



ORIGINAL PAPER

PRACA ORYGINALNA

## Will laser Doppler vibrometry be used in facial aesthetic diagnostics?

## Czy laserowa wibrometria dopplerowska znajdzie zastosowanie w diagnostyce estetyki twarzy?

Weronika Kawałekiewicz<sup>1, a</sup>, Tomasz Przybył<sup>2, b \*</sup>, Jerzy Sokalski, Leszek Kubisz<sup>1, 3, c</sup>

<sup>1</sup> Department of Biophysics, Chair of Biophysics, Poznan University of Medical Sciences, Poland

<sup>2</sup> Orthodontics and Dysfunction, Poznan University of Medical Sciences, Poland

<sup>3</sup> Health Care Faculty, Stanislaw Staszic University of Applied Sciences in Piła, Poland

<sup>1</sup> Zakład Biofizyki, Katedra Biofizyki, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

<sup>2</sup> Klinika Ortodontji i Dysfunkcji Narządu Żucia, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

<sup>3</sup> Zakład Fizjoterapii, Instytut Ochrony Zdrowia, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Stanisława Staszica w Pile

<sup>a</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-8117-404X>

<sup>b</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-4853-0441>

<sup>c</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-4060-344X>

DOI: <https://doi.org/10.20883/jofa.78>

\* **Corresponding author / Osoba do kontaktu**  
tomasz.przybyl@hotmail.com

### ABSTRACT

Dysfunctions of the temporomandibular joint are associated with disturbances in muscle activity and joint function. It is a coupled joint, so the blockage of one joint requires excessive mobility of the other, which can significantly affect the asymmetry of the lower facial third, or on facial aesthetics. The coexistence of hypertrophy of the

### STRESZCZENIE

Dysfunkcje stawu skroniowo-żuchwowego są związane z zaburzeniem aktywności mięśni oraz funkcji stawów. Jest to staw sprzężony, zatem zablokowanie jednego ze stawów wymaga nadmiernej ruchomości drugiego, co może istotnie wpływać na asymetrię dolnego piętra twarzy, czyli na estetykę twarzy. Współwystępowanie hipertrofii

masticatory muscles, such as the masseter and temporal muscles, can also influence the change in facial aesthetics and dental arches. Detailed diagnostics of the masticatory system dysfunction provide the opportunity to plan and implement the most effective treatment and restore proper facial aesthetics.

Doppler laser vibrometry is a method that allows for vibration measurements without direct contact with the tested object. Doppler laser vibrometry operates on the principle of the Doppler effect and uses a helium-neon laser. This enables measurements in various fields. In the study, the PDV-100 vibrometer was used.

The work presents example studies in which Doppler laser vibrometry was employed, along with a brief description of available laser vibrometers. It also presents the results obtained during the measurement of skull vibrations. Differences in vibration frequency were demonstrated in individuals with temporomandibular joint disorders compared to the control group.

**Keywords:** vibrations, temporomandibular joint, laser Doppler vibrometry, facial aesthetics.

mięśni narządu żucia, na przykład mięśni żwaczy i skroniowych, może również mieć wpływ na zmianę estetyki twarzy oraz łuków zębowych. Szczegółowa diagnostyka dysfunkcji narządu żucia daje możliwość zaplanowania i zastosowania najbardziej efektywnego leczenia i przywrócenia prawidłowej estetyki twarzy.

Laserowa wibrometria dopplerowska jest metodą pozwalającą na pomiary drgań bez bezpośredniego kontaktu z badanym obiektem. Laserowa wibrometria dopplerowska opiera swoje działanie na zjawisku Dopplera i wykorzystuje laser helowo-neonowy. Pozwala to na pomiary w wielu dziedzinach. W badaniach użyty został wibrometr PDV-100.

W pracy przedstawione zostały przykładowe badania, w których wykorzystana została laserowa wibrometria dopplerowska oraz krótki opis dostępnych wibrometrów laserowych. Zaprezentowano także wyniki uzyskane podczas pomiaru drgań czaszki. Wykazano różnice w częstotliwości drgań u osób z zaburzeniami stawów skroniowo-żuchwowych w porównaniu do grupy kontrolnej.

