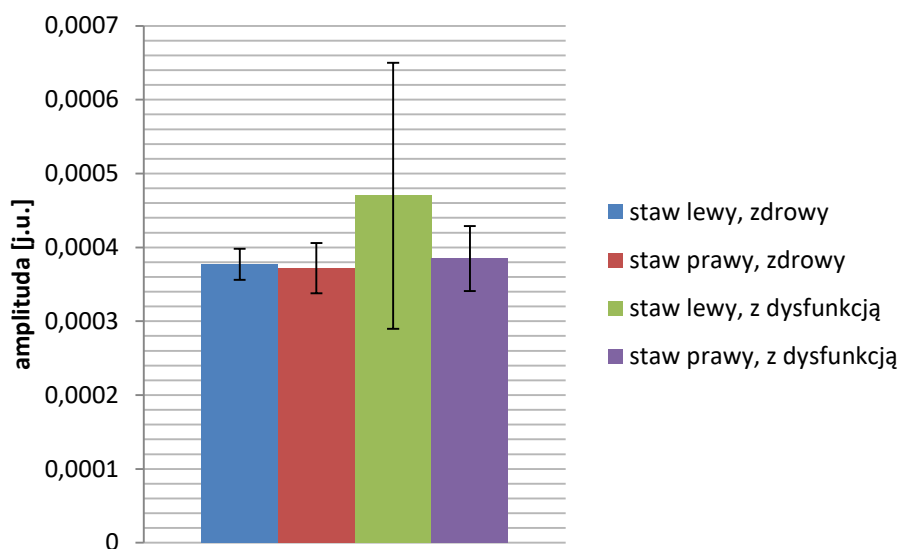
Ruch	Staw	SL, zdrowy	SP, zdrowy	SL, z dysfunkcją	SP, z dysfunkcją
Amplituda I harmonicznej	Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	$3,77 \cdot 10^{-4}$ $\pm 0,22 \cdot 10^{-4}$	$3,72 \cdot 10^{-4}$ $\pm 0,35 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-4} \pm 1,9 \cdot 10^{-4}$	$3,85 \cdot 10^{-4} \pm 0,44 \cdot 10^{-4}$
		normalność rozkładu	0,229*	0,005	<0,001
	Przesuwanie żuchwy na boki	$3,7 \cdot 10^{-4}$ $\pm 0,7 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$ $\pm 0,3 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$ $\pm 2,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$ $\pm 0,5 \cdot 10^{-4}$
		normalność rozkładu	<0,001	0,187*	<0,001
	Wysuwanie żuchwy do przodu	$3,78 \cdot 10^{-4}$ $\pm 0,28 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$ $\pm 0,3 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$ $\pm 1,9 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$ $\pm 0,9 \cdot 10^{-4}$
		normalność rozkładu	0,008	0,010	<0,001

*rozkład normalny

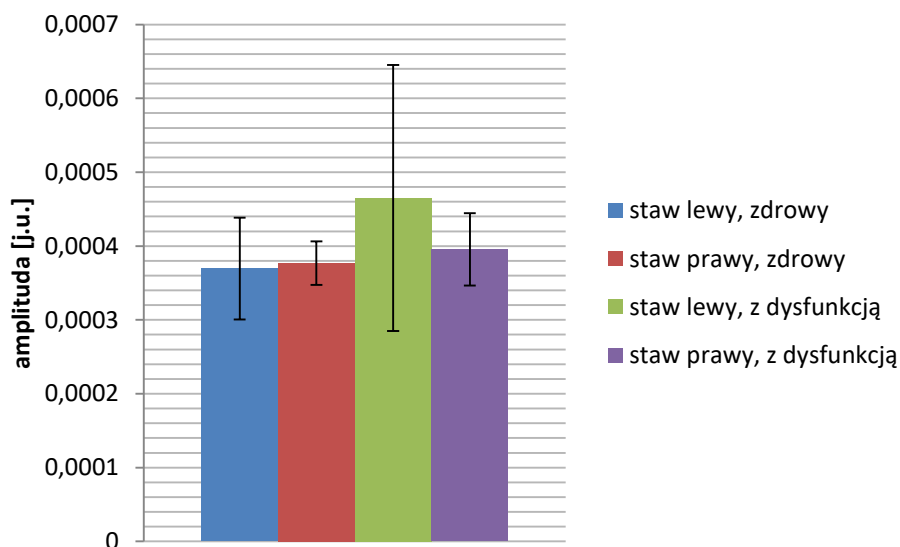
Na podstawie przeprowadzonej analizy zaobserwowano występowanie rozkładu wykazującego cechy rozkładu normalnego dla pacjentów ze zdrowymi stawami, stawu lewego podczas ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy oraz stawu prawego podczas przesuwania żuchwy na boki. W przypadku pacjentów objętych dysfunkcjami stawów rozkład normalny wykazano dla stawu prawego podczas ruchów: przesuwania żuchwy na boki oraz opuszczania i podnoszenia żuchwy. Dla pozostałych ruchów uzyskane rozkłady nie uzyskały cech rozkładu normalnego.



Ryc. 30. Średnie wartości amplitudy I harmonicznej dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu, dla grupy kontrolnej i grupy badanej



Ryc. 31. Średnie wartości amplitudy I harmonicznej dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy, dla grupy kontrolnej i grupy badanej



Ryc. 32. Średnie wartości amplitudy I harmonicznej przesuwania żuchwy na boki dla grupy kontrolnej i grupy badanej

Uzyskane wyniki poddane zostały analizie mającej na celu określenie wystąpienia bądź braku statystycznie istotnej różnicy w wynikach uzyskiwanych przez staw lewy i prawy, u pacjentów ze zdrowymi stawami oraz staw lewy i prawy u pacjentów obciążony dysfunkcją stawów. Tabela 20 przedstawia uzyskane wyniki.

Tabela 20. Porównanie wyników amplitudy I harmonicznej stawu lewego i prawego, dla grupy kontrolnej i badanej

I harmoniczna	Występowanie bądź brak istotnie statystycznej różnicy dla porównania stawów lewego i prawego
	p-value
Wysuwanie żuchwy do przodu, pacjenci ze zdrowymi stawami	0,004*
Wysuwanie żuchwy do przodu, pacjenci z dysfunkcjami stawów	0,262
Przesuwanie żuchwy na boki, pacjenci ze zdrowymi stawami	0,703
Przesuwanie żuchwy na boki, pacjenci z dysfunkcjami stawów	0,572
Opuszczanie i podnoszenie żuchwy, pacjenci ze zdrowymi stawami	0,491
Opuszczanie i podnoszenie pacjenci z dysfunkcjami stawów	0,049*

*istotna statystycznie różnica

Statystycznie istotną różnicę zaobserwowano dla dwóch ruchów, dla pacjentów zdrowych podczas wysuwania żuchwy do przodu oraz dla pacjentów objętych dysfunkcjami stawów dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy.

Analizie statystycznie poddano również wyniki badań pacjentów ze zdrowymi stawami oraz obarczonych dysfunkcjami. Celem analizy było porównanie wartości częstotliwości I harmonicznej uzyskanej przez pacjentów ze zdrowymi stawami oraz pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych. Tabela 21 prezentuje wyniki uzyskanej analizy statystycznej.

Tabela 21. Ocena istotności różnic amplitudy I harmonicznej pomiędzy grupą kontrolną i grupą badaną

Staw/ruch	p-value
SL, wysuwanie żuchwy do przodu	0,105
SP, wysuwanie żuchwy do przodu	0,126
SL, przesuwanie żuchwy na boki	0,539
SP, przesuwanie żuchwy na boki	0,078
SL, opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,009*
SP, opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,318

*istotna statystycznie różnica

Istotną statystycznie różnicę wykazano dla porównania stawów lewych u pacjentów zdrowych, dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy.

Amplitudy II harmonicznej zostały również wyznaczone dla wszystkich ruchów za które odpowiada staw skroniowo-żuchwowy. Tabela 22 oraz wykresy (Ryc. 33.-Ryc. 35.) przedstawiają uzyskane wyniki.

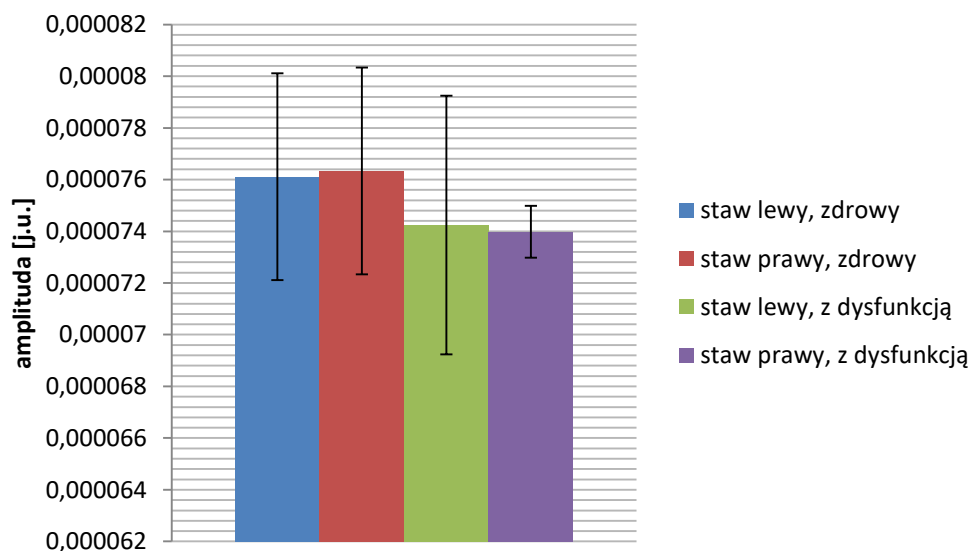
Uzyskane wyniki amplitudy II harmonicznej poddano analizie statystycznej. Pierwszym krokiem było sprawdzenie normalności rozkładu dla wszystkich ruchów, dla pacjentów zdrowych oraz pacjentów z dysfunkcjami stawów. Normalność sprawdzono za pomocą testu Shapiro-Wilka. Uzyskane wyniki normalności rozkładu przedstawiono w Tabeli 22.

Tabela 22. Średnie wartości amplitudy II harmonicznej, dla wszystkich ruchów dla grupy kontrolnej i grupy badanej. Normalność rozkładu dla wszystkich ruchów, dla obu grup

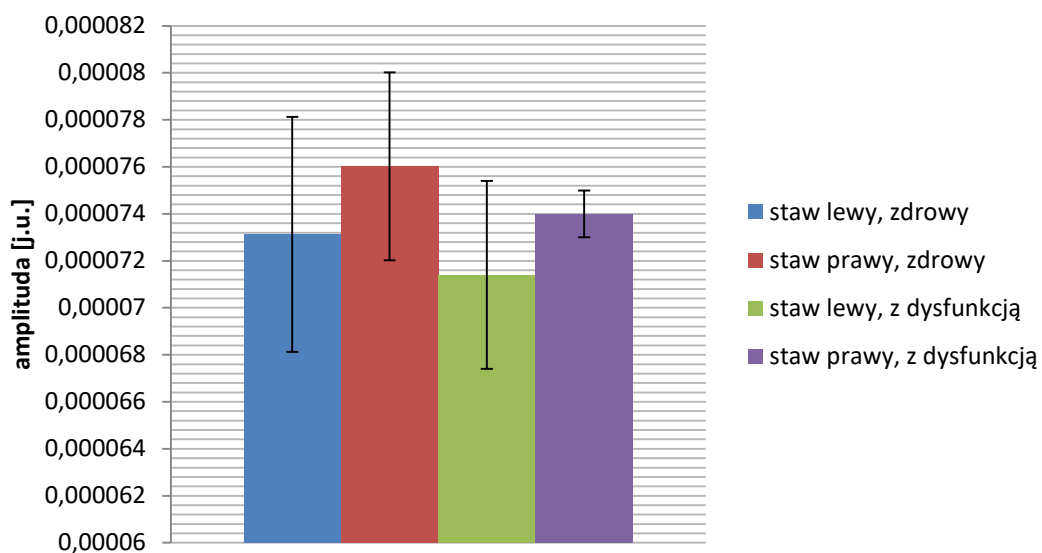
Ruch / Staw	SL, zdrowy		SP, zdrowy	SL, z dysfunkcją	SP, z dysfunkcją	
	Amplituda II harmonicznej	Opuszczanie i podnoszenie żuchwy		$7,3 \cdot 10^{-5}$ $\pm 0,5 \cdot 10^{-5}$	$7,60 \cdot 10^{-5}$ $\pm 0,36 \cdot 10^{-5}$	$7,14 \cdot 10^{-5}$ $\pm 0,42 \cdot 10^{-5}$
normalność rozkładu				0,006	0,073	0,013
Przesuwanie żuchwy na boki		$7,61 \cdot 10^{-5}$ $\pm 0,45 \cdot 10^{-5}$	$7,63 \cdot 10^{-5}$ $\pm 0,41 \cdot 10^{-5}$	$7,42 \cdot 10^{-5}$ $\pm 0,52 \cdot 10^{-5}$	$7,40 \cdot 10^{-5}$ $\pm 0,12 \cdot 10^{-5}$	
		normalność rozkładu	0,066*	0,040	0,001	0,002
Wysuwanie żuchwy do przodu		$7,5 \cdot 10^{-5}$ $\pm 0,4 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$ $\pm 0,5 \cdot 10^{-5}$	$7,38 \cdot 10^{-5}$ $\pm 0,51 \cdot 10^{-5}$	$7,42 \cdot 10^{-5}$ $\pm 0,11 \cdot 10^{-5}$	
		normalność rozkładu	0,032	0,107*	0,129*	0,004

*rozkład normalny

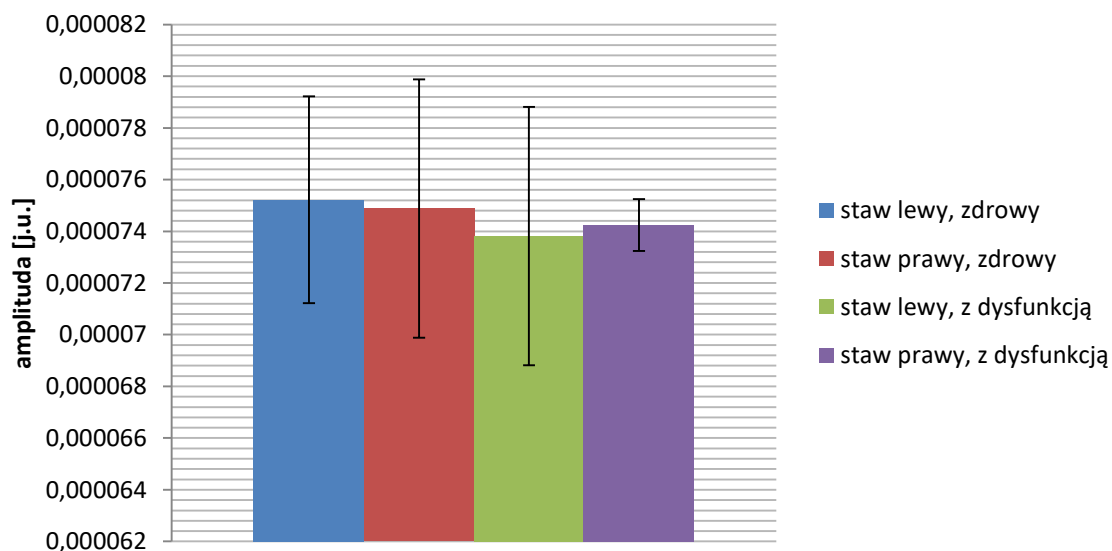
Na podstawie przeprowadzonej analizy rozkład wykazujący cechy rozkładu normalnego zaobserwowano dla dwóch ruchów. Dla stawów skroniowo-żuchwowych pacjentów zdrowych, dla stawu lewego - podczas ruchu przesuwania żuchwy na boki oraz dla pacjentów objętych schorzeniami, dla stawu lewego - podczas wysuwania żuchwy do przodu. Dla pozostałych ruchów, zarówno dla pacjentów zdrowych, jak i pacjentów objętych dysfunkcjami, nie odnotowano rozkładów wykazujących cechy rozkładu normalnego.



Ryc. 33. Średnie wartości amplitudy II harmonicznej dla ruchu przesuwania żuchwy na boki, dla grupy kontrolnej i grupy badanej



Ryc. 34. Średnie wartości amplitudy II harmonicznej dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy, dla grupy kontrolnej i grupy badanej



Ryc. 35. Średnie wartości amplitudy II harmonicznej dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu, dla grupy kontrolnej i grupy badanej

Porównano wyniki uzyskane przez pacjentów zdrowych (staw lewy i prawy) oraz wyniki uzyskane przez pacjentów obciążonych dysfunkcjami. Tabela 23 prezentuje wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej.

Tabela 23. Porównanie wyników amplitudy II harmonicznej stawu lewego i prawego, dla grupy kontrolnej i grupy badanej

II harmoniczna	Występowanie bądź brak istotnie statystycznej różnicy dla porównania stawów lewego i prawego
	p-value
Wysuwanie żuchwy do przodu, pacjenci ze zdrowymi stawami	0,688
Wysuwanie żuchwy do przodu, pacjenci z dysfunkcjami stawów	0,382
Przesuwanie żuchwy na boki, pacjenci ze zdrowymi stawami	0,823
Przesuwanie żuchwy na boki, pacjenci z dysfunkcjami stawów	0,614
Opuszczanie i podnoszenie żuchwy, pacjenci ze zdrowymi stawami	0,030*
Opuszczanie i podnoszenie żuchwy, pacjenci z dysfunkcjami stawów	0,003*

*statystycznie istotna różnica

Statystycznie istotną różnicę zaobserwowano dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy, zarówno przy porównaniu stawów skroniowo-żuchwowych pacjentów zdrowych, jak i pacjentów objętych dysfunkcjami.

Porównano również wyniki uzyskane dla pacjentów ze zdrowymi stawami i pacjentów objętych dysfunkcjami. Tabela 24 przedstawia wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej.

Tabela 24. Ocena istotności różnicy amplitudy II harmonicznej pomiędzy grupą kontrolną i grupą badaną

Staw/ruch	p-value
SL, wysuwanie żuchwy do przodu	0,201
SP, wysuwanie żuchwy do przodu	0,258
SL, przesuwanie żuchwy na boki	0,077
SP, przesuwanie żuchwy na boki	0,002*
SL, opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,176
SP, opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,003*

*statystycznie istotna różnica

Statystycznie istotną różnicę wykazano dla dwóch ruchów, dla stawu prawego, podczas przesuwania żuchwy na boki oraz opuszczania i podnoszenia żuchwy.

Wyznaczono również stosunek amplitudy II harmonicznej do amplitudy I harmonicznej. Tabela 25 oraz wykresy (Ryc. 36. i Ryc. 37.) przedstawiają uzyskane wyniki.

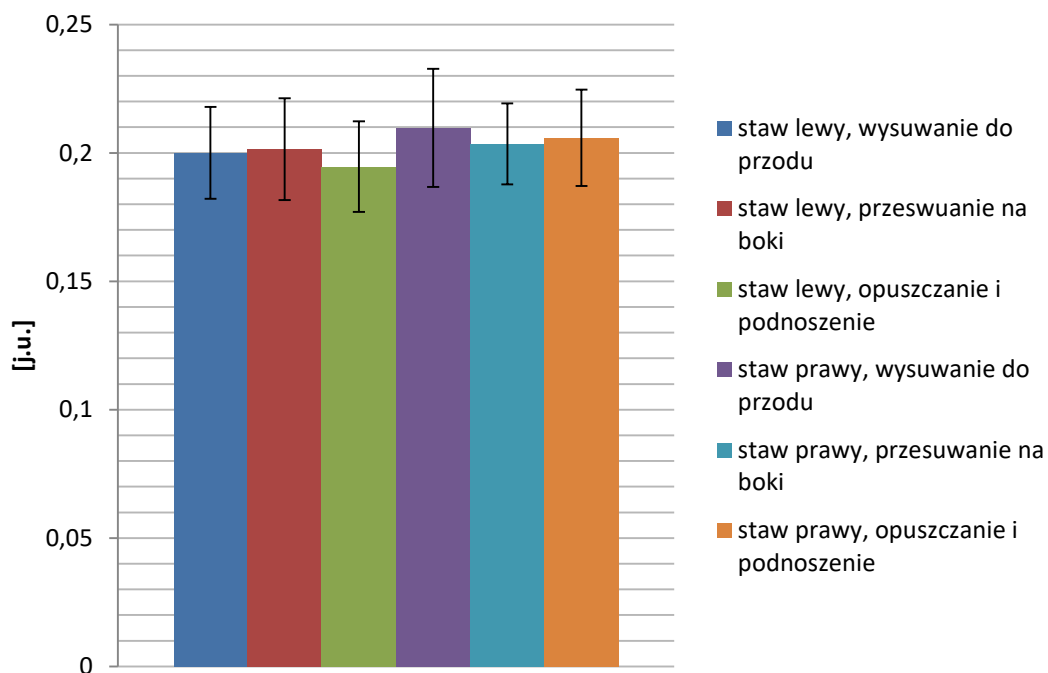
Dla uzyskanych wyników stosunku II harmonicznej do I harmonicznej przeprowadzono analizę statystyczną. Sprawdzone normalność rozkładu za pomocą testu Shapiro-Wilka. Uzyskane wyniki przedstawia Tabela 25.

Tabela 25. Stosunek amplitudy II harmoniczej do I harmoniczej. Normalność rozkładu dla wszystkich ruchów, dla obu grup

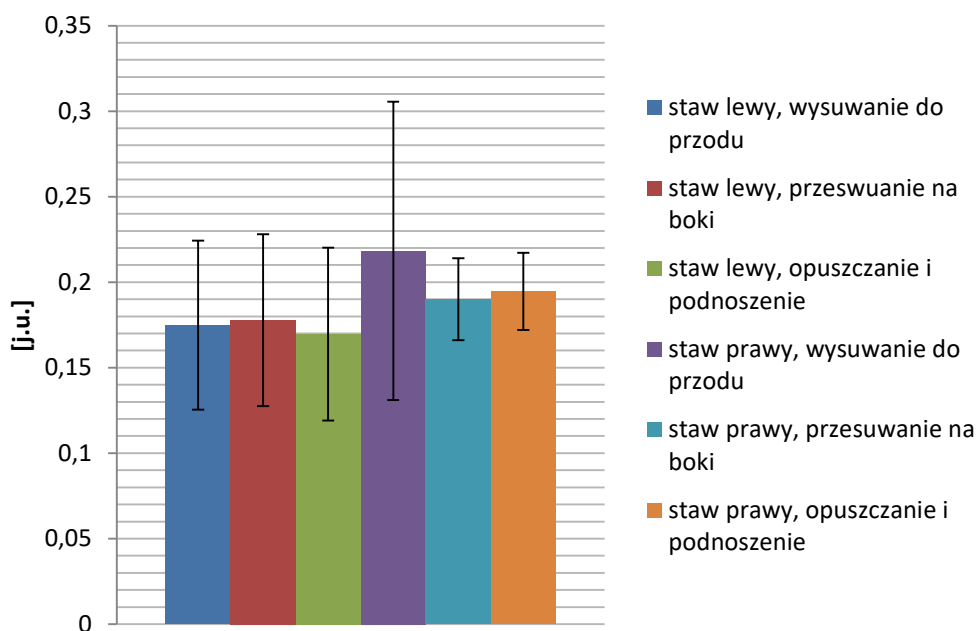
Grupa kontrolna						
SL			SP			
Wysuwanie żuchwy do przodu	Przesuwanie żuchwy na boki	Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	Wysuwanie żuchwy do przodu	Przesuwanie żuchwy na boki	Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	
0,20±0,02	0,20±0,02	0,20±0,02	0,209±0,02 4	0,203±0,01 6	0,21±0,02	
normlaność rozkładu	0,084*	<0,001	0,852*	0,276*	0,911*	0,397*
Grupa badana						
0,17±0,05	0,178±0,05 1	0,170±0,51	0,22±0,09	0,190±0,02 4	0,195±0,0 23	
normlaność rozkładu	0,002	<0,001	0,013	<0,001	0,014	0,080*

*rozkład normalny

Na podstawie przeprowadzonej analizy wykazano występowanie rozkładu normalnego dla następujących ruchów: dla pacjentów zdrowych, dla obu stawów, dla wszystkich ruchów za wyjątkiem stawu lewego podczas ruchu przesuwania żuchwy na boki. W przypadku pacjentów obarczonych dysfunkcjami podczas ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy, dla stawu prawego.



Ryc. 36. Stosunek amplitudy II harmonicznej do I harmonicznej – stawy skroniowo-żuchwowe pacjentów zdrowych



Ryc. 37. Stosunek amplitudy II harmonicznej do I harmonicznej – stawy skroniowo-żuchwowe pacjentów z dysfunkcjami stawów

Porównano wyniki uzyskane przez pacjentów zdrowych (staw lewy i prawy) oraz wyniki uzyskane przez pacjentów z zaburzeniami czynności stawów. Tabela 26 prezentuje wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej.

Tabela 26. Porównanie wyników stosunku amplitudy II harmonicznej do I harmonicznej stawu lewego i prawego dla grupy badanej i grupy kontrolnej

<u>amplituda II harmonicznej</u> <u>amplituda I harmonicznej</u>	Występowanie bądź brak istotnie statystycznej różnicy dla porównania stawów lewego i prawego
	p-value
Wysuwanie żuchwy do przodu, pacjenci ze zdrowymi stawami	0,073
Wysuwanie żuchwy do przodu, pacjenci z dysfunkcjami stawów	0,284
Przesuwanie żuchwy na boki, pacjenci ze zdrowymi stawami	0,240
Przesuwanie żuchwy na boki, pacjenci z dysfunkcjami stawów	0,982
Opuszczanie i podnoszenie żuchwy, pacjenci ze zdrowymi stawami	0,019*
Opuszczanie i podnoszenie żuchwy, pacjenci z dysfunkcjami stawów	0,044*

*statystycznie istotna różnica

Statystycznie istotną różnicę wykazano dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy, zarówno przy porównaniu wyników pacjentów zdrowych, jak i stawów pacjentów objętych dysfunkcjami.

Porównano również wyniki uzyskane dla pacjentów zdrowych i pacjentów objętych dysfunkcjami stawów. Tabela 27 przedstawia wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej.

Tabela 27. Ocena istotności różnicy stosunku amplitudy II harmonicznej do amplitudy I harmonicznej pomiędzy grupą badaną a grupą kontrolną

Staw/ruch	p-value
SL, wysuwanie żuchwy do przodu	0,024*
SP, wysuwanie żuchwy do przodu	0,096
SL, przesuwanie żuchwy na boki	0,024*
SP, przesuwanie żuchwy na boki	0,126
SL, opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,013*
SP, opuszczanie i podnoszenie żuchwy	0,287

*statystycznie istotna różnica

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej zaobserwowano wystąpienie statystycznie istotnej różnicy dla trzech porównań, stawu lewego dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu oraz przesuwania żuchwy na boki, a także opuszczania i podnoszenia żuchwy.

Wyznaczono również stosunek wartości II harmonicznej do I harmonicznej dla każdego z ruchów. Porównując wyniki uzyskane przez pacjentów ze zdrowymi stawami i pacjentów z dysfunkcjami dla każdego z ruchów, uzyskano wartość $(2,17 \pm 0,44)$. Wyznaczono również stosunek II harmonicznej do I harmonicznej dla pacjentów zdrowych, dla wszystkich ruchów i uzyskano wartość $(2,4 \pm 0,6)$. Stosunek częstotliwości II harmonicznej do I harmonicznej został wyznaczony również dla pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych i uzyskano wartość $(1,98 \pm 0,18)$.

V. PODSUMOWANIE WYNIKÓW

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej stwierdzono występowanie statystycznie istotnej różnicy w danych zaznaczonych w Tabeli 28.

Tabela 28. Podsumowanie przeprowadzonej analizy statystycznej

Ruch	Stawy lewy i prawy, zdrowy i z dysfunkcją	Częstotliwość I harmoniczej	Częstotliwość II harmoniczej	Amplituda I harmoniczej	Amplituda II harmoniczej	Stosunek amplitudy II harmoniczej do I harmoniczej
Wysuwanie żuchwy do przodu	SL zdr, SL ch					X
	SP zdr, SP ch	X	X			
Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	SL zdr, SL ch			X		X
	SP zdr, SP ch				X	
Przesuwanie żuchwy na boki	SL zdr, SL ch		X			X
	SP zdr, SP ch	X	X		X	
Wysuwanie żuchwy do przodu	SL zdr, SP zdr			X		
	SL ch, SP ch	X	X			
Opuszczanie i podnoszenie żuchwy	SL zdr, SP zdr				X	X
	SL ch, SP ch			X	X	X
Przesuwanie żuchwy na boki	SL zdr, SP zdr					
	SL ch, SP ch					

X – istotna statystycznie różnica

Ponadto stwierdzono występowanie statystycznie istotnej korelacji:

1. Dla I harmonicznej dla pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych (przy porównaniu wyników stawów prawych i lewych) podczas wysuwania żuchwy do przodu oraz u pacjentów zdrowych podczas przesuwania żuchwy na boki (przy porównaniu wyników stawów prawych i lewych).
2. Dla I harmonicznej i wieku pacjentów dla stawów zdrowych lewych, podczas ruchu wysuwania żuchwy do przodu.

VI. DYSKUSJA

Laserowa wibrometria Dopplerowska podczas prowadzonych badań wykorzystana została do rejestracji drgań przyusznej części czaszki wywołanych ruchami w stawach skroniowo-żuchwowych, dla grupy kontrolnej i badanej. Wyznaczono częstotliwość I i II harmonicznej, a także ich amplitudy oraz stosunek amplitudy II harmonicznej do amplitudy I harmonicznej. Wartości te wyznaczone zostały dla ruchów związanych ze stawami skroniowo-żuchwowymi: opuszczaniem i podnoszeniem żuchwy, wysuwaniem żuchwy do przodu oraz przesuwaniem żuchwy na boki.

Laserowa wibrometria Dopplerowska jako metoda bezkontaktowa zapewnia komfort pacjenta podczas przeprowadzanych pomiarów, które są ponadto bezpieczne dla wszystkich osób.

Wszystkie wyznaczone parametry, tj. I harmoniczna, II harmoniczna, ich amplitudy oraz stosunek amplitudy II harmonicznej do amplitudy I harmonicznej poddane zostały analizie statystycznej. Porównane zostały stawy lewe i prawe w grupie kontrolnej i grupie badanej. Stwierdzono, że w przypadku ruchu wysuwania żuchwy do przodu oraz przesuwania żuchwy na boki, częstotliwości I harmonicznej dla stawów lewych i prawych są ze sobą skorelowane. Dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu wartość współczynnika korelacji jest niska i wynosi 0,398. Dla ruchu przesuwania żuchwy na boki wartość współczynnika korelacji wynosi 0,520, co wskazuje na korelację umiarkowaną. Oznacza to, że zarówno w jednym, jak i drugim przypadku można zaobserwować występowanie w pewnym stopniu zależności między stawem prawym i lewym. W przypadku opuszczania i podnoszenia żuchwy współczynnik korelacji wynosi 0,331, przy wartości p znajdującej się na granicy istotnej statystycznie i równej 0,07. Możliwe, iż zwiększenie liczebności grupy spowodowałoby wystąpienie statystycznie istotnej korelacji.

Istotną statystycznie różnicę w grupie badanej zaobserwowano przy porównaniu stawu lewego i prawego dla częstotliwości I harmonicznej dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu.

Podobne wyniki uzyskano w przypadku porównania częstotliwości II harmonicznej dla stawu lewego i prawego. Tutaj również odnotowano występowanie statystycznie istotnej różnicy między stawami w grupie badanej, dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu.

Stawy lewe i prawe w grupie kontrolnej i badanej zostały również porównane dla amplitudy I harmonicznej i amplitudy II harmonicznej oraz stosunku amplitudy II harmonicznej do amplitudy I harmonicznej. W przypadku amplitudy I harmonicznej statystycznie istotną różnicę odnotowano dla grupy kontrolnej, dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu oraz w grupie badanej, dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy. Analiza statystyczna

amplitudy II harmonicznej wykazała istotną statystycznie różnicę dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy, zarówno dla grupy kontrolnej, jak i grupy badanej. Takie same wyniki, tj. występowanie statystycznie istotnej różnicy przy porównaniu stawu lewego i prawego, dla grupy kontrolnej i badanej, dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy, uzyskano również w przypadku stosunku amplitudy II harmonicznej do amplitudy I harmonicznej. Uzyskane różnice mogą być spowodowane nierównomierną dysfunkcją obu stawów. Wymaga to jednak dalszych badań.

Podczas przeprowadzonej analizy statystycznej porównano również wyniki pacjentów z grupy kontrolnej z wynikami pacjentów z grupy badanej. Tak samo jak w przypadku porównania stawów lewych i prawych analizie poddano wszystkie parametry. Porównanie wyników częstotliwości I harmonicznej uzyskanych przez grupę kontrolną i badaną, pozwoliło na zaobserwowanie statystycznie istotnej różnicy dla stawu lewego podczas ruchu wysuwania żuchwy do przodu oraz stawu prawego podczas przesuwania żuchwy na boki. Możliwe, iż zwiększenie liczebności grup spowodowałoby wystąpienie statystycznie istotnej różnicy również dla pozostałych ruchów. Porównano też wyniki częstotliwości II harmonicznej uzyskane przez grupę kontrolną i grupę badaną. Statystycznie istotną różnicę zaobserwowano dla stawu prawego podczas ruchu wysuwania żuchwy do przodu i przesuwania żuchwy na boki, a także dla stawu lewego podczas przesuwania żuchwy na boki. Analiza statystyczna amplitudy I harmonicznej pozwoliła na wyznaczenie statystycznie istotnej różnicy dla stawu lewego, dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy.

Wyniki amplitudy II harmonicznej grupy kontrolnej i badanej również zostały porównane. Na podstawie przeprowadzonej analizy istotną statystycznie różnicę zaobserwowano dla stawu prawego, dla ruchu przesuwania żuchwy na boki oraz opuszczania i podnoszenia żuchwy. Ostatnim parametrem, jaki poddany został analizie, był stosunek amplitudy II harmonicznej do amplitudy I harmonicznej. Statystycznie istotną różnicę między wynikami grupy kontrolnej i badanej odnotowano dla wszystkich ruchów w stawie lewym. Możliwe, że zwiększenie liczebności obu grup, kontrolnej i badanej, wpłynęłoby na uzyskane wyniki.

Zbadano również korelację pomiędzy wiekiem pacjentów, a częstotliwością I-szej harmonicznej. Zaobserwowano tutaj statystycznie istotną korelację dla stawu lewego pacjentów zdrowych podczas wysuwania żuchwy do przodu. Odnotowano wzrost częstotliwości I-szej harmonicznej wraz z wiekiem. Dla pozostałych przypadków nie odnotowano statystycznie istotnych korelacji, co może być spowodowane zbyt małą różnicą w wieku pacjentów. Możliwe, że zwiększenie przedziału wieku badanych pacjentów wpłynęłoby na uzyskane wyniki. Badana grupa mieściła się w przedziale 20-35 lat, z medianą

równą 23,5 lat dla grupy ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi i 23 lata dla grupy ze stawami skroniowo-żuchwowymi z dysfunkcjami. Występowanie dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych zwiększa się wraz z wiekiem [4, 63]. Może to również świadczyć o tym, iż zwiększenie przedziału wiekowego mogłoby spowodować wystąpienie istotnych statystycznie korelacji w wyniakach uzyskanych w ramach przeprowadzonych badań za pomocą LDV. Jednak grupa ta wydaje się być dobrana odpowiednio ze względu na wiek, w jakim dochodzi do nasilenia dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych, a jest to między 20-40 rokiem życia [4, 63]. Zakres wieku badanych pacjentów mieści się w tym przedziale. Jednak, żeby więcej powiedzieć o korelacji wieku pacjentów z częstotliwością I harmonicznej, należałoby zwiększyć przedział wieku pacjentów.

Wyznaczona wartość amplitudy I harmonicznej pozwala na stwierdzenie, że wzrost jej wartości u pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych może być związany z kliknięciami bądź trzeszczeniem. Stanowią one najczęściej występujące objawy dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych [4, 65]. Zwiększenie amplitudy I harmonicznej może sugerować głośniejszą pracę stawu. Kliknięcia i trzeszczenie stawu nie występują jednak zawsze przy ich dysfunkcjach [65]. Pomimo braku objawu można uzyskać wyższe wartości amplitudy.

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej za najbardziej czułe parametry uznać można częstotliwość II harmonicznej oraz stosunek amplitudy II harmonicznej do I harmonicznej. Wydają się one być najbardziej przydatnymi w ocenie stanu stawów skroniowo-żuchwowych ponieważ przy porównaniu stawów u pacjentów zdrowych oraz u pacjentów objętych ich dysfunkcją można zaobserwować występowanie istotnej statystycznie różnicy w uzyskanych wynikach przy trzech porównaniach (Tabela 28). Najważniejszym ruchem dla porównania pacjentów ze zdrowymi stawami oraz pacjentów z dysfunkcjami stawów wydaje się być ruch przesuwania żuchwy na boki. Zaobserwowano dla niego statystycznie istotną różnicę dla prawie wszystkich wyznaczonych parametrów. Wyjątkiem jest tutaj amplituda I harmonicznej, gdzie dla porównania zarówno stawów lewych, jak i prawych, u pacjentów zdrowych i z dysfunkcjami nie zaobserwowano statystycznie istotnej różnicy (Tabela 28).

Średnia pojemność mózgowczaszki człowieka wynosi około 1400 cm³ [47]. Różni się ona u kobiet i mężczyzn, co może mieć wpływ na częstotliwości drgań, jakie oni uzyskują.

Nooranipour i wsp. [82] na grupie 772 wolontariuszy (452 kobiety i 320 mężczyzn) przeprowadzili badania, które miały na celu określenie pojemności czaszki kobiet i mężczyzn. Badania te pozwoliły na wyznaczenie pojemności czaszki kobiet, która wynosi $(1160 \pm 120) \text{cm}^3$ oraz czaszki mężczyzn $(1340 \pm 110) \text{cm}^3$. Badania te wykazały występowanie istotnej statystycznie różnicy przy porównaniu pojemności czaszki u kobiet i mężczyzn. Biorąc jednak pod uwagę wielkość błędu, można zaobserwować, że przedziały, w jakich znajduje się wielkość czaszki kobiet i mężczyzn, mieści się częściowo w tym samym zakresie [82].

Podczas prowadzonych badań za pomocą wibrometrii porównano wyniki częstotliwości I harmonicznej, jakie uzyskane zostały przez kobiety i mężczyzn. Aby sprawdzić jednorodność wariancji, będącej warunkiem zastosowania testu t-Studenta, przeprowadzono test Browna-Forsytha oraz Levene'a. W przypadku kiedy wartość p w obu testach było poniżej wartości 0,05, zastosowano test z oddzielną oceną wariancji. Nie zaobserwowano występowania statystycznie istotnej różnicy w wynikach uzyskanych przez kobiety i mężczyzn, co może wynikać ze zbliżonej wielkości czaszek.

Badania prowadzone przez Nooranipour i wsp. [82], jak już wspomniano, wykazały występowanie istotnie statystycznej różnicy dla wielkości czaszek kobiet i mężczyzn, co mogłoby sugerować wystąpienie statystycznie istotnej różnicy w uzyskanych wynikach. Jednak na podstawie przeprowadzonych badań za pomocą LDV stwierdzono, że drgania nie są związane z objętością czaszki, której wielkość różni się w przypadku kobiet i mężczyzn.

Innym czynnikiem mogącym charakteryzować czaszkę jest tzw. indeks cefaliczny [83], którego wartość może mieć wpływ na wyniki częstotliwości drgań czaszki uzyskane przez kobiety i mężczyzn. Badania prowadzone z wykorzystaniem indeksu cefalicznego również mówią o różnicy w wielkości czaszki kobiet i mężczyzn. Wartość indeksu wyznaczono u kobiet i mężczyzn powyżej 18 roku życia. Stwierdzono, że średnia objętość czaszki mężczyzny jest większa od średniej wielkości czaszki kobiety. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono wystąpienie istotnie statystycznie różnicy w objętości czaszek mężczyzn i kobiet. Maksymalna szerokość i długość czaszki pozwoliła na wyznaczenie indeksu cefalicznego (maksymalna szerokość czaszki/ maksymalna długość czaszki). W przypadku indeksu cefalicznego nie odnotowano statystycznie istotnej różnicy w wynikach uzyskanych przez kobiety i mężczyzn [83].

Może być to potencjalnie związane z brakiem różnic w uzyskanych wynikach częstotliwości I harmonicznej pomiędzy kobietami i mężczyznami.

Wystąpienie istotnie statystycznej różnicy w średniej wielkości czaszki kobiet i mężczyzn mogłoby sugerować wystąpienie statystycznie istotnej różnicy w wynikach częstotliwości drgań czaszki. Jednak brak występowania statystycznie istotnej różnicy w wynikach uzyskanych przez mężczyzn i kobiety, zarówno z grupy kontrolnej, jak i badanej, może być zgodny z tym, że w przypadku indeksu cefalicznego nie odnotowano statystycznie istotnych różnic w wynikach uzyskanych przez kobiety i mężczyzn.

Przeprowadzone badania wykazują różnicę w wynikach, jakie uzyskane zostały dla osób ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi i osób obarczonych dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych. Wyniki I harmonicznej, zarówno w grupie kontrolnej, jak i grupie badanej, nie zależą od płaszczyzny ruchu (Tabela 10) i wartości te są do siebie zbliżone (Tabela 7). W przypadku grupy badanej można zaobserwować wyższe wartości częstotliwości I-szej harmonicznej niż w grupie kontrolnej.

Przeprowadzona analiza częstotliwości I-szej harmonicznej dla pacjentów zdrowych i pacjentów z zaburzeniami czynności stawów wykazała istotną statystycznie różnicę dla dwóch przypadków. Zaobserwowano ją dla stawów prawych, dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu oraz przesuwania żuchwy na boki. Dla pozostałych ruchów nie odnotowano statystycznie istotnych różnic, co może spowodowane być liczebnością grupy. Być może zwiększenie liczebności grupy sprawiłoby wystąpienie istotnych statystycznie różnic również dla pozostałych ruchów.

Już sama obserwacja zarejestrowanego sygnału (ryc. 12.) pozwala zauważyć jego cykliczność. U osób zdrowych zapis ten jest przejrzysty i można zaobserwować powtarzające się fragmenty. Natomiast u osób obarczonych dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych w sygnale dodatkowo występują zakłócenia, które utrudniają wyznaczenie rozpoczęcia i zakończenia wykonania danego ruchu. Wymuszało to konieczność powtórzenia danego ruchu. Oznacza to, że istnieje możliwość wstępnej oceny jakościowej stanu stawu na podstawie rejestrowanego widma drgań.

Częstotliwości drgań I harmonicznej, jakie uzyskane zostały podczas prowadzonych badań dla grupy kontrolnej, mieszczą się w przedziale 4,1Hz do 5,5Hz, dla grupy badanej częstotliwości te mieszczą się w przedziale od 5,3Hz do 7,7Hz. W piśmiennictwie znaleźć można informacje, że częstotliwości drgań własnych występujących w ciele człowieka znajdują się w zakresie od 2 do 90Hz [94, 95]. Wskazuje to na spójność uzyskanych wyników

z częstotliwościami drgań występujących samoistnie w ciele człowieka, które mieszczą się w przedziale 2-90 Hz [94, 95].

Osoby do grupy kontrolnej i badanej, która łącznie liczyła 60 osób, dobrano w sposób losowy. Ponadto większość grupy stanowiły kobiety – 71,7%. Jest to zgodne z tym, że to właśnie one częściej szukają pomocy. W grupie pacjentów z dysfunkcjami można zaobserwować, że kobiet z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych było prawie trzykrotnie więcej niż mężczyzn, co jest zgodne z danymi literaturowymi [4, 63]. Ból związany z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych obserwuje się u 9-13% badanych, natomiast zaledwie 4-7% osób poszukuje pomocy i czterokrotnie częściej są to kobiety [4, 63]. Również w przypadku grupy objętej dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych można zaobserwować większą liczebność kobiet (22 kobiety na 30 pacjentów). Ponadto u kobiet dysfunkcje stawów skroniowo-żuchwowych występują dwa razy częściej niż u mężczyzn [4, 63].

Również kryterium włączenia obejmujące wiek zostało dopasowane do faktu, że pomiędzy 20 a 40 rokiem życia występuje nasilenie objawów dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych [4, 63]. Średni wiek pacjentów biorących udział w grupie zdrowej wynosił (26 ± 4) lat, natomiast w grupie objętej dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych ($24,4 \pm 3,1$) lat. Są to więc osoby, u których można zaobserwować nasilenie objawów dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych.

Wyznaczono również stosunek wartości częstotliwości II harmonicznej do I harmonicznej dla każdego z ruchów. Porównując wyniki uzyskane przez pacjentów zdrowych i pacjentów z dysfunkcjami stawów dla każdego z ruchów, uzyskano wartość ($2,17 \pm 0,44$). Wynik ten jest zgodny z oczekiwanym wynikiem, gdyż wartość II harmonicznej powinna być dwukrotnie większa od wartości I harmonicznej.

Hashimoto i wsp. [84] opisali metodę pomiaru drgań, jakie przenoszone są z czaszki na żuchwę. Drgania generowane były przez wibrator, który umieszczony był na szczycie czaszki pacjenta. Pomiaru wykonano za pomocą akcelerometrów, które umieszczane były na powierzchni policzkowej. Zmiana drgań została zarejestrowana dla 12 różnych pozycji żuchwy. W zależności od jej położenia można było zaobserwować zmianę sygnału. Największą zmianę można było zobaczyć podczas otwierania ust [84]. Rezultaty te potwierdzają wyniki uzyskane w ramach przeprowadzonej pracy. Również tutaj

zaobserwowano największe uzyskane częstotliwości I harmonicznej dla ruchu opuszczania/podnoszenia żuchwy. Zwiększenie częstotliwości dla ruchu zaobserwowano zarówno dla pacjentów, u których stawy skroniowo-żuchwowe działają prawidłowo oraz dla pacjentów objętych dysfunkcjami. Jedyne wyjątkiem w uzyskanych wynikach stanowią stawy prawe u osób zdrowych. W tym przypadku zaobserwowano uzyskanie najwyższej częstotliwości w przypadku ruchu w płaszczyźnie wysuwania żuchwy do przodu.

Badaniami czaszki podczas postępów leczenia w zgryzie krzyżowym zajął się Kecik i wsp. [87]. Badania przeprowadzone zostały przed leczeniem, a także 6 miesięcy po leczeniu. Wykonano badania: RTG czaszki w pozycji bocznej oraz przedniej, radiogram SMV, przezczaszkowy radiogram stawów skroniowo-żuchwowych oraz analizę drgań stawów za pomocą oprogramowania BioPAK i elektromiografię mięśni żwaczy. W badaniach udział wzięło 35 dzieci w wieku około 10 lat. Grupa kontrolna liczyła 31 wolontariuszy. Przeprowadzone również badanie stawów skroniowo-żuchwowych, a także badanie palpacyjne mięśni żwaczy. Na podstawie przeprowadzonych badań zaobserwowano zwiększenie częstotliwości u pacjentów obarczonych zgryzem krzyżowym w porównaniu do grupy kontrolnej [87]. W przypadku badań prowadzonych w ramach niniejszej pracy zaobserwowano wyższe wyniki częstotliwości I harmonicznej w grupie badanej niż w grupie kontrolnej. Świadczyć to może o tym, że w przypadku zaburzeń można się spodziewać uzyskania wyższych wartości częstotliwości.

Akan i wsp. [85] przeprowadzili badania dotyczące zależności dźwięku wydawanego przez stawy skroniowo-żuchwowe, a wady zgryzu. Badania zostały przeprowadzone na grupie pacjentów w wieku 9-13 lat. Pacjenci ci zostali zakwalifikowani do jednej z dwóch grup, ze zgryzem krzyżowym lub wadą zgryzu klasy II typu 1. Przed przystąpieniem do badania za pomocą akcelerometrów pacjenci poddani zostali badaniu palpacyjnemu oraz osłuchaniu. Na podstawie przeprowadzonych badań zaobserwowano zmniejszenie częstotliwości drgań stawów skroniowo-żuchwowych. Świadczyć to miało o poprawie stanu stawów skroniowo-żuchwowych [85]. Na podstawie analizy sygnałów uzyskanych za pomocą laserowej wibrometrii Dopplerowskiej zaobserwować można niższe wartości częstotliwości zarejestrowane przez stawy skroniowo-żuchwowe pacjentów zdrowych. Przy analizie wyników wyjątkiem można zauważyć dla płaszczyzny wysuwania żuchwy do przodu. Średnia uzyskanych wyników dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu, dla pacjentów zdrowych, stawu prawego jest wyższa niż w przypadku jednego z ruchów stawu skroniowo-żuchwowego u pacjentów objętych dysfunkcjami (staw lewy z dysfunkcją, ruch wysuwania żuchwy do przodu). Mimo różnicy w wieku osób poddanych badaniom można zaobserwować

zgodność wyników, jakie uzyskują pacjenci. W badaniach zespołu Akana o poprawie stanu stawów skroniowo-żuchwowych u pacjentów świadczyło obniżenie rejestrowanych częstotliwości drgań. W badaniach prowadzonych w ramach niniejszej pracy niższe wartości częstotliwości uzyskane zostały również dla stawów skroniowo-żuchwowych u pacjentów z prawidłowo działającymi stawami.

Badania prowadzone przez zespół Deng'a [88] miały na celu zbadanie kształtu fali elektrosonograficznej, która pozwala na zapis dźwięków generowanych przez stawy skroniowo-żuchwowe. Badania te przeprowadzono na grupach: pacjentów ze zdrowymi stawami skroniowo-żuchwowymi, pacjentów u których zaobserwowano przemieszczenie krążka stawowego z redukcją oraz pacjentów u których zaobserwowano przemieszczenie krążka bez redukcji. Pomiarów wykonywano zarówno dla naturalnego ułożenia żuchwy, a następnie dla ruchu opuszczania/ podnoszenia żuchwy. Tempo opuszczania i podnoszenia żuchwy dyktowane było przez metronom. Analiza przeprowadzonych wyników pozwoliła na zaobserwowanie niewielkich różnic przy porównaniu pacjentów, u których stwierdzono przemieszczenie krążka stawowego z redukcją oraz u pacjentów z przemieszczeniem krążka bez redukcji [88]. Wyniki uzyskane podczas prowadzonych badań za pomocą laserowej wibrometrii Dopplerowskiej w niniejszej również nie wykazują istotnych statystycznie różnic I harmonicznej dla wszystkich ruchów, dla stawów skroniowo-żuchwowych pacjentów zdrowych oraz dla stawów skroniowo-żuchwowych pacjentów objętych dysfunkcjami. Istotną statystycznie różnicę częstotliwości I harmonicznej można zaobserwować dla dwóch płaszczyzn ruchów, przy porównaniu stawów pacjentów zdrowych oraz stawów pacjentów objętych dysfunkcjami, wykonywanych przez staw prawy. Są to następujące ruchy: przesuwanie żuchwy na boki oraz wysuwanie żuchwy do przodu. Możliwe, iż zwiększenie liczebności grupy badanej spowodowałoby zaobserwowanie istotnych statystycznie różnic dla pozostałych danych poddanych analizie.

Metoda zastosowana w pracy Denga i wsp. [88] była zbliżona do metody pomiaru, jaka została wykorzystana w przeprowadzonych badaniach. Posłużono się metronomem, który nadawał odpowiednie tempo podczas wykonywania ruchu. Umożliwiło to łatwiejsze zaobserwowanie wykonania danego ruchu i zapisanie sygnału.

VII. WNIOSKI

1. Laserowa wibrometria Dopplerowska może znaleźć zastosowanie jako metoda komplementarna w diagnostyce dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych.
2. Metoda laserowej wibrometrii Dopplerowskiej pozwala na pomiar drgań czaszki wywołany ruchem w stawach skroniowo-żuchwowych niezależnie od jego stanu.
3. Stwierdzono, że przydatnym parametrem przy ocenie stawów skroniowo-żuchwowych może być wartość:

- a. częstotliwości I harmonicznej (staw prawy, wysuwanie żuchwy do przodu i przesuwanie żuchwy na boki)

Przeprowadzone badania wykazują różnicę w częstotliwościach uzyskanych przez osoby zdrowe oraz osoby obciążone dysfunkcją stawów skroniowo-żuchwowych. U osób z dysfunkcjami stawów zaobserwowano zwiększenie częstotliwości drgań.

- b. częstotliwości II harmonicznej (staw prawy, wysuwanie żuchwy do przodu i przesuwanie żuchwy na boki oraz staw lewy, wysuwanie żuchwy do przodu)

Przeprowadzone badania wykazują różnicę w częstotliwościach uzyskanych przez osoby zdrowe oraz osoby obciążone dysfunkcją stawów skroniowo-żuchwowych. U osób z dysfunkcjami stawów zaobserwowano zwiększenie częstotliwości drgań.

- c. amplitudy I harmonicznej (staw lewy, opuszczanie i podnoszenie żuchwy)

Amplitudy zarejestrowane dla pacjentów ze zdrowymi stawami uzyskują niższe wartości niż u pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych.

- d. amplitudy II harmonicznej (staw prawy, przesuwanie żuchwy na boki oraz opuszczanie i podnoszenie żuchwy)

Amplitudy zarejestrowane u pacjentów ze zdrowymi stawami uzyskują wartości wyższe niż u pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych.

- e. stosunku amplitudy II harmonicznej do amplitudy I harmonicznej (staw lewy, podczas wszystkich wykonywanych ruchów)

Odnotowano spadek stosunku amplitudy II harmonicznej do amplitudy I harmonicznej u pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych, w porównaniu do pacjentów ze zdrowymi stawami.

Za najbardziej przydatne parametry uznano częstotliwość II harmonicznej oraz stosunek amplitudy II harmonicznej do I harmonicznej.

Ponadto stwierdzono, że w przypadku pacjentów z dysfunkcjami występują artefakty na rejestrowanych przebiegach, które mogą być wykorzystane w ocenie jakościowej.

4. Metoda ta może być przydatna do wczesnego wykrywania dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych.

VIII. STRESZCZENIE

Celem pracy jest ocena przydatności laserowej wibrometrii Dopplerowskiej w wykrywaniu dysfunkcji stawu skroniowo-żuchwowego. Do celów szczegółowych należy określić czy metoda ta może pozwolić na rejestrację i analizę sygnału przy dysfunkcjach stawów skroniowo-żuchwowych, wyznaczenie parametrów wrażliwych na jej występowanie oraz określić czy metoda ta pozwala na wczesne wykrycie dysfunkcji. Rejestracja sygnału laserowej wibrometrii Dopplerowskiej wykonana została podczas ruchów, za które odpowiadają stawy skroniowo-żuchwowe, tj.:

- ✓ opuszczanie/podnoszenie żuchwy,
- ✓ przesuwanie żuchwy na boki,
- ✓ wysuwanie żuchwy do przodu.

Wykonane badanie pozwala na określenie częstotliwości drgań, I i II harmoniczej, stawów skroniowo-żuchwowych u pacjentów zdrowych oraz u pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych. Wyznaczono również wartości ich amplitud i stosunek amplitudy II harmoniczej do amplitudy I harmoniczej. Badania zostały przeprowadzone za pomocą bezkontaktowej metody pomiaru drgań, jaką jest laserowa wibrometria Dopplerowska (LDV, ang. Laser Doppler vibrometry).

W pracy omówiona została metoda działania laserowej wibrometrii Dopplerowskiej oraz jej przykładowe zastosowania, zarówno w medycynie jak i innych dziedzinach. Przedstawiono również anatomię i fizjologię stawów skroniowo-żuchwowych oraz informacje o ich dysfunkcjach i możliwych sposobach diagnostycznych. Przebieg badania oraz uzyskane wyniki częstotliwości drgań czaszki wywołane ruchami w stawach skroniowo-żuchwowych przedstawiono w kolejnym rozdziale. W ramach pracy wykonana została analiza statystyczna uzyskanych wyników. Uzyskane wyniki poddane zostały dyskusji.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów określono różnice częstotliwości występujące dla stawów skroniowo-żuchwowych pacjentów zdrowych oraz stawów skroniowo-żuchwowych pacjentów z dysfunkcjami. Wyznaczono następujące parametry: częstotliwość I i II harmoniczej, ich amplitudy oraz stosunek amplitudy II do I harmoniczej. Za najbardziej czułe uznano: częstotliwość II harmoniczej oraz stosunek amplitud II harmoniczej do I harmoniczej. Laserowa wibrometria Dopplerowska może stanowić metodę uzupełniającą, komplementarną przy badaniu dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych.

Na przeprowadzone badania uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu.

IX. ABSTRACT

The aim of the study is to evaluate the usefulness of laser Doppler vibrometry in detecting temporomandibular joint dysfunction. The specific aims include determining whether this method allows record and analyze the signal for temporomandibular joint dysfunctions, determine the parameters sensitive to its occurrence and determine whether this method allows for early detection of dysfunction. Temporomandibular joints are responsible for movements in three directions:

- ✓ raising and lowering the mandible (up and down movements),
- ✓ moving the mandible the left-right side (sideways movements),
- ✓ ejecting forward (forward and backward movements).

The measurements were made by non-contact and non-invasive vibrations measurements method - laser Doppler vibrometer (LDV). Based on that temporomandibular joints vibrations were measured, for both, healthy patients and patients with temporomandibular joints dysfunctions.

In the thesis measuring system of the laser Doppler vibrometry were presented. Application in medicine, industry and other areas were presented. Temporomandibular joints anatomy and physiology were also presented. Information about temporomandibular joints dysfunctions and diagnostic methods were presented. Process of the study of vibrations of skull caused by temporomandibular joints movements were presented. As the part of the thesis, a statistical analysis of the results obtained was performed. The obtained results were subject to discussion. Based on measurements the difference between healthy temporomandibular joints and temporomandibular joints with dysfunction were obtained. The following parameters were determined: the frequency of the 1st and 2nd harmonics, their amplitudes and the ratio of the 2nd to 1st harmonic amplitude. The most sensitive are: the frequency of the 2nd harmonic and the amplitude ratio of the 2nd harmonic to the 1st harmonic. Laser Doppler vibrometry can be complementary method to temporomandibular joint dysfunctions diagnosis.

The measurements carried out were approved by the Bioethics Committee of the Poznan University of Medical Sciences.

X. SPIS TABEL

Tabela 1. Skrócony opis poszczególnych elementów powierzchni stawowej kości skroniowej

Tabela 2. Spis więzadeł i ich opis

Tabela 3. Opis ruchu oraz mięśni biorących w nim udział

Tabela 4. Podział zapaleń stawów skroniowo-żuchwowych

Tabela 5. Podział grupy badanej

Tabela 6. Punktacja symptomów według klinicznej części wskaźnika Helkimo

Tabela 7. Średnie częstotliwości drgań I harmoniczej czaszki uzyskane przez pacjentów grupy kontrolnej i badanej podczas wszystkich ruchów. Sprawdzenie normalności rozkładu dla obu stawów, dla każdego z ruchów, dla grupy kontrolnej i badanej

Tabela 8. Analiza statystyczna I harmoniczej, porównanie wyników pacjentów grupy kontrolnej (staw lewy i prawy) oraz pacjentów grupy badanej (staw lewy i prawy)

Tabela 9. Ocena istotności różnic częstotliwości I harmoniczej pomiędzy grupą kontrolną a grupą badaną

Tabela 10. Porównanie wyników częstotliwości I harmoniczej dla wszystkich ruchów między sobą

Tabela 11. Korelacja wieku pacjenta a częstotliwości I harmoniczej, grupa kontrolna i grupa badana

Tabela 12. Normalność rozkładu I harmoniczej u kobiet i mężczyzn, w grupie kontrolnej i badanej

Tabela 13. Porównanie wyników częstotliwości I harmoniczej uzyskanych przez kobiety i mężczyzn – analiza statystyczna

Tabela 14. Średnie częstotliwości drgań I harmoniczej oraz normalność rozkładu, uzyskane przez pacjentów z dysfunkcją dwustronną oraz przez pacjentów z dominacją dysfunkcji po jednej ze stron

Tabela 15. Porównanie częstotliwości I harmoniczej dla stawu lewego i prawego w grupie pacjentów z dysfunkcją dwustronną oraz pacjentów z dominującą dysfunkcją po jednej ze stron – wyniki analizy statystycznej

Tabela 16. Średnie częstotliwości drgań II harmoniczej czaszki uzyskane przez grupę kontrolną i badaną, dla wszystkich ruchów. Normalność rozkładu dla wszystkich ruchów, dla obu grup

Tabela 17. Porównanie wartości II harmonicznej dla stawu prawego i lewego, w grupie kontrolnej

i grupie badanej

Tabela 18. Ocena istotności różnicy częstotliwości II harmonicznej pomiędzy grupą kontrolną

a grupą badaną

Tabela 19. Średnie wartości amplitudy I harmonicznej, dla wszystkich ruchów, dla grupy kontrolnej oraz grupy badanej. Normalność rozkładu dla wszystkich ruchów, dla obu grup

Tabela 20. Porównanie wyników amplitudy I harmonicznej stawu lewego i prawego, dla grupy kontrolnej i badanej

Tabela 21. Ocena istotności różnic amplitudy I harmonicznej pomiędzy grupą kontrolną i grupą badaną

Tabela 22. Średnie wartości amplitudy II harmonicznej, dla wszystkich ruchów dla grupy kontrolnej

i grupy badanej. Normalność rozkładu dla wszystkich ruchów, dla obu grup

Tabela 23. Porównanie wyników amplitudy II harmonicznej stawu lewego i prawego, dla grupy kontrolnej i grupy badanej

Tabela 24. Ocena istotności różnicy amplitudy II harmonicznej pomiędzy grupą kontrolną i grupą badaną

Tabela 25. Stosunek amplitudy II harmonicznej do I harmonicznej. Normalność rozkładu dla wszystkich ruchów, dla obu grup

Tabela 26. Porównanie wyników stosunku amplitudy II harmonicznej do I harmonicznej stawu lewego i prawego dla grupy badanej i grupy kontrolnej

Tabela 27. Ocena istotności różnicy stosunku amplitudy II harmonicznej do amplitudy I harmonicznej pomiędzy grupą badaną a grupą kontrolną

Tabela 28. Podsumowanie przeprowadzonej analizy statystycznej

XI. SPIS RYCIN

- Ryc. 1.** Schemat działania laserowego wibrometru Dopplerowskiego [19]
- Ryc. 2.** a) układ pomiarowy, b) miejsca pomiarów zaznaczone przez projektor [32]
- Ryc.3.** Schemat do badania mięśni [30]
- Ryc. 4.** Ruchy wykonywane za pomocą stawów skroniowo-żuchwowych [źródło własne]
- Ryc. 5.** Podział zaburzeń ruchomości stawu skroniowo-żuchwowego [69]
- Ryc. 6.** Podział pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych
- Ryc. 7.** Podział uczestniczek badania stawów skroniowo-żuchwowych
- Ryc. 8.** Podział uczestników badania stawów skroniowo-żuchwowych
- Ryc. 9.** Laserowy wibrometr Dopplerowski PDV-100
- Ryc. 10.** Naklejka refleksyjna naklejona na skórze nad stawem skroniowo-żuchwowym
- Ryc. 11.** Układ pomiarowy do badań drgań stawów skroniowo-żuchwowych
- Ryc. 12.** Zapis sygnału podczas badania u pacjenta ze zdrowym stawem skroniowo-żuchwowym – podczas ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy
- Ryc. 13.** Przykładowe zakłócenia zarejestrowane podczas pomiarów stawów skroniowo-żuchwowych. Zarejestrowane zakłócenia mogą być spowodowane przemieszczeniem się wiązki laserowej z plasterka refleksyjnego lub tym, że pacjent podczas badania zaczął mówić
- Ryc. 14.** Przykładowe zakłócenia zarejestrowane podczas pomiarów stawów skroniowo-żuchwowych. Zakłócenie spowodowane jest uderzeniem o siebie zębów
- Ryc. 15.** Przykładowe sygnały deterministyczne [93]
- Ryc. 16.** Przykładowe sygnały losowe [93]
- Ryc. 17.** Przykładowe sygnały przejściowe [93]
- Ryc. 18.** Przykładowe sygnały niestacjonarne ciągłe [93]
- Ryc. 19.** Wyznaczenie I i II harmonicznej oraz ich amplitud
- Ryc. 20.** Schemat przeprowadzania analizy statystycznej
- Ryc. 21.** Kolejne etapy badania stawów skroniowo-żuchwowych za pomocą laserowej wibrometrii Dopplerowskiej
- Ryc. 22.** Średnie częstotliwości drgań I harmonicznej czaszki uzyskane przez grupę kontrolną i badaną podczas ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy
- Ryc. 23.** Średnie częstotliwości drgań I harmonicznej czaszki uzyskane przez grupę kontrolną i badaną podczas ruchu przesuwania żuchwy na boki
- Ryc. 24.** Średnie częstotliwości drgań I harmonicznej czaszki uzyskane przez grupę kontrolną i badaną podczas ruchu wysuwania żuchwy do przodu

- Ryc. 25.** Średnie częstotliwości drgań I harmonicznej uzyskane przez grupę z dwustronną dysfunkcją
- Ryc. 26.** Średnie częstotliwości drgań I częstotliwości uzyskane przez grupę z dominującą dysfunkcją po jednej ze stron
- Ryc. 27.** Średnie częstotliwości drgań II harmonicznej czaszki uzyskane przez grupę kontrolną i grupę badaną podczas ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy
- Ryc. 28.** Średnie częstotliwości drgań II harmonicznej czaszki uzyskane przez grupę kontrolną i grupę badaną podczas ruchu przesuwania żuchwy na boki
- Ryc. 29.** Średnie częstotliwości drgań II harmonicznej czaszki uzyskane przez grupę kontrolną i grupę badaną podczas wysuwania żuchwy do przodu
- Ryc. 30.** Średnie wartości amplitudy I harmonicznej dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu, dla grupy kontrolnej i grupy badanej
- Ryc. 31.** Średnie wartości amplitudy I harmonicznej dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy, dla grupy kontrolnej i grupy badanej
- Ryc. 32.** Średnie wartości amplitudy I harmonicznej przesuwania żuchwy na boki dla grupy kontrolnej i grupy badanej
- Ryc. 33.** Średnie wartości amplitudy II harmonicznej dla ruchu przesuwania żuchwy na boki, dla grupy kontrolnej i grupy badanej
- Ryc. 34.** Średnie wartości amplitudy II harmonicznej dla ruchu opuszczania i podnoszenia żuchwy, dla grupy kontrolnej i grupy badanej
- Ryc. 35.** Średnie wartości amplitudy II harmonicznej dla ruchu wysuwania żuchwy do przodu, dla grupy kontrolnej i grupy badanej
- Ryc. 36.** Stosunek amplitudy II harmonicznej do I harmonicznej – stawy skroniowo-żuchwowe pacjentów zdrowych
- Ryc. 37.** Stosunek amplitudy II harmonicznej do I harmonicznej – stawy skroniowo-żuchwowe pacjentów z dysfunkcjami stawów

XII. PIŚMIENICTWO

1. Trivedi P., Bhatt P., Dhanakotti S., Nambi G. Comparison of muscle energy technique and myofascial release technique on pain and range of motion in patients with temporomandibular joint dysfunction: a randomized controlled study. *International Journal of Physiotherapy and Research* 2016; 4(6): 1788–1792.
2. Tomasz M., Matthews-Brzozowska T., Kawala B., Bielicka B. Nowe możliwości diagnostyczne stawu skroniowo-żuchwowego. *Roczniki Pomorskiej Akademii Medycznej w Szczecinie* 2017; 53: 151–154.
3. Panek H., Maślanka T. Ewolucja terminologii i klasyfikacji schorzeń stawów skroniowo-żuchwowych w świetle piśmiennictwa i własnych przemyśleń. *Dental and Medical Problems* 2004; 41,1: 9–16.
4. Novaes Olivieri KA., Rosalino Garcia A. Joint vibration analysis in mandibular movements in asymptomatic volunteers. *Brazilian Dental Science* 2010; 3(2):17–24.
5. Mankiewicz M., Panek H. Wpływ wybranych czynników psychoemocjonalnych na występowanie dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych. *Protetyka Stomatologiczna* 2005; LV,5: 344–349.
6. Polskie Towarzystwo Badania Bólu (2013-2014) Ogólnoświatowy rok na rzecz ulgi w bólach twarzy, październik 2013 - październik 2014: Dysfunkcja stawu skroniowo-żuchwowego. <https://ptbb.pl/zasoby/pobierz-pliki/category/6-ogolnoswiatowy-rok-na-rzecz-ulgi-w-bolach-twarzy>. Accessed 13 Jan 2019.
7. Panek H., Nowakowska D., Maślanka T., Bruziewicz – Miłkaszewska B., Krawczykowska H., M. Mankiewicz, Makacewicz S., Rutańska E. Epidemiology of Temporomandibular Dysfunctions in Young Adult Populations Studied in Department of Prosthodontics. *Dental and Medical Problems* 2007; 44,1: 55–59.
8. Anastassaki Köhler A., Nydell Helkimo A., Magnusson T., Hugoson A. Prevalence of symptoms and signs indicative of temporomandibular disorders in children and adolescents. A cross-sectional epidemiological investigation covering two decades, *European Archives of Paediatric Dentistry. Official Journal of the European Academy of Paediatric Dentistry* 2009; 10(1): 16-25.
9. Mara de Paiva Bertoli F., Dea Bruzamolin C., Pizzatto E., Maris Losso E., Brancher JA., Feltrin de Souza J. Prevalence of diagnosed temporomandibular disorders: A cross-sectional study in Brazilian adolescents. *PLOS ONE* 2018; 13(2): 1-11.

10. Guidelines for Diagnosis and Management of Disorders Involving the Temporomandibular Joint and Related Musculoskeletal Structures: approved by American Society of Temporomandibular Joint Surgeons. 2001. <http://astmjs.org/final%20guidelines-04-27-2005.pdf>. Accessed 13 Jan 2019.
11. Arvidsson LZ., Smith HJ., Flatø B., Larheim TA. Temporomandibular Joint Findings in Adults with Long-standing Juvenile Idiopathic Arthritis: CT and MR Imaging Assessment, Radiology. Radiology 2010; 2569(1): 191–200.
12. Shaefer JR., Riley CJ., Caruso P., Keith D. Analysis of Criteria for MRI Diagnosis of TMJ Disc Displacement and Arthralgia. International Journal of Dentistry 2012; 3: 1-8.
13. Petscavage-Thomas JM., Walker EA. Unlocking the Jaw: Advanced Imaging of the Temporomandibular Joint. American Journal of Roentgenology 2014; 203(5): 1047–1058.
14. Kijak E., Lietz-Kijak D., Frączak B., Śliwiński Z., Margielewicz J. Assessment of the TMJ Dysfunction Using the Computerized Facebow Analysis of Selected Parameters. BioMed Research International 2015:508069.
15. Kwacz M., Wysocki J., Mrówka M. Pomiary drgań błony okienka okrągłego metodą laserowej wibrometrii Dopplerowskiej. Pomiary Automatyka Kontrola 2011; 57(5): 471–478.
16. Dwojak J., Rzepiela M., Struzik I. Wykorzystanie wibrometru laserowego do diagnostyki eksploatacyjnej silników elektrycznych na podstawie własnych doświadczeń. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne 2011; 1(89): 57-63.
17. Rothberg SJ., Allen MS., Castellini P., Di Maio D., Dirckx JJJ., Ewins DJ., Halkon BJ., Muysshondt P., Paone N., Ryan T., Steger H., Tomasini EP., Vanlanduit S., Vignola JF. An international review of laser Doppler vibrometry: making light work of vibration measurement. Optics and Lasers in Engineering 2016; 99: 11-22.
18. Halliday D., Resnick R., Walker J. Podstawy Fizyki tom 4. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
19. Laser Doppler Vibrometers. <https://www.polytec.com/eu/vibrometry/products/>. Accessed 13 Jan 2019.
20. Klinaku S., Berisha V. The Doppler effect and similar triangles. Results in Physics 2018; 12:846: 1-13.
21. Klinaku S. Time Doppler effect. Physics Essays 2016; 29(1): 113-116.
22. Winans JG. Doppler effect equation. American Journal of Physics 1954; 22: 37.

23. Smotherman M., Metzner W. Effects of echo intensity on Doppler-shift compensation behavior in horseshoe bats. *Journal of Neurophysiology*. 2003; 89(2): 814-821.
24. Klinkau S. New Doppler effect formula. *Physics Essays* 2016:1-7.
25. Jaroszyk F. *Biofizyka*. PZWL, Warszawa 2008.
26. Halliday D., Resnick R., Walker J. *Podstawy Fizyki tom 5*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
27. Wójcicka P., Gadomska-Krasny J., Zawodny P. Zastosowanie laserów w medycynie estetycznej. *Ogólnopolski Przegląd Medyczny* 2010; 12: 46-49.
28. Jones H., Greene N., Ahroon W. Assessment of Middle Ear Function during the Acoustic Reflex Using Laser-Doppler Vibrometry. *USAARL Report* 2017-16.
29. Foth HJ., Huthoff Ch., Brenner M., Silke F. Measuring the Motions in the Human Middle Ear by Laser Doppler Vibrometry. *Optics and Lasers in Engineering* 1996; 25(4-5): 289–301.
30. Whittemore KR Jr., Merchant SN., Poon BB., Rosowski JJ. A normative study of tympanic membrane motion in humans using a laser Doppler vibrometer (LDV). *Hearing Research* 2004; 187(1-2): 85–104.
31. Kwacz M., Wysocki J., Mrówka M. System pomiarowy do badań eksperymentalnych mechaniki ucha środkowego. *Pomiary Automatyka Kontrola* 2011; 57(1): 25–29.
32. Struijk J., Munck K., Hansen B., Jacobsen N. Heart-valve Sounds Obtained with a Laser Doppler Vibrometer. *Conference Paper 2016. 2016 Computing in Cardiology Conference*.
33. Castellini P., Martarelli M., Tomasini EP. Laser Doppler Vibrometry: Development of advanced solutions answering to technology's needs. *Mechanical Systems and Signal Processing* 2006; 20: 1265–1285.
34. Revel GM., Scalise A., Scalise L. Vibrational analysis of tendons mechanical proprieties. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* 2002.
35. Poole CJM., Mason H., Harding AH. The relationship between clinical and standardized tests for hand–arm vibration syndrome. *Occupational Medicine* 2016; 66(14): 285–291.
36. Welcome DE., Dong RG., Xu XS., Warren Ch., McDowell TW., Wu JZ. An examination of the vibration transmissibility of the hand-arm system in three orthogonal directions. *International Journal of Industrial Ergonomics* 2015; 45: 21–34.
37. Castellini P. Teeth mobility measurement by laser Doppler vibrometer. *Review of Scientific Instruments* 1996; 70(6): 2849-2846.

38. Stanbridge AB., Ewins DJ. Measurement of Translational and Angular Vibration Using a Scanning Laser Doppler Vibrometer. *Shock and Vibration* 1996; 2358: 141–152.
39. Mayrhofer PM., Euchnerb H., Bittnera A., Schmidaa U. Circular test structure for the determination of piezoelectric constants of ScxAl1–xN thin films applying Laser Doppler Vibrometry and FEM simulations. *Sensors and Actuators* 2015; 222: 301–308.
40. Salman M., Sabraa KG. Surface wave measurements using a single continuously scanning laser Doppler vibrometer: Application to elastography. *The Journal of the Acoustical Society of America* 2013; 133: 1245-54.
41. Marczak J. Fizyka we współczesnych badaniach i konserwacji dzieł sztuki. *Wiadomości konserwatorskie* 2009; 26: 65-76.
42. Bissinger G. 3-D Laser Doppler Vibrometer on Legendary Old Italian Violins. *Sounds and vibration* 2007; 3(7): 10–14.
43. Windmill JF., Jackson JC., Tuck EJ., Robert D. Keeping up with Bats: Dynamic Auditory Tuning in a Moth. *Current Biology* 2006; 16(24): 2418–2423.
44. Oveisi Z., Minaei S., Rafiee S., Eyvani A., Borghei A. Application of vibration response technique for the firmness evaluation of pear fruit during storage. *Journal of Food Science and Technology* 2012; 51(11): 3261–3268.
45. Fonseca PJ. Sound radiation in a cicada: the role of different structures. *Journal of Comparative Physiology* 1994; 175(3): 349–361.
46. Bochenek A., Reicher M. *Anatomia człowieka Tom I*. PZWL, Warszawa 2010.
47. Solomon EP., Berg LR., Martin DW., Vielle CA. *Biologia*. MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1996.
48. Skrzat J., Walochy J. *Anatomia człowieka z elementami fizjologii*. Podręcznik dla studentów i lekarzy. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego. Kraków 2010.
49. Kryst L. *Chirurgia szczękowo-twarzowa*. PZWL, Warszawa 2012.
50. Poduval J. Temporomandibular Joint Dysfunction. *The Journal of Medical Research* 2015; 1(1):3-4.
51. Kijak E. Trzaski dyslokacyjne w stawach skroniowo-żuchwowych a jakość toru odwodzenia i przywodzenia żuchwy w badaniach czynnościowych aparatem Zebris JMA. *Protetyka Stomatologiczna* 2016; 66(6): 430–436.
52. Śliwiński Z., Sieroń A. *Wielka Fizjoterapia tom .* Wydawnictwo Edra Urban & Partner, Wrocław 2014.
53. Spiechowicz E *Protetyka Stomatologiczna*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1998.

54. Jancelewicz M. Dysfunkcje układu stomatognatycznego narastającym problemem współczesnej opieki zdrowotnej – przyczyny wzrostu występowania tej dysfunkcji. *Hygeia Public Health* 2010; 45(1): 17–20.
55. Talarowska M. Ustno-twarzowa terapia regulacyjna według koncepcji R. Castillo Moralesa. <https://docplayer.pl/6534497-Rozdzial-ix-ustno-twarzowa-terapia-regulacyjna-wedlug-koncepcji-r-castillo-moralesa.html>. Accessed 13 Jan 2019.
56. Jagucka-Mętel W., Brzeska P., Sobolewska E., Machoy-Mokrzyńska A., Baranowska A. Fizjoterapia układu ruchowego narządu żucia. *Roczniki Pomorskiej Akademii Medycznej w Szczecinie* 2013; 59, 2: 71–75.
57. Majewski S., Wieczorek A., Loster J., Pihut M. Mięśnie żucia i stawy skroniowo-żuchwowe w aspekcie fizjologicznych funkcji układu stomatologicznego. *Protetyka Stomatologiczna* 2010; 60(1): 10–16.
58. Michajlik A., Ramotowski W. *Anatomia i fizjologia człowieka*. PZWL, Warszawa 2013.
59. Laskin DM. *Temporomandibular Joint Disorders*. <http://famona.tripod.com/ent/cummings/cumm079.pdf>. Accessed 13 Jan 2019
60. Kozanecka A. *Fizykodiagnostyka i rehabilitacja w medycynie i stomatologii: Test Helkimo jako narzędzie do oceny dysfunkcji stawu skroniowo-żuchwowego*. Wydaw. Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Stanisława Staszica w Pile, Piła 2015.
61. Gawda P., Suwała M., Gawda J., Rojewski R. Zaburzenia funkcjonalne stawów skroniowo-żuchwowych; konieczność współpracy specjalistów fizjoterapii i stomatologii: Rozdział 4. *Zdrowie i Dobrostan* 2013: 95–102.
62. Dimitroulis G. Management of temporomandibular joint disorders: A surgeon's perspective. *Australian Dental Journal* 2018; 63(1): 79–90.
63. Jaeger JO., Oakley PA., Moore RR., Ruggeroli EP., Harrison DE. Resolution of temporomandibular joint dysfunction (TMJD) by correcting a lateral head translation posture following previous failed traditional chiropractic therapy: a CBP® case report. *J The Journal of Physical Therapy Science* 2018; 30(1): 103–107.
64. Różyło TK., Różyło-Kalinowska I., Szkutnik J., Florczak D. *Fizykodiagnostyka i rehabilitacja w medycynie i stomatologii.: Magnetostymulacja w bólowym zespole dysfunkcji stawu skroniowo-żuchwowego*. Doniesienia wstępne. Wydaw. Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Stanisława Staszica w Pile, Piła 2015.
65. Rani S., Pawah S., Gola S., Bakshi M. Analysis of Helkimo index for temporomandibular disorder diagnosis in the dental students of Faridabad city: A cross-sectional study. *The Journal of the Indian Prosthodontic Society* 2017; 17(1):48–52.

66. Gupta R., Gupta P., Gupta S., Gupta T. Temporomandibular joint pain and dysfunction. *International Journal of Applied Dental Sciences* 2005; 1(3): 31–34.
67. Dujoncquoy JP., Ferri J., Raoul G., Kleinheinz J. Temporomandibular joint dysfunction and orthognathic surgery: a retrospective study. *Head and Face Medicine* 2010; 6, 27.
68. Januszewska E. Zaburzenia snu u dzieci i młodzieży - diagnoza i wybrane formy terapii, Zadania i wyzwania medycyny - charakterystyka problemów i postępowanie terepeutyczne. Wydawnictwo Naukowe TYGIEL, Lublin 2018: 151-166.
69. Łasiński W. Anatomia głowy dla stomatologów. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1970.
70. Szczegielniak J., Bogacz K., Krajczy M., Dybek T., Łuniewski J. Dysfunkcje stawu skroniowo-żuchwowego. *Rehabilitacja w praktyce* 2016: 11–12.
71. Santucci E. Badanie wstępne pacjenta.
https://edraurban.pl/layout_test/book_file/251/Stomatol-est-w-prakt-klin.pdf. Accessed 13 Jan 2019.
72. Matthews-Brzozowski A., Böhm A., Kaczmarek E. Ocena dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych po operacji ortognatycznej – amamnestyczny i kliniczny wskaźnik Helkimo, *Dental Forum* 2014; 2: 17-22.
73. Helkimo M. Studies on functional and dysfunctional of the masticatory system. *Acta Odontologica Scandinavica* 1974; 67: 101-121.
74. Suhas S., Ramdas S., Lingman PP., Kumar N., Sasidharan A., Aadithya R. Assesment of temporomandibular joint dysfunction in condylar fracture of the mandible using the Helkimo index. *Indian J Plast Surg* 2017; 50(2): 207-212.
75. Zaworski K., Latosiewicz R., Majcher P., Derewiecki T., Kołodziej E. Zastosowanie terapii manualnej w leczeniu zaburzeń stawu skroniowo-żuchwowego. *Fizjoterapia układu staomatognatycznego* 2016: 285–296.
76. Wieczorek A., Loster J., Majewski S. Assessment of suitability of orthopantomograms in dental diagnostics of temporomandibular joints: Ocena przydatności obrazów ortopantomograficznych w diagnostyce stomatologicznej stawów skroniowo-żuchwowych. *Journal of Stomatology* 2012; 65(6): 845–854.
77. Adamska P., Adamski Ł., Starzyńska A. Wybrane metody obrazowania i badania przedmiotowego stawów skroniowo-żuchwowych. Conference Paper: II Studenckie Ogólnopolskie Forum Radiologiczne 2016.
78. Chalkoo AH., Bhat ZA., Maqbool A. MRI characteristics of disc displacement of temporomandibular disorders and its correlation with clinical findings in symptomatic

- and asymptomatic subjects. *International Journal of Applied Dental Sciences* 2017; 3(2): 80–85.
79. Różyło-Kalinowska I. Rola tomografii wolumetrycznej w ortodoncji: The role of Cone-Beam Computed Tomography in orthodontics. *Forum Ortodontyczne* 2011: 28–40.
 80. Różyło-Kalinowska I. Standardy Europejskiej Akademii Radiologii Stomatologicznej i Szcękowo-Twarzowej dotyczące obrazowania wolumetrycznego (CBCT). *Radiologia w praktyce stomatologicznej* 2009; 7(1): 12–16.
 81. Różyło-Kalinowska I., Różyło TK. Zastosowanie obrazowania wolumetrycznego w ogólnej diagnostyce stomatologicznej. *Radiologia w praktyce stomatologicznej* 2009; 5: 18–23.
 82. Nooranipour M., Farahani RM. Estimation of cranial capacity and brain weight in 18-22-year-old Iranian adults. *Clinical neurology and neurosurgery* 2008; 110(10): 997-1002.
 83. Woo EJ., Jung H., Tansatit T. Cranial index in a modern people of Thai ancestry. *Anatomy & Cell Biology* 2018; 51(1): 25-30.
 84. Hashimoto K., Clark GT. The effect of altering jaw position on the transmission of vibration between the skull and teeth in humans. *Archives of Oral Biology* 2001; 46(11):1031-1038.
 85. Akan A., Ergin A. Yildirim M. Oztas E. Analysis of temporomandibular joint sounds in orthodontic patients. *Computers & Electrical Engineering*. 2006; 32(4): 312-321.
 86. Ogütçen-Toller M. Sound analysis of temporomandibular joint internal derangements with phonographic recordings. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2003; 89(3): 311-318.
 87. Kecik D., Kocadereli I., Saatci I. Evaluation of the treatment changes of functional posterior crossbite in the mixed dentition. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 2007; 131(2): 202-215.
 88. Deng M., Long X., Dong H., Chen Y., Li X. Electrosonographic characteristics of sounds from temporomandibular joint disc replacement. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 2006; 35(5): 456-460.
 89. Szczegielniak J., Bogacz K., Krajczy M., Dybek T., Łuniewski J. Dysfunkcje stawu skroniowo-żuchwowego. *Rehabilitacja w praktyce* 2017; 2: 36-39.
 90. Santucci E., Santucci N. Rozdział 4 Badanie wstępne pacjenta, *Stomatologia estetyczna w praktyce klinicznej*. *Stomatologia estetyczna w praktyce klinicznej* 2012: 31-43
 91. <http://atol.am.gdynia.pl/tc/Radzienski/fourier1.htm>_Accessed 1 Jun 2020
 92. Moczko J., Kramer L. *Cyfrowe metody przetwarzania sygnałów biomedycznych*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2001.

93. Jemielniak K. Przetwarzanie sygnałów w diagnostyce stanu narzędzia i procesu skrawania. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji* 2011; 31/2:37-49.
94. www.tu.kielce.pl/~grysa/DiHwS-3.doc, Accessed 09 Oct 2015
95. <http://archiwum.ciop.pl/56487;>] pp. 14-15. Accessed 05 Oct 2015

XIII. ZGODA KOMISJI BIOETYCZNEJ



UNIwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Komisja Bioetyczna przy Uniwersytecie Medycznym
im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Collegium Maius
ul. Fredry 10
61-701 Poznań

tel. (+48 61) 854 62 51, 854 60 60
fax. (+48 61) 854 61 07
www.bioetyka.ump.edu.pl

Uchwała nr 497/15

Na podstawie przepisów Ustawy z dnia 5 grudnia 1996 r. o zawodach lekarza i lekarza dentysty (Dz. U. 2011, Nr 277, poz. 1634, późn. zm.), Rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 11 maja 1999r. w sprawie szczegółowych zasad powoływania i finansowania oraz trybu działania komisji bioetycznych (Dz. U. Nr 47, poz. 490), Ustawy z dnia 6 września 2001r. Prawo farmaceutyczne (Dz. U. 2008, Nr 45, poz. 271 z późn. zm.), Rozporządzenia Ministra Finansów z dnia 30 kwietnia 2004r. w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej badacza i sponsora (Dz. U. 2004, nr 101, poz. 1034 z późn. zm.), Rozporządzenia Ministra Finansów z dnia 18 maja 2009r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej badacza i sponsora (Dz. U. Nr 101, poz. 845), Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 19 kwietnia 2004r. w sprawie sposobu prowadzenia badań klinicznych z udziałem małoletnich (Dz. U. 2004, Nr 104, poz. 1100), Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 10 kwietnia 2004r. w sprawie zgłoszenia niepożądanego ciężkiego niepożądanego działania produktu leczniczego (Dz. U. Nr 104, poz. 1107), Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 11 listopada 2010r. w sprawie wzorów wniosków przedłożanych w związku z badaniem klinicznym, wysokości opłat za złożenie wniosków oraz sprawozdania końcowego z wykonania badania klinicznego (Dz. U. 2010, nr 222, poz. 1453, z późn. zm.), Ustawy z dnia 20 maja 2010 r. o wyrobach medycznych (Dz. U. 2010, nr 107, poz. 679, z późn. zm.), Rozporządzenia Ministra Finansów z dnia 6 października 2010 r. w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej sponsora i badacza klinicznego w związku z prowadzeniem badania klinicznego wyrobów (Dz. U. 2010, Nr 194, poz. 1290), Ustawy z dnia 18 marca 2011 r. o Urzędzie Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobiotycznych (Dz. U. 2011, nr 62, poz. 451), Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 maja 2012r. w sprawie Dobrej Praktyki Klinicznej (Dz. U. 2012, poz. 489), Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 2 maja 2012r. w sprawie wzorów dokumentów przedłożanych w związku z badaniem klinicznym produktu leczniczego oraz w sprawie wysokości i sposobu wiszczania opłat za złożenie wniosku o rozpoczęcie badania klinicznego (Dz. U. 2012, Nr 0, poz. 491), w oparciu o Deklarację Helsińską - Zasady Etycznego Postępowania w Eksperymentach Medycznym z Ludźmiem i Leczniem.

Komisja Bioetyczna, na posiedzeniu w dniu 06 maja 2015 r.

rozpatrzyła wniosek dotyczący prowadzenia badań naukowych.

Kierownik projektu:

Prof. dr hab. Leszek Kubisz

Miejsce prowadzenia badań:

Katedra i Zakład Biofizyki UM w Poznaniu

Główny badacz: mgr Weronika Kawalkiewicz

Członkowie zespołu

**badawczego: dr hab. Jerzy Sokalski prof. UM
Weronika Kurzac**

Temat badań:

„Opracowanie bezkontaktowej metody pomiaru drgań czaszki wywołanych ruchami w stawie żuchwowo- skroniowym”.

Komisja wydała uchwałę o pozytywnym zaopiniowaniu tego wniosku

Zastępca Przewodniczącego Komisji

prof. dr hab. Janusz Wiśniewski



UNIwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Komisja Bioetyczna przy Uniwersytecie Medycznym
im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Collegium Maius
ul. Fredry 10
61-701 Poznań

tel. (+48 61) 854 62 51, 854 60 60
fax. (+48 61) 854 61 07
www.bioetyka.ump.edu.pl

Uchwała nr 1015/16

Na podstawie przepisów Ustawy z dnia 5 grudnia 1996 r. o zawodach lekarza i lekarza dentyisty (Dz. U. 2011, Nr 277, poz. 1634 z późn. zm.); Rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 11 maja 1999r. w sprawie szczegółowych zasad powoływania i finansowania oraz trybu działania Komisji bioetycznych (Dz. U. Nr 47, poz. 480); Ustawy z dnia 6 września 2001r. Prawo farmaceutyczne (Dz. U. 2008 Nr 45, poz. 271 z późn. zm.); Rozporządzenia Ministra Finansów z dnia 30 kwietnia 2004r. w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej badacza i sponsora (Dz. U. 2004 nr 101, poz. 1034 z późn. zm.); Rozporządzenia Ministra Finansów z dnia 18 maja 2005r. zmieniające rozporządzenie w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej badacza i sponsora (Dz. U. Nr 101, poz. 845); Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 30 kwietnia 2004r. w sprawie sposobu prowadzenia badań klinicznych z udziałem małoletnich (Dz. U. 2004 Nr 104, poz. 1108); Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 30 kwietnia 2004r. w sprawie zgłaszania niespodziewanego ciężkiego niepożądanego działania produktu leczniczego (Dz. U. Nr 104, poz. 1107); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 15 listopada 2010 r. w sprawie wzorów wniosków przedkładanych w związku z badaniem klinicznym, wysokości opłat za złożenie wniosków oraz sprawozdania końcowego z wykonania badania klinicznego (Dz. U. 2010r. nr 222 poz. 1453, z późn. zm.); Ustawy z dnia 20 maja 2010 r. o wyrobach medycznych (Dz. U. 2010r. nr 107 poz. 679, z późn. zm.); Rozporządzenia Ministra Finansów z dnia 6 października 2010 r. w sprawie obowiązkowego ubezpieczenia odpowiedzialności cywilnej sponsora i badacza klinicznego w związku z prowadzeniem badania klinicznego wyrobów (Dz. U. 2010, Nr 194 poz. 1290); Ustawy z dnia 18 marca 2011 r. o Urzędzie Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych (Dz. U. 2011 nr 82, poz. 451); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 maja 2012r. w sprawie Dobrej Praktyki Klinicznej (Dz. U. 2012, poz. 489); Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 maja 2012r. w sprawie wzorów dokumentów przedkładanych w związku z badaniem klinicznym produktu leczniczego oraz w sprawie wysokości i sposobu uiszczania opłat za złożenie wniosku o rozpoczęcie badania klinicznego (Dz. U. 2012, Nr 0 poz. 491); w oparciu o Deklarację Helsińską - Zasady Etycznego Postępowania w Eksperymentach Medycznym z Udziałem Ludzi oraz przepisy ICH GCP.

Komisja Bioetyczna, na posiedzeniu w dniu 05 października 2016 r.

rozpatrzyła wniosek dotyczący prowadzenia badań naukowych.

Kierownik projektu:

prof. dr hab. Leszek Kubisz

Miejsce prowadzenia badań:

Katedra i Zakład Biofizyki Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu

Główny badacz: mgr Weronika Kawałkiewicz

Członkowie zespołu

badawczego:

**dr hab. Jerzy Sokalski prof. UM
Weronika Kurzac**

Temat badań:

„Wykorzystanie Dopplerowskiej wibrometrii laserowej w diagnostyce dysfunkcji stawu skroniowo-żuchwowego”.

Komisja podjęła Uchwałę o pozytywnym zaopiniowaniu zmian wprowadzonych do protokołu powyższego badania, polegających na zmianie tematu badania z „Opracowanie bezkontaktowej metody pomiaru drgań czaszki wywołanych ruchami w stawie żuchwowo-skroniowym” na powyższy, zgodnie z Anekssem nr 1 z dnia 05.10.2016r. do Uchwały Komisji Bioetycznej nr 497/15 z dnia 06.05.2015r.

Metodyka pozostaje bez zmian.

Przewodniczący Komisji

prof. dr hab. med. Paweł Chęciński

INFORMACJE DLA PACJENTA

Celem badań jest określenie częstotliwości drgań dla stawów skroniowo-żuchwowych. Badania te prowadzone są za pomocą laserowego wibrometru Dopplerowskiego. W wibrometrze wykorzystany zostaje laser helowo – neonowy, który nakierowany zostaje kolejno na lewy i prawy staw osoby badanej. Laser ten jest laserem klasy II, co oznacza, że jest to laser bezpieczny, jednak w przypadku jeżeli wiązka zostałaby nakierowana na oko naturalnym odruchem ochronnym jest mruganie. W momencie kiedy wiązka zostanie nakierowana na staw osoba badana proszona jest o wykonanie kolejno ruchów za które odpowiada staw, są to następujące ruchy:

- opuszczanie/ podnoszenie żuchwy,
- przesunięcie żuchwy na bok,
- wysunięcie żuchwy do przodu.

Ruchy te wykonywane są kilkakrotnie i rejestrowane za pomocą laserowego wibrometru Dopplerowskiego. Ważne jest, żeby podczas pomiarów osoba badana nie uderzała zębami o siebie, gdyż ma to wpływ na uzyskane wyniki. Badanie to jest całkowicie bezbolesne oraz bezinwazyjne. Może zostać przerwane w każdej chwili.

ZGODA PACJENTA NA UDZIAŁ W BADANIU

Tytuł badania: „Opracowanie bezkontaktowej metody pomiaru drgań czaszki wywołanych ruchami w stawie żuchwowo-skroniowym”

Ja niżej podpisany/a.....
oświadczam, że zapoznałem/am się z informacjami dotyczącymi badania a także otrzymałem/am odpowiedzi na zadane pytania. Wyrażam zgodę na udział w badaniu dotyczącym drgań czaszki wywołanych ruchami w stawie żuchwowo – skroniowym, polegającego na pomiarze drgań po wykonaniu ruchów żuchwy w trzech kierunkach (opuszczanie/ podnoszenie żuchwy, przesunięcie żuchwy na bok, wysunięcie żuchwy do przodu), rejestrowanego za pomocą laserowego wibrometru Dopplerowskiego. Jestem świadomy/a tego, że w każdej chwili badania mogę z niego zrezygnować bez podania przyczyny. Otrzymałem/am kopię formularza opatrzoną datą i podpisem. Potwierdzam, że zostałem/am poinformowany/na o sposobie przetwarzania danych oraz o tym, że zbierane są one w celu naukowej analizy badania.

.....
(data, imię i nazwisko osoby badanej)

.....
(data, imię i nazwisko osoby uzyskującej zgodę na badania)