

Research methodology, description of action and the application of Laser Doppler flowmeter to dentistry

Metodyka badań, opis działania oraz zastosowanie przepływomierza laserowo-dopplerowskiego w stomatologii

Paulina Wiczorek¹, Marcin Rudzki², Myroslava Drohomyska³,
Małgorzata Klichowska-Palotka¹

¹ Katedra i Zakład Stomatologii Zachowawczej z Endodoncją, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Polska
Chair and Department of Conservative Dentistry and Endodontics, Medical University of Lublin, Poland
Head: prof. dr hab. T. Bachanek

² Katedra i Zakład Ortopedii Szczękowej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Polska
Chair and Department of Maxillary Orthopedics, Medical University of Lublin, Poland
Head: dr n. med. I. Dunin-Wilczyńska

³ Department of Orthodontics of The P.L. Shupik National Medical Academy, Kiev, Ukraine
Zakład Ortodontji, Państwowa Akademia Medyczna im. P.L. Shupyk w Kijowie, Ukraina
Head: Prof. M. Drohomyska

Abstract

Introduction. Laser Doppler Flowmetry (LDF) is a non-invasive method of assessing blood flow in the vascular bed in real time, which has a wide range of applications to medicine and dentistry. The device uses the Doppler Effect. The emitted monochromatic light is dissipated in the tissues; a part of the beam, which is reflected from moving parts, changes the wavelength of the light. The reflected beam returns to the unit, where the spectrum of the reflected light is analyzed in terms of distribution of wavelengths. On this basis, the quantity and speed of moving parts are assessed in the tissue. In medicine, Doppler flowmetry is used to evaluate changes in microcirculation. In dentistry, it has its application to dental traumatology, prosthodontics, periodontics, orthodontics, oral and maxillofacial surgery. The aim of the study is to provide the information on the action of Laser Doppler flowmeter, present research methodology and the use in dentistry based on previous studies. **Results.** Early detection of lesions in microcirculation enables early warning and monitoring of the processes ongoing in the vascular bed. LDF offers the possibility of entering the microcosm vessels without the violation of tissue continuity. It should be remembered that Laser

Streszczenie

Wprowadzenie. Laser Doppler Flowmetry (LDF) jest nieinwazyjną metodą oceny przepływu krwi w łożysku naczyniowym w czasie rzeczywistym, mającą szerokie zastosowanie w medycynie oraz w stomatologii. Urządzenie wykorzystuje zjawisko Dopplera. Emitowane światło monochromatyczne ulega rozproszeniu w tkankach, część wiązki podlegająca odbiciu od elementów będących w ruchu zmienia długość fali światła. Odbita wiązka światła powraca do urządzenia, gdzie widmo światła odbitego podlega analizie rozkładu długości fal. Na tej podstawie określa się liczbę i prędkość ruchomych elementów w tkance. W medycynie przepływometria dopplerowska wykorzystywana jest do oceny zmian mikrokrążenia. W stomatologii ma zastosowanie w traumatologii zębów, protetyce, periodontologii, ortodontji, chirurgii stomatologicznej oraz szczękowo-twarzowej. **Celem pracy** jest przedstawienie informacji na temat istoty działania przepływomierza laserowo-dopplerowskiego, metodyki badań oraz przedstawienie na podstawie dotychczasowych badań przykładów zastosowania w stomatologii. **Podsumowanie.** Wcześniej wykryte zmiany patologiczne, pojawiające się w mikrokrążeniu niosą ze sobą możliwość wczesnego

KEYWORDS:

LDF, Laser Doppler Flowmetry, pulpal blood flow

HASŁA INDEKSOWE:

laserowa przepływometria dopplerowska (LDF), przepływ krwi w miazdze

Doppler flowmetry requires careful compliance with the test protocol in order to eliminate artefacts that affect test results.

reagowania oraz kontrolę toczących się procesów w danym łożysku naczyniowym. Badanie metodą LDF stwarza możliwość wkroczenia w mikroświat naczyń bez naruszenia ciągłości tkanek. Pamiętać należy, że laserowa przepływometria dopplerowska wymaga dokładnego przestrzegania protokołu badania w celu wyeliminowania artefaktów wpływających na wyniki badań.