**Słowa kluczowe:** drgania, staw skroniowo-żuchwowy, laserowa wibrometria dopplerowska, estetyka twarzy.

## Introduction

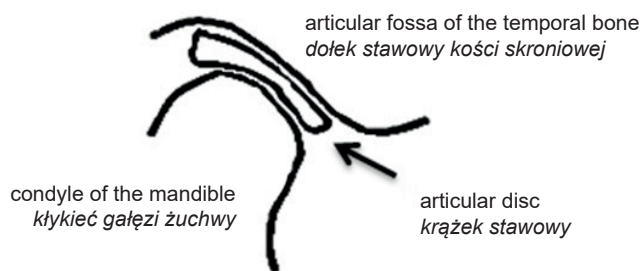
Dysfunctions of the temporomandibular joint are associated with disturbances in muscle activity and joint function. It is a coupled joint, so the blockage of one joint requires excessive mobility of the other, which can significantly affect the asymmetry of the lower facial third. The etiology of temporomandibular joint dysfunction is often multifactorial [1-3]. Muscle tension in the facial muscles influences aesthetics and social perception [4, 5]. The search for the most accurate diagnostic method is the subject of research by many scientists from various research centers around the world. Detailed diagnostics of masticatory system dysfunction provide the opportunity to plan and implement the most effective treatment and restore proper facial aesthetics [6, 7].

The work describes studies utilizing Doppler laser vibrometry. This method allows for vibration measurements without contact with the tested object, thereby eliminating any effects that could be caused by the mass of measuring sensors that would need to be directly attached, as well as the temperature of the tested object.

## Wprowadzenie

Dysfunkcje stawu skroniowo-żuchwowego są związane z zaburzeniem aktywności mięśni oraz funkcji stawów. Jest to staw sprzężony, zatem zablokowanie jednego ze stawów wymaga nadmiernej ruchomości drugiego, co może istotnie wpływać na asymetrię dolnego piętra twarzy. Etiologia dysfunkcji stawów skroniowo-żuchwowych jest często wieloczynnikowa [1-3]. Napięcie mięśniowe mięśni twarzy wpływa na estetykę i odbiór społeczny [4, 5]. Poszukiwanie najdokładniejszej metody diagnostycznej jest przedmiotem dociekań wielu badaczy z różnorodnych ośrodków naukowych na całym świecie. Szczegółowa diagnostyka dysfunkcji narządu żucia daje możliwość zaplanowania i zastosowania najbardziej efektywnego leczenia i przywrócenia prawidłowej estetyki twarzy [6, 7].

W pracy opisane zostały badania z wykorzystaniem laserowej wibrometrii dopplerowskiej. Jest to metoda pozwalająca na pomiar drgań bez kontaktu z badanym obiektem. Dzięki czemu zniwelowany zostaje efekt, który mógłby być spowodowany masą czujników pomiarowych, które musiałyby zostać zamocowane bezpo-



▲ **Figure 1.** Schematic cross-section of the temporomandibular joint  
 ▲ **Rycina 1.** Schematyczny przekrój stawu skroniowo-żuchwowego

This method enables measurements at a specific point of the test object and from large distances, up to 30 m. The principle of operation of the laser vibrometer is based on the Doppler effect [8-11].

During the study, the temporomandibular joint (TMJ) was examined; this joint connects the temporal bone with the mandible (**Figure 1**) and serves as the foundation for the functioning of the masticatory system [12-14].

Healthy temporomandibular joints operate smoothly and quietly, with no sounds observed. In the case of joint dysfunction, which affects 50-70% of the population, clicking or popping sounds may occur. These sounds are categorized as low or high, depending on their intensity. The frequency of clicks increases with age and is significantly more common in women [15].

## Material and methods

The first stage of the study of the temporomandibular joint involved sending the patient for a palpation examination by a specialist, where it was determined whether the patient's joints were functioning correctly or had dysfunctions. In the second stage, an examination was performed using Doppler vibrometry for the movements of lowering and raising the mandible, protruding the mandible forward, and moving the mandible sideways, for both the right and left joints. The group studied consisted of 27 people, including 19 women and 8 men. Eighteen individuals among the subjects had no temporomandibular joint dysfunction (including 12 women and 6 men). Nine individuals (7 women and 2 men) had temporomandibular joint dysfunction.

średnio, czy też temperaturą badanego obiektu. Metoda ta umożliwia pomiary w danym punkcie badanego obiektu i z dużych odległości, rzędu nawet 30 m. Zasada działania wibrometru laserowego opiera się na zjawisku Dopplera [8-11].

Podczas badań zbadany został staw skroniowo-żuchwowy (SSŻ), jest to staw łączący kość skroniową z żuchwą (**Rycina 1**), stanowi on podstawę funkcjonowania narządu żucia [12-14].

Zdrowe stawy skroniowo-żuchwowe działają gładko i cicho, nie obserwuje się wówczas występowania żadnych dźwięków. W przypadku dysfunkcji stawów, które dotyczą aż 50-70% populacji, mogą występować kliknięcia bądź trzeszczenia. Częstość występowania kliknięć rośnie wraz z wiekiem i znacznie częściej występuje u kobiet [15].

## Materiał i metody

Pierwszym etapem podczas badań stawu skroniowo-żuchwowego było wysłanie pacjenta na badanie palpacyjne do specjalisty, gdzie określone zostało, czy stawy pacjenta działają prawidłowo, czy posiadają dysfunkcje. W drugim etapie wykonano badanie za pomocą wibrometrii dopplerowskiej, kolejno dla ruchów: obniżania i podnoszenia żuchwy, wysuwania żuchwy do przodu oraz przesuwania żuchwy na boki, zarówno dla stawu prawego i lewego. Grupa, która poddana została badaniu liczyła 27 osób, w tym 19 kobiet i 8 mężczyzn. Osiemnaście osób spośród badanych nie posiadało dysfunkcji stawu skroniowo-żuchwowego (w tym 12 kobiet i 6 mężczyzn). Dysfunkcję stawu skroniowo-żuchwowego posiadało 9 osób (7 kobiet i 2 mężczyzn).

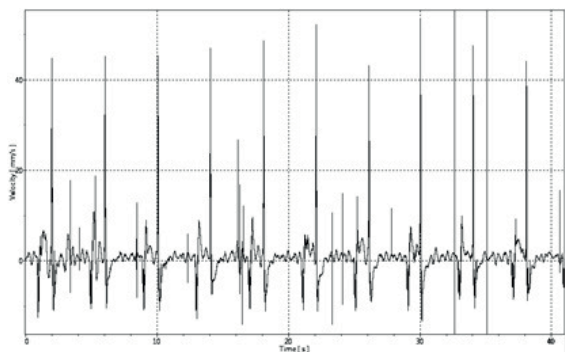
## Results

The obtained LDV signals (example, **Figure 2**) were subjected to a fast Fourier transform, which allowed for the reading of the vibration frequencies for the individual movements.

**Figure 3** and **Table 1** present the results obtained for the lowering/raising of the mandible.

## Discussion

The obtained results allow for a better understanding of the causes of the disturbance and planning the most effective method of treatment. Restoring proper function of the temporomandibular joints may improve the symmetry



▲ **Figure 2.** Recording of the temporomandibular joint measurement during the lowering of the mandible

▲ **Rycina 2.** Zapis pomiaru stawu skroniowo-żuchwowego podczas obniżania żuchwy

▼ **Table 1.** Summary of average values obtained by patients during the lowering/raising of the mandible (LO and PO refer to the lowering/raising of the left and right joints, respectively)

▼ **Tabela 1.** Zestawienie średnich wartości uzyskanych przez pacjentów podczas obniżania/podnoszenia żuchwy (LO i PO - odpowiednio obniżanie/podnoszenie stawu lewego i prawego)

	LO without dysfunction LO bez dysfunkcji	PO without dysfunction PO bez dysfunkcji	LO with dysfunction LO z dysfunkcją	PO with dysfunction PO z dysfunkcją
Frequency [Hz] Częstotliwość [Hz]	4.97	6.10	12.87	8.60

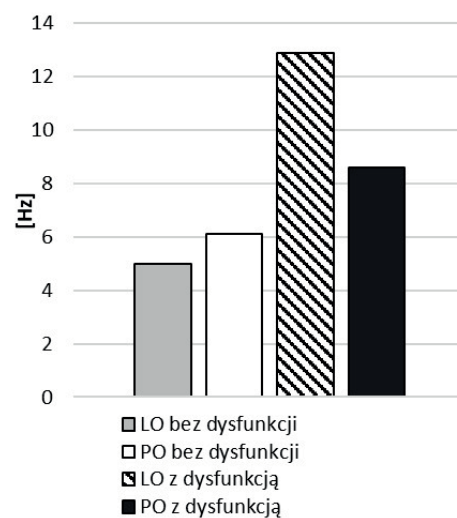
## Wyniki

Uzyskane sygnały LDV (przykład, **rycina 2**) poddane zostały szybkiej transformacji Fouriera, która pozwoliła na odczytanie częstotliwości drgań dla poszczególnych ruchów.

**Rycina 3** i **tabela 1** przedstawiają wyniki uzyskane dla obniżania/podnoszenia żuchwy.

## Dyskusja

Uzyskane wyniki pozwalają na lepsze poznanie przyczyny zaburzenia oraz zaplanowanie najefektywniejszej metody leczenia. Przywrócenie prawidłowej pracy stawów skroniowo-żuchwowych może poprawić symetrię dolnego



▲ **Figure 3.** Results obtained by patients during the lowering/raising of the mandible (LO and PO refer to the lowering/raising of the left and right joints, respectively)

▲ **Rycina 3.** Wyniki uzyskane przez pacjentów podczas obniżania/podnoszenia żuchwy (LO i PO - odpowiednio obniżanie/podnoszenie stawu lewego i prawego)

of the lower facial third. Additionally, reducing abnormal muscle tension may impact the appearance and shape of the face [7]. Increased muscle tension in the masticatory system can lead to widening of the face and mask the valued cheekbones or branches of the mandible found in many aesthetic canons [16].

Doppler laser vibrometry has been widely used for years to study the structures of the middle ear [17]. Research works are also being published on the application of the method in cardiology [18]. The versatile application of Doppler laser vibrometry in medicine inspired the research on its use in the diagnostics of temporomandibular joints. It helps to demonstrate abnormalities in joint functions and identify which joint is affected by dysfunction.

A thorough understanding of the disorder is essential for planning effective treatment. The use of biophysics in diagnostics and treatment allows for the development of modern diagnostic methods and may help relieve many individuals with joint dysfunction. Studies on skull vibrations induced by the movement of the temporomandibular joint will continue.

Based on the presented results, it can be concluded that the vibration frequencies in both temporomandibular joints in individuals without dysfunction during the lowering/raising of the mandible are lower than in those with joint dysfunctions. In patients with temporomandibular joint dysfunctions, an increase in vibration frequencies was observed. The highest vibration frequency was recorded in the left joint.

## Conclusions

Based on the examination of the temporomandibular joints using laser Doppler vibrometry, it seems that this diagnostic method will be used in facial aesthetic medicine.

## Acknowledgements

### Conflict of interest statement

The authors declares no conflict of interest.

### Funding sources

There are no sources of funding to declare.

piętra twarzy. Dodatkowo redukcja nieprawidłowych napięć mięśniowych może mieć wpływ na wygląd i kształt twarzy [7]. Zwiększone napięcia mięśni narządu żucia mogą powodować zwiększenie szerokości twarzy oraz zamaskowanie cenionych w wielu kanonach estetyki kości policzkowych lub gałęzi żuchwy [16].

Laserowa wibrometria dopplerowska od lat jest szeroko stosowana do badania struktur ucha środkowego [17]. Publikuje się także prace badawcze na temat zastosowania tej metody w kardiologii [18]. Wszeczhronne zastosowanie laserowej wibrometrii dopplerowskiej w medycynie było inspiracją do podjęcia badań nad jej zastosowaniem w diagnostyce stawów skroniowo-żuchwowych. Metoda ta pomaga wykazać nieprawidłowości funkcji stawów oraz wskazuje, który staw objęty jest zaburzeniem.

Dokładne poznanie zaburzenia jest podstawą do zaplanowania skutecznego leczenia. Wykorzystanie biofizyki w diagnostyce i leczeniu pozwala na rozwój nowoczesnych metod diagnostycznych i może pomóc wielu osobom z dysfunkcją stawów. Badania drgań czaszki wywołane ruchem stawu skroniowo-żuchwowego będą dalej kontynuowane.

Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że częstotliwości drgań w obu stawach skroniowo-żuchwowych są u osób bez dysfunkcji dla obniżania/podnoszenia żuchwy niższe niż w przypadku osób z dysfunkcjami stawów. W przypadku pacjentów z dysfunkcjami stawów skroniowo-żuchwowych zaobserwowano podniesienie częstotliwości drgań. Najwyższa częstotliwość drgań uzyskana została w przypadku stawu lewego.

## Wnioski

Na podstawie badań stawów skroniowo-żuchwowych przy wykorzystaniu laserowej wibrometrii dopplerowskiej wydaje się, że ta metoda diagnostyczna znajdzie zastosowanie w zabiegowej medycynie estetycznej twarzy.

## Oświadczenia

### Oświadczenie dotyczące konfliktu interesów

Autorzy deklarują brak konfliktu interesów w autorstwie oraz publikacji pracy.

### Źródła finansowania

Autorzy deklarują brak źródeł finansowania.

## References / Piśmiennictwo

1. Wieckiewicz M, Boening K, Wiland P, Shiau YY, Paradowska-Stolarz A. Reported concepts for the treatment modalities and pain management of temporomandibular disorders. *J Headache Pain*. 2015;16:106. doi: 10.1186/s10194-015-0586-5.
2. Radke JC. Stawy skroniowo-żuchwowe podstawą funkcjonowania narządu żucia. *Protet Stomatol*. 2012;LXII(5):382-289. doi: 10.5604/1049403.
3. Gawda P, Suwała M, Gawda J, Rojewski R. Zaburzenia funkcjonalne stawów skroniowo-żuchwowych; konieczność współpracy specjalistów fizjoterapii i stomatologii. *Zdrowie i Dobrostan*. 2013;1:97-102.
4. Singh S, Shivamurthy DM, Agrawal G, Varghese D. Surgical management of masseteric hypertrophy and mandibular retrognathism. *Natl J Maxillofac Surg*. 2011 Jan;2(1):96-9. doi: 10.4103/0975-5950.85865.
5. Casaccia S, Sirevaag EJ, Frank MG, O'Sullivan JA, Scalise L, Rohrbrough JW. Facial Muscle Activity: High-Sensitivity Noncontact Measurement Using Laser Doppler Vibrometry. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2021;70:1-10. doi: 10.1109/TIM.2021.3060564.
6. Jefferson Y. Facial beauty--establishing a universal standard. *Int J Orthod Milwaukee*. 2004 Spring;15(1):9-22.
7. Anderson SR, Pak KY, Vincent AG, Ong A, Ducic Y. Reconstruction of the Mandibular Condyle. *Facial Plast Surg*. 2021 Dec;37(6):728-734. doi: 10.1055/s-0041-1726444.
8. Grzybek D. Wykorzystanie mechanizmu przetwarzania energii w materiałach pizoelektrycznych do sterowania drganiami. *Mechanika*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 1-M/2011.
9. Jaroszyk F (ed.). *Biofizyka - wyd. II rozszerzone*. Warszawa, Wydawnictwo Lekarskie PZWL; 2008.
10. Kaczmarek F. *Wstęp do fizyki laserów*. Warszawa; 1978.
11. Halliday D, Resnick R, Walker J. *Podstawy Fizyki*. Vol. 4. Warszawa; 2003.
12. Śliwiński Z, Sieroń A (eds.). *Wielka Fizjoterapia*. Vol. 3. Wrocław, 2013.
13. Spiechowicz E. *Protetyka stomatologiczna*. Podręcznik dla studentów. Wydanie VI uaktualnione i rozszerzone. Warszawa, Wydawnictwo Lekarskie PZWL; 2008.
14. Majewski S, Wieczorek A, Loster J, Pihut M. Mięśnie żucia i stawy skroniowo-żuchwowe w aspekcie fizjologicznych funkcji układu stomatologicznego. *Prosthodontics* 2010;60(1):10-16.
15. Olivieri KA, Garcia AR, Paiva G, Stevens C. Joint vibrations analysis in asymptomatic volunteers and symptomatic patients. *Cranio*. 1999 Jul;17(3):176-83. doi: 10.1080/08869634.1999.11746092.
16. Manzaneda Cipriani RM, Cárdenas Larenas JP, Viano MSS, Flores González EA, Adrianzen G, Babaitis R, Duran Vega H, Stefanelli M, Ventura R. Jawline Aesthetic Definition: Enhancement with Masseteric Augmentation Using Ultrasound-Guided Fat Transfer. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2024 Mar 22;12(3):e5695. doi: 10.1097/GOX.0000000000005695.
17. Antognoli L, Moccia S, Migliorelli L, Casaccia S, Scalise L, Frontoni E. Heartbeat Detection by Laser Doppler Vibrometry and Machine Learning. *Sensors (Basel)*. 2020 Sep 18;20(18):5362. doi: 10.3390/s20185362.
18. Sokołowski J, Lachowska M, Bartoszewicz R, Niemczyk K. Methodology for Intraoperative Laser Doppler Vibrometry Measurements of Ossicular Chain Reconstruction. *Clin Exp Otorhinolaryngol*. 2016 Jun;9(2):98-103. doi: 10.21053/ceo.2015.00542.

---

Acceptance for editing: **26-08-2024**

Artykuł przyjęty do redakcji:

Acceptance for publication: **29-10-2024**

Artykuł zaakceptowany do publikacji: