

Streszczenie pracy w języku polskim

Wstęp

Zaburzenia czynnościowe układu ruchowego narządu żucia (*ang. temporomandibular disorders – TMD*) są zbiorem objawów w obrębie układu stomatognatycznego z bólem w obrębie mięśni żucia i stawów skroniowo-żuchwowych (SSŻ) jako dominującym objawem. Częstym zaburzeniem w obrębie SSŻ są również trzaski i krepitacje stawowe. U ponad 60% osób doświadczających objawów TMD występuje więcej niż jeden objaw jednocześnie.

Etiologia TMD jest wieloczynnikowa. Uważa się, że dominującym czynnikiem jest stres emocjonalny, który może być zarówno przyczyną wystąpienia objawów, jak i jednocześnie czynnikiem podtrzymującym ich intensywność. Poza czynnikiem psychoemocjonalnym, piśmiennictwo wskazuje na zmiany hormonalne, parafunkcje w obrębie narządu żucia z bruksizmem jako najbardziej powszechną z nich, a także zaburzenia okluzji, urazy oraz czynniki genetyczne.

Szacuje się, że objawy TMD dotyczą od 3 do 12% ogólnej populacji, będąc najczęstszą przyczyną bólu w obrębie twarzy (*ang. orofacial pain*). Objawy zaburzeń skroniowo-żuchwowych częściej dotyczą kobiet, a szczyt ich występowania występuje pomiędzy 16. a 45. rokiem życia.

Najczęściej opisywanym i wykorzystywanym protokołem diagnostycznym TMD jest protokół RDC/TMD (*ang. Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Joint Disorders*) oraz jego kolejna wersja DC/TMD (*ang. Diagnostic Criteria for Temporomandibular Joint Disorders*).

Piśmiennictwo prezentuje różne metody diagnostyki trzasków stawowych, od badania palpacyjnego wykorzystywanego w protokole (R)DC/TMD przez osłuchiwanie stawów przy pomocy stetoskopu aż po bardziej skomplikowane systemy pomiarowe w postaci wibroartrografii (VAG).

Wibroartrografia jest przykładem narzędzia służącego do jakościowej oceny funkcji stawów. VAG polega na rejestracji i analizie sygnału bazującego na współczynniku tarcia powstającego podczas ruchu kości w stawie.

Pomimo wielu doniesień opisujących szerokie możliwości zastosowania wibroartrografii, w badaniach naukowych oraz praktyce klinicznej na przestrzeni lat pojawiały się wątpliwości dotyczące powtarzalności sygnału, wartości diagnostycznej tego narzędzia, a także systemów klasyfikacyjnych.

Podstawę do sformułowania problemu badawczego stanowiły następujące kwestie: (1) dobór optymalnych metod badania trzasków stawowych, (2) dobór cech oraz klasyfikacja sygnału wibroakustycznego, (3) ocena powtarzalności oraz wartości diagnostycznej wibroartrografii.

Cel pracy

Celem głównym pracy jest ocena wartości diagnostycznej sygnału wibroakustycznego przy pomocy klasyfikatorów w kontekście diagnostyki trzasków w stawach skroniowo-żuchwowych. Cele szczegółowe dotyczą określenia powtarzalności sygnału, wyznaczenia czułości, swoistości oraz dokładności cech charakteryzujących sygnał, a także porównania wartości diagnostycznej zastosowanych klasyfikatorów sygnału wibroakustycznego.

Materiał i metody

W ramach projektu przebadano 104 osoby, z czego do dalszego etapu zakwalifikowano 94 uczestników, których podzielono na dwie grupy – badaną ($n = 47$) oraz porównawczą ($n = 47$). Średni wiek uczestników grupy badanej wyniósł $27,5 \pm 5,6$ lat, natomiast porównawczej $26,8 \pm 6,8$ lat. Głównym kryterium kwalifikacyjnym do grupy badanej była obecność trzasków w stawie lub stawach skroniowo-żuchwowych na podstawie badania wg RDC/TMD. Do grupy porównawczej zakwalifikowano osoby bez żadnych objawów TMD.

Protokół badania wibroartrograficznego wykonanego przy pomocy akcelerometrów umieszczonych w rzucie stawów polegał na rejestracji sygnału podczas wykonywania przez osobę badaną ruchów otwarcia i zamknięcia SSŻ w maksymalnym zakresie ruchu. Następnie zarejestrowany sygnał opisano wykorzystując cechy systemu JVA (*ang. Joint Vibration Analysis*): Total Integral (PaHz), The Ratio of > 300 Hz / < 300 Hz, Peak Amplitude (Pa), Peak Frequency (Hz) oraz Median Frequency (Hz). Do stworzenia klasyfikacji sygnału wykorzystano dwa klasyfikatory: jeden zaczerpnięty z systemu JVA oraz drugi, autorski klasyfikator oparty o algorytm KNN (*ang. k nearest neighbours*) czyli k-najbliższych sąsiadów, polegający na porównaniu wektora wartości opisujących klasyfikowany obiekt do znanych (sklasyfikowanych) obiektów w bazie.

Wyniki

W toku analizy wykazano następującą powtarzalność cech sygnału wibroakustycznego: poziom doskonały (Integral < 300 Hz), poziom dobry (Total Integral, Integral > 300 Hz oraz Peak Amplitude) i poziom umiarkowany (Ratio of > 300 Hz / < 300 Hz oraz Median

Frequency). Cecha Peek Frequency wykazała niską wartość ICC ($< 0,50$). Większość cech sygnałów wykazała istotne różnice pomiędzy grupami: badaną i porównawczą. Największe różnice odnotowano w przypadku cech: Integral < 300 Hz oraz Peek Amplitude, natomiast dwie: Peek Frequency oraz Median Frequency nie różniły się pomiędzy grupami.

Na ostatnim etapie analizy obliczono wartość diagnostyczną opisaną parametrami czułości, swoistości oraz dokładności poszczególnych cech sygnału wibroakustycznego dla dwóch klasyfikatorów. Analiza porównawcza wykazała, że wykorzystanie zaproponowanego klasyfikatora (KNN) wykazało wyższą wartość diagnostyczną (czułość 0,70 i specyficzność 0,91) niż w przypadku klasyfikatora JVA. Najwyższą różnicę pomiędzy klasyfikatorami zaobserwowano w przypadku parametru swoistości.

Wnioski

Analiza wykazała wysoką powtarzalność sygnału wibroakustycznego w przypadku większości analizowanych parametrów, potwierdzając tym samym możliwość zastosowania wibroartrografii jako narzędzia diagnostycznego stawów skroniowo-żuchwowych.

Czułość, swoistość i dokładność cech sygnału wibroakustycznego należy określić jako dobrą i doskonałą, a zaproponowany klasyfikator wykazał wysoką wartość diagnostyczną w wykrywaniu trzasków stawowych.

Przyszłe kierunki badań z wykorzystaniem wibroartrografii powinny skupić się na wyznaczeniu nowego zestawu cech opisujących sygnał wibroakustyczny, a także optymalizacji metod klasyfikacji sygnału. Wydaje się, że unifikacja klasyfikacji sygnału VAG z protokołem (R)DC/TMD poprawiałaby diagnostykę zaburzeń skroniowo-żuchwowych.

Słowa kluczowe: wibroartrografia, zaburzenia czynnościowe układu ruchowego narządu żucia, zaburzenia skroniowo-żuchwowe, staw skroniowo-żuchwowy.

Tomasz Paraniak

Streszczenie pracy w języku angielskim

Introduction

Temporomandibular disorders (TMD) is an umbrella term for symptoms within the masticatory system with pain in the muscles and/or in the temporomandibular joints (TMJ) as the dominant symptom. Common disturbances within the TMJ are also joint sounds such as clicks or crepitus. More than 60% of people experiencing TMD symptoms have more than one symptom at a time.

The etiology of TMD is multifactorial, it is considered that the dominant factor is emotional stress which can be both the cause of symptoms and at the same time a factor supporting their intensity. In addition to psychoemotional factors, the literature indicates hormonal changes, parafunctions with bruxism, as the most common among them, as well as occlusion disorders, injuries, and genetic factors.

It is estimated that TMD symptoms range from 3% to 12% of the total population, being the most common cause of orofacial pain. The symptoms of TMD are more common in women and the peak of symptoms is between 16 and 45 years of age.

The most commonly used and described TMD diagnostic protocol is RDC/TMD protocol (Research Diagnostic Criteria for Temporomandibular Joint Disorders) and its next version DC/TMD (Diagnostic Criteria for Temporomandibular Joint Disorders).

The literature presents various methods for diagnosing joint sounds, ranging from palpation examination used in the (R)DC/TMD protocols, through the auscultation of joints using a stethoscope, to more complex measuring systems in the form of vibroarthrography.

Vibroarthrography (VAG) is an example of a tool for qualitative assessment of joint function. VAG consists of recording and analyzing a signal based on the coefficient of friction resulting from the movement of the bones in the joint.

Despite many reports describing the wide range of possibilities for the use of vibroarthrography both in scientific research and clinical practice, over the years there have been doubts about the signal repeatability, the diagnostic value of this tool, and classification systems.

The following issues were the basis for a research problem: (1) selection of optimal methods for joint sounds in the form of clicks, (2) selection of characteristics and classification of the vibroacoustic signal, (3) evaluation of repeatability and diagnostic value of vibroarthrography.

Aim of the study

The main aim of the study is to assess the diagnostic value of the vibroacoustic signal using the classifiers in the context of the diagnostics of joint sounds (clicks). The specific objectives are to determine signal repeatability, to determine sensitivity, specificity, and accuracy of signal characteristics, and to compare the diagnostic values of the classifiers used.

Material and methods

One hundred and four subjects were examined, out of which 94 were selected for further stages of the project. They were later divided into two groups – the study ($n = 47$) and the comparative ($n = 47$). The average age of the subjects in the study group was 27.5 ± 5.6 yo, compared to 26.8 ± 6.8 yo for the comparative group. The main inclusion criterion for the study group was the presence of joint sounds (clicks) based on the RDC/TMD examination protocol. Individuals without any TMD symptoms were eligible for the comparative group.

The trial protocol for vibroarthrography performed with accelerometers located in the temporomandibular's projection consisted of recording the signal during the subject's opening and closing movements of the TMJ with the maximum range of motion. The recorded signal is then described using the JVA signal's features: Total Integral (PaHz), The Ratio of > 300 Hz / < 300 Hz, Peak Amplitude (Pa), Peak Frequency (Hz), and Median Frequency (Hz). Two classifiers were used to classify the signal: one, taken from the JVA system, and the other, a self-classification based on the k-nearest neighbors (KNN) algorithm which compares the vector values that describe the object to the known (classified) objects in the base.

Results

The analysis showed the following reproducibility of the vibroacoustic signal characteristics: excellent level (Integral < 300 Hz), good level (Total integral > 300 Hz and Peak Amplitude), and moderate level (Ratio and Median Frequency). The Peak Frequency feature has a low ICC value (< 0.50). Most of the features of the signals showed significant differences between the study and comparative groups. The main differences were found for the following features: Integral < 300 Hz and Peak Amplitude, whereas the following two: Peak Frequency and Median Frequency, did not differ between the groups.

At the final stage of the analysis, the diagnostic value of the sensitivity, specificity, and accuracy of the individual characteristics of the vibroacoustic signal has been calculated for the two classifiers. The comparative analysis showed that the use of the proposed classifier (KNN)

showed a higher diagnostic value (sensitivity 0.70 and specificity 0.91) than the JVA classifier. The highest difference between the classifiers was observed with the specificity parameter.

Conclusions

The analysis showed high repeatability of the vibroacoustic signal for most of the parameters analyzed thus confirming the use of vibroarthrography as a diagnostic tool for temporomandibular joints.

The sensitivity, specificity, and accuracy of the characteristics of the vibroacoustic signal should be determined as good and excellent and the proposed classifier has demonstrated a high diagnostic value in the detection of joint sounds (clicks).

Future directions of research using vibroarthrography should focus on the definition of a new set of characteristics/features that describe the vibroacoustic signal and the optimization of the methods of signal classification. It seems that the unification of the VAG signal classification with the (R)DC/TMD protocol would improve the diagnosis of temporomandibular disorders.

Key words: vibroarthrography, joint vibration analysis, temporomandibular disorders, temporomandibular joint

Tamara Kucumlek