Introduction

I. Laser Doppler method

Laser Doppler Flowmetry (LDF) is a non-invasive, reproducible method of assessing blood flow in the vascular bed. Laser Doppler flowmetry has been widely used in the assessment of changes in the microcirculation. It is used in dermatology, vascular surgery, angiology, neurosurgery and plastic surgery.¹ In dentistry, it has found its application to traumatology, prosthodontics, periodontics, orthodontics, oral and maxillofacial surgery. The LDF method was first used in dentistry by *Gazelius* et al. in 1986 to assess the state of blood flow in dental pulp.^{2,3}

The idea of the Laser Doppler method is based on the monochromatic laser light emission into the tissue, along with the detection and analysis of the reflected light returning to the surface of the tissue. During the penetration of light into the tissue, a series of physical phenomena occur, such as reflection and absorption or dispersion of light inside the tissue. Part of the light reflected from mobile cellular components of blood, including erythrocytes, leukocytes and platelets undergoes the Doppler phenomenon – the wavelength of the reflected light changes depending on the speed of blood cells and the angle between the path of blood cells movement and the light beam. Erythrocytes account for 99% of the total number of mobile blood components; therefore the impact of the remaining cells on the result is irrelevant. The method does not detect the movement of fluids with a uniform refraction index.^{4,5}

As a result of radiation dispersion, some photons get back out of the tissue, and then through a fibre-optic cable they reach the system analyzing the

Wprowadzenie

I. Metoda laserowo-dopplerowska

Laserowa przepływometria dopplerowska (Laser Doppler Flowmetry – LDF) jest nieinwazyjną, powtarzalną metodą oceny przepływu krwi w badanym łożysku naczyniowym. Laserowa przepływometria dopplerowska znalazła szerokie zastosowanie w ocenie zmian mikrokrążenia. Jest stosowana w dermatologii, chirurgii naczyniowej, angiologii, neurochirurgii, chirurgii plastycznej.¹ W stomatologii wykorzystywana jest w traumatologii, protetyce, periodontologii, ortodontacji, chirurgii stomatologicznej oraz chirurgii szczękowo-twarzowej. Po raz pierwszy metoda LDF została wykorzystana w stomatologii do oceny stanu ukrwienia miazgi zęba przez *Gazeliusa* i wsp. w 1986 roku.^{2,3}

Ideą metody laserowo-dopplerowskiej jest emisja w głąb tkanki monochromatycznego światła laserowego, a następnie detekcja i analiza światła odbitego, powracającego na powierzchnię tkanki. Podczas wnikania światła w głąb tkanki, następuje szereg zjawisk fizycznych, takich jak: odbicie oraz absorpcja lub rozproszenie światła we wnętrzu tkanki. Część światła odbitego od ruchomych elementów morfotycznych krwi, a więc od erytrocytów, leukocytów i płytek krwi ulega zjawisku Dopplera – długość fali światła odbitego zmienia się w zależności od prędkości krwinki oraz kąta, jaki tworzy tor ruchu krwinki i wiązka światła. Erytrocyty stanowią 99% ogólnej liczby ruchomych elementów krwi, dlatego też wpływ pozostałych komórek na wynik nie jest istotny. Metoda nie wykrywa ruchu płynów o jednolitym indeksie refrakcji.^{4,5}

Na skutek rozproszenia promieniowania, część

spectral distribution of the reflected light. The processing circuitry and signal analysis enable obtaining the information on the perfusion of the tested tissue, defined as the product of the local speed and the cell concentration, averaged in the volume of the tissue in which the light penetrates.⁵

The penetration of light gives a measurement of the vascular perfusion of approx. 1 mm³. Perfusion is measured in arbitrary units PU (Perfusion Unit) $PU = CMBC$ (Concentration of Moving Blood Components) $\times V$ (Mean Speed of Blood Cells Movement).¹

The LDF test does not give objective results and does not measure the actual flow rate in a unit: 1 g blood/100 g tissue/1 minute. The test is a comparison and shows the change in the flow through the vascular bed under the action of various stimuli.⁶ The measurement is continuous and is carried out in real time.⁵

II. The construction of Laser Doppler blood flowmeter

The Laser Doppler device consists of the following components: a laser radiation source, a measuring probe, the signal detection system (photo detector), the signal processing circuit and the system of result visualization (software).⁷

Light source

Most Laser Doppler instruments use a semiconductor laser. In laser Doppler measurements, the beam power should be chosen so as not to cause energy disturbances of the state and function of the microcirculation. Currently, we use lasers with the beam power incident on the tissue of the order of 1-3mW. Lasers emit near infrared waves (780-810 nm). Radiation with the shorter wavelength is more absorbed, making it difficult to detect radiation after re-emission, while radiation of the longer lengths penetrates deeper into the tissue, leading to an increase in the tested tissue volume.⁷

Photodetector

In LDF devices, the light reaching the photodetector is a mixture of radiation originating from photons dispersed on solid components of

fotonów światła trafia ponownie na zewnątrz tkanki, a następnie światłowodem do układu analizującego rozkład widma światła odbitego. Układ przetwarzania i analizy sygnału umożliwia uzyskanie informacji na temat ukrwienia badanej tkanki, zdefiniowanego jako iloczyn lokalnej wartości prędkości i koncentracji krwinek, uśredniony w objętości tkanki, w której penetruje światło.⁵

Penetracja światła daje pomiar perfuzji łożyska naczyniowego o objętości ok. 1 mm³. Perfuzja mierzona jest w jednostkach umownych PU (Perfusion Unit) $PU = CMBC$ (Koncentracja Ruchomych Elementów Morfotycznych) $\times V$ (Średnia Prędkość Ruchu Krwinek).¹

Badanie LDF nie daje obiektywnego wyniku i nie mierzy faktycznego przepływu w jednostce: 1 g krwi/100 g tkanki/1 minutę. Badanie ma charakter porównawczy i obrazuje zmianę przepływu w danym łożysku naczyniowym pod wpływem działania różnych bodźców.⁶ Pomiar ma charakter ciągły i jest przeprowadzany w czasie rzeczywistym.⁵

II. Budowa laserowo-dopplerowskiego mierzaka ukrwienia

Przyrząd laserowo-dopplerowski składa się z następujących elementów: źródła promieniowania laserowego, sondy pomiarowej, układu detekcji sygnału (fotodetektor), układu przetwarzania sygnału oraz systemu wizualizacji wyników (oprogramowanie komputerowe).⁷

Źródło światła

W większości przyrządów laserowo-dopplerowskich stosowany jest laser półprzewodnikowy. W pomiarach laserowo-dopplerowskich moc wiązki należy dobrać tak, aby nie powodować energetycznego zaburzenia stanu i funkcji układu mikrokrażenia. Obecnie stosowane są lasery o mocy wiązki padającej na daną tkankę rzędu 1-3 mW. Lasery emitują fale z zakresu bliskiej podczerwieni (780-810 nm). Promieniowanie o fali krótszej jest bardziej pochłaniane, co utrudnia detekcję promieniowania po reemisji, natomiast promieniowanie o dłuższych długościach głębiej penetruje tkankę, co prowadzi do zwiększenia objętości badanej tkanki.⁷

the tissue (unchanged frequency of radiation) and those that dissipated on the moving blood cells undergoing Doppler frequency change. Currently, common Laser Doppler instruments use semiconductor diodes as light radiation detectors.⁷

Measuring probes

The device is connected to the tested object through the measuring probe. Measuring probes have different cross-sectional surface areas; they also differ in terms of the size of channel separation (receiving channel and emitting channel). If the separation of a fibre-optic cable is lower, also the depth and volume of the laser light penetration is smaller, thus reducing the volume of the measured vascular bed. The smaller depth of measurement is desired for a precise examination of the limited amount of tissue, such as in the case of dental pulp.⁷

The system of visualization of results

The results appear immediately on the computer monitor. During the test, we can read and interpret test results. An additional useful feature is the ability to save and store results in the computer memory. This function allows us to compare and control the level of the blood flow during subsequent visits.^{4,7}

III. Calibration of Laser Doppler devices

The measurement of the vascular blood flow compares the movement of blood with the standard liquid, and for this reason, the device is calibrated prior to testing. According to the manufacturer's information, the properly calibrated Doppler flowmeter after placing the probe in the calibration solution gives a constant value.^{7,8}

Research methodology is important to obtain reliable results. Before the test, we must take into account the manufacturer of the measuring device, the emitted wavelength of the laser light, the type of probes, parameters connected with the measurement e.g. the duration of the measurement, and the conditions under which the test is conducted.

Fotodetektor

W aparatach LDF światło docierające do fotodetektora jest mieszaniną promieniowania pochodzącego od fotonów rozproszonych na stałych elementach tkanki (niezmieniona częstotliwość promieniowania) i tych, które rozpraszają się na ruchomych krwinkach, podlegając dopplerowskiej zmianie częstotliwości. Obecnie w spotykanych przyrządach laserowo-dopplerowskich detektorami promieniowania świetlnego są diody półprzewodnikowe.⁷

Sondy pomiarowe

Aparat połączony jest z badanym obiektem za pomocą sondy pomiarowej. Sondy pomiarowe mają różne wartości przekroju pola powierzchni, różnią się również wielkością separacji kanałów (kanał odbiorczy i kanał emitujący). Jeżeli separacja światłowodów jest mniejsza, to mniejsza jest głębokość i objętość penetracji światła laserowego, a więc objętość mierzonego łożyska naczyniowego. Mniejsza głębokość pomiaru jest pożądana przy precyzyjnym badaniu ograniczonej ilości tkanki, np. miazgi zęba.⁷

System wizualizacji wyników

Wyniki pojawiają się natychmiast na monitorze komputera. W trakcie badania można odczytać oraz zinterpretować wyniki badania. Dodatkową przydatną funkcją jest możliwość zapisywania i przechowywania wyników w pamięci komputera. Funkcja ta pozwala porównywać i kontrolować poziom przepływu krwi w trakcie kolejnych wizyt.^{4,7}

III. Kalibracja przyrządów laserowo-dopplerowskich

Pomiar ukrwienia łożyska naczyniowego porównuje ruch krwi z płynem wzorcowym, z tego powodu urządzenie przed przystąpieniem do badania poddaje się kalibracji. Przepływomierz dopplerowski prawidłowo skalibrowany zgodnie z zaleceniami producenta, po umieszczeniu sondy w roztworze kalibracyjnym, podaje stałą wartość.^{7,8}

W celu uzyskania wiarygodnych wyników istotna jest metodyka badania. Przed przystąpie-

Study objective

The aim of the study is to present the information on the nature of the LDF device, research methodology and its possible applications to dentistry.

Preparation of the patient for the test

The patient should present approx. twenty minutes before the scheduled examination. The patient should be advised that on the day of the test he should not consume products that affect microcirculation i.e. coffee, strong tea, alcohol or cigarettes. The test must be carried out each time under the same conditions, in the same room with the same room temperature. The test should be performed by the same person. The position taken by the patient during the test must always be the same.⁹ It should be remembered that blood flow in the dental pulp is significantly higher in patients who are lying during the test than in those who are standing or sitting.¹⁰ After changing the body position from upright to supine, the blood flow in the mouth may increase even by up to 23%.¹¹

The wavelength of the laser light emitted from the device is important in the research methodology. A small volume of the tissue (dental pulp) carries the risk of the impact of impulses from adjacent, highly perfused structures. Teeth should be isolated due to the small volume of the tested tissue. It has been found that the use of effective insulation of the teeth provides the same measurement results, regardless of the used wavelength.^{12,13} The use of rubber dam can reduce and thereby limit the influence of disturbances from the adjacent tissue during blood supply measurement by up to 69%.^{14,15} The use of a dual-shield in the form of a rubber dam or silicone splint stabilizing the probe eliminates the impact of interference to almost zero and provides the result only from the dental pulp. It should be remembered to define a precise measurement site that needs to be the same in the course of further research. Results will differ depending on whether we place the probe close to the dental cervix (the higher value of the measurement), or the incisal edge (the lower value of the measurement).^{15,16}

To sum up, the use of rubber dam during the

niem do badania należy ustalić dane producenta urządzenia pomiarowego, emitowaną długość fali światła laserowego, typ sondy, parametry związane z pomiarem, np. czas trwania pomiaru oraz warunki, w jakich przeprowadzane jest badanie.

Cel pracy

Celem pracy jest przedstawienie informacji na temat istoty działania urządzenia LDF, metodyki badań oraz możliwości zastosowania w stomatologii.

Przygotowanie pacjenta do badania

Pacjent powinien zgłosić się ok. 20 minut przed planowanym badaniem. Należy poinformować pacjenta, aby nie przyjmował w dniu badania środków wpływających na mikrokrążenie, tj. nie pił kawy, mocnej herbaty, alkoholu oraz nie palił tytoniu. Badanie należy przeprowadzić za każdym razem w tych samych warunkach, w tym samym pomieszczeniu, o jednakowej temperaturze pokojowej. Badanie powinna przeprowadzać ta sama osoba. Pozycja przyjmowana przez pacjenta podczas badania powinna być zawsze taka sama.⁹ Pamiętać należy, że przepływ krwi w miazdze zębów jest znacznie wyższy u pacjentów leżących w trakcie badania niż stojących i siedzących.¹⁰ Po zmianie pozycji ciała z siedzącej na leżącą przepływ krwi w jamie ustnej może wzrosnąć nawet o 23%.¹¹

W metodyce badania istotna jest długość fali światła laserowego emitowanego przez urządzenie. Mała objętość badanej tkanki (miazgi zęba) niesie ryzyko wpływu impulsów z sąsiadujących, silnie ukrwionych struktur. Zęby, ze względu na małą objętość badanej tkanki, należy odizolować. Stwierdzono, że użycie skutecznej izolacji zębów, daje takie same wyniki pomiarów, niezależnie od użytej długości fali.^{12,13} Użycie koferdamu może obniżyć, a tym samym ograniczyć wpływ zakłóceń pomiaru ukrwienia z sąsiednich tkanek nawet o 69%.^{14,15} Użycie podwójnej osłony w postaci koferdamu oraz silikonowej szyny stabilizującej sondę, pozwala wyeliminować wpływ zakłóceń prawie do zera i uzyskać wynik tylko z miazgi zęba. Pamiętać należy o precyzyjnym określeniu miejsca pomiaru, które musi być stałe w trakcie

test along with elements stabilizing the probe e.g. a silicone stabilizing splint substantially eliminates the influence of artefacts from the environment.^{17,18}

Methods of testing pulp vitality

Dental pulp is a richly vascularized loose connective tissue, which is enclosed in a limited space by the hard dental tissue. Access to the pulp by direct palpation and vision is impossible without damaging it. Lesions and inflammatory processes are manifested, among others, by changes in the condition of the pulp blood vessels.^{19,20} The dilation of blood vessels and congestion of the pulp are defensive reactions to the inflammatory process.²¹ Early elimination of an irritant and the implementation of appropriate treatment may cure the inflammation of the pulp. Taking full medical history and the use of available modern diagnostic methods enables making correct diagnosis of the pathology of the affected organ which is a very important element of the implementation of proper treatment. In dentistry, sensitivity to cold and electrical tests are the most widely used and accessible methods in the clinical practice to assess dental pulp vitality. Both tests use stimulation of nerve fibre ends, but there is no information on the volume of blood flow in the pulp vessels. Results are based on the subjective feeling of the patient.²²⁻²⁴ Dentine drilling test is another option used in dentistry. It is a traumatic, invasive method, where the pain is a positive reaction confirming the vitality of dental pulp.²⁵ In fact, these methods only assess the vitality of nerve fibres.

Examination of periodontium and oral tissues

The oral cavity is characterized by diversity in terms of a degree of vascularization of its various areas. The examination of the oral cavity structures by Laser Doppler flowmeter revealed that the highest level of blood flow is in the tongue, buccal mucosa and the buccal vestibule. The mean flow rate was recorded within the attached gum, while the lowest in the dental pulp.¹¹

Good status of the periodontal vessels is responsible for proper functioning of the masticatory system and thus conditions the health

kolejnych badań. Inny bowiem będzie wynik, jeżeli umieścimy sondę blisko szyjki zęba (wyższa wartość pomiaru), a inny przy brzegu siecznym (niższa wartość pomiaru).^{15,16}

Podsumowując, zastosowanie w trakcie badania koferdamu, elementów stabilizujących sondę, np. silikonowej szyny stabilizującej w znacznym stopniu eliminuje wpływ artefaktów z otoczenia.^{17,18}

Metody badania żywotności miazgi

Miazga jest luźną tkanką łączną, bogato unaczynioną, zamkniętą w ograniczonej przestrzeni przez twarde tkanki zęba. Dostęp do miazgi zęba w bezpośrednim badaniu dotykiem i wzrokiem jest niemożliwy bez jej uszkodzenia. Zmiany patologiczne, procesy zapalne manifestują się między innymi zmianą kondycji naczyń krwionośnych miazgi.^{19,20} Reakcją obronną na proces zapalny jest rozszerzenie naczyń krwionośnych oraz przekrwienie miazgi.²¹ Wczesne wyeliminowanie czynnika drażniącego oraz wdrożenie odpowiedniego leczenia może spowodować wyleczenie stanu zapalnego miazgi. Zebranie pełnego wywiadu, wykorzystanie dostępnych współcześnie metod diagnostycznych pozwala na prawidłowe rozpoznanie patologii w zmienionym chorobowo narządzie. Diagnoza jest bardzo istotnym elementem wdrożenia poprawnego leczenia. W stomatologii najbardziej rozpowszechnionym i dostępnym w praktyce klinicznej badaniem oceny żywotności miazgi zęba jest test wrażliwości na zimno oraz test elektryczny. W obu testach dochodzi do stymulacji zakończeń włókien nerwowych, nie ma natomiast informacji o wielkości przepływu krwi w naczyniach miazgi. Wyniki opierają się na subiektywnych odczuciach pacjenta.²²⁻²⁴ Innym stosowanym w stomatologii testem jest test nawiercania zębiny. Jest to traumatyczna, inwazyjna metoda, gdzie dodatnią reakcją świadczącą o zachowaniu żywej miazgi zęba jest ból.²⁵ Powyższe metody tak naprawdę oceniają żywotność jedynie włókien nerwowych.

Badanie przyzębia i tkanek jamy ustnej

Jama ustna charakteryzuje się zróżnicowaniem pod względem stopnia unaczynienia różnych jej

of the whole organism. Numerous submucosal blood vessels form a dense post-capillary plexus, which plays an important role in the pathogenesis of inflammation. As a result of the action of dental plaque metabolites on periodontium, defensive cells release inflammatory mediators (including IL-1 β , TNF- α). One of the first symptoms of the response to mediators is the change of the blood flow speed, without any clinical manifestation of the ongoing inflammatory process.¹¹ This early detection of inflammation enables the implementation of appropriate treatment at this early stage. Monitoring of the changes in the vascular bed allows for the control of the efficacy of treatment.

The study demonstrated that the blood flow in the vessels of the gingival margin is higher in an active ongoing inflammatory process, while it returns to the normal value after recovery. The study compared the blood supply in the attached gingiva, interdental papillae and free gingiva within the maxillary anterior teeth in patients with moderate gingivitis and in healthy individuals. During the first phase of the examination, the blood flow in the gums in patients with gingivitis was significantly different from that in the group of healthy individuals. Both groups underwent scaling and oral hygiene instruction. Three months after treatment, gingival blood flow was restored to a comparable level and did not differ significantly from the flow reported in healthy people.²⁶

A change in the blood flow in the marginal gingiva also occurs as a result of iatrogenic actions, for example when fillings or subgingival crowns are placed, or retraction cord is introduced into the gingival sulcus.¹² Mechanical introduction of the retraction cord increases the gingival flow and the production of crevicular fluid.^{28,29} Daily oral hygiene activities (e.g. tooth brushing) cause short-term, reversible changes in gingival blood flow.¹¹

Laser Doppler flowmetry is considered an optimal test to monitor the blood flow changes after surgery on periodontium.

Injuries to the teeth

Laser Doppler flowmetry is most widely used

obszarów. W badaniu struktur jamy ustnej za pomocą przepływomierza laserowo-dopplerowskiego stwierdzono, że najwyższy poziom przepływu krwi w tkankach jamy ustnej występuje w języku, w błonie śluzowej policzka i przedsionku jamy ustnej. Średni poziom przepływu odnotowano w obrębie dziąsła przytwierdzonego, a najniższy w miążdże zęba.¹¹

Dobra kondycja naczyń przyzębia odpowiada za prawidłowe funkcjonowanie narządu żucia, a tym samym wpływa na zdrowie całego organizmu. Liczne podśluzówkowe naczynia krwionośne tworzą gęsty spłot postkapilarny, który pełni ważną funkcję w patomechanizmie procesu zapalnego. Na skutek działania metabolitów płytki bakteryjnej na przyzębie, dochodzi do uwalniania przez komórki obronne mediatorów zapalenia (m.in. IL-1 β , TNF- α). Jednym z pierwszych objawów w odpowiedzi na działanie mediatorów jest zmiana prędkości przepływu krwi, bez klinicznych manifestacji toczącego się procesu zapalnego.¹¹ Tak wczesne wykrycie zmian zapalnych, umożliwia wdrożenie odpowiedniego leczenia we wczesnej fazie zapalenia. Monitorowanie zmian w danym łożysku naczyniowym, pozwala kontrolować skuteczność i efektywność leczenia.

Przeprowadzono badanie, w którym wykazano, że przepływ krwi w naczyniach dziąsła brzęznego jest wyższy w czasie toczącego się aktywnego procesu zapalnego, natomiast spada do właściwego poziomu po wyleczeniu. W badaniu porównywano ukrwienie dziąsła przytwierdzonego, brodawek międzyzębowych oraz dziąsła wolnego w obrębie przednich zębów szczęki u osób z umiarkowanym gingivitis oraz osób zdrowych. W pierwszej fazie badania przepływ krwi dziąsła u osób z zapaleniem był znacząco różny od grupy osób zdrowych. W obu grupach przeprowadzono skaling oraz instruktaż higieny jamy ustnej. Po 3 miesiącach od zakończenia leczenia przepływ krwi dziąsła został przywrócony w porównywalnym stopniu i nie różnił się znacząco od przepływu odnotowanego u osób zdrowych.²⁶

Zmiana przepływu krwi w dziąśle brzężnym następuje również na skutek działań iatrogenicznych, np. przy zakładaniu wypełnień, koron poddziąsłowych, wprowadzaniu nici retrakcyjnej do kieszon-

in dental traumatology. Tooth injuries are most common in children and people with mental illness. Establishing cooperation with a child during dental treatment is difficult. A child is frightened, as it is in an unknown situation. Sometimes, it is its first ever visit to a dentist, so it is important to make it the most comfortable and the least stressful experience for a young patient. After an injury, a test of the pulp viability is the basic dental examination, in addition to a radiological examination. Traditional methods (thermal test, electrical test, dentine drilling) cause a pain response and the test result is based on the subjective feelings of the patient. The Doppler method eliminates the pain factor. The test is painless and non-invasive. It enables detection of the periods of ischemia and hyperemia. The LDF method can confirm dental pulp vitality in a state of "pulp shock" when, despite the preserved vitality, the patient does not respond to painful stimuli. LDF is helpful in the diagnosis of revascularization after replantation in the completely dislocated teeth in young people.^{27,30} LDF is useful in assessing the state of dental pulp after the treatment of Le Fort I type fracture, especially where ethyl chloride test and electrical test fail.

Dental caries and its treatment

The study also examined the effect of caries and restorations on the blood flow values in the pulp.³⁰ It compared the blood flow in the pulp of teeth with caries with the blood flow in healthy teeth. It turned out that with the increasing depth of the defect, the blood flow value also increases. If after preparation of the defect, its surface reached the superficial layers of dentine, the preparation with calcium hydroxide-based agents together with an introduction of the temporary material returned the flow to the normal value. If in the teeth with deep caries the flow did not return to the normal value within two weeks, the pulp degenerated within six months.³¹

Implantology and prosthetic treatment

In implantology, the study investigated whether the blood supply to the bone bed under the dental implant affects its stability. It has been found that

ki dziąsłowej.¹² Mechaniczne wprowadzenie nici retrakcyjnej powoduje wzrost przepływu dziąsłowego oraz wzrost produkcji płynu dziąsłowego.^{28,29} Codzienne czynności związane z utrzymaniem prawidłowej higieny jamy ustnej (np. szczotkowanie zębów), również powodują krótkotrwałe, odwracalne zmiany w przepływie krwi dziąseł.¹¹

Laserowa przepływometria Dopplerowska uznana jest za optymalne badanie do monitorowania zmian ukrwienia po zabiegach chirurgicznych na przyzębiu.

Urazy zębów

Najszerze zastosowanie laserowej przepływometrii dopplerowskiej znalazło w traumatologii zębów. Urazy zębów występują najczęściej u dzieci oraz u osób upośledzonych umysłowo. Nawiazanie współpracy podczas leczenia stomatologicznego z dzieckiem jest trudne. Dziecko jest przestraszone, znajduje się w nieznanym mu sytuacji. Czasem jest to jego pierwsza w życiu wizyta u dentysty, dlatego ważne jest, aby wizyta była dla młodego pacjenta, jak najbardziej komfortowa i minimalnie stresogenna. Podstawowym badaniem zębów po urazie oprócz badania radiologicznego, jest badanie żywotności miazgi. Metody tradycyjne (test termiczny, elektryczny, nawiercania zębiny) wywołują reakcję bólową, a wynik badania opiera się na subiektywnych odczuciach pacjenta. Metoda dopplerowska eliminuje czynnik bólu. Badanie jest bezbolesne, nieinwazyjne. Badanie pozwala na wykrycie okresów ischemii lub hiperemii. Metodą LDF można potwierdzić żywotność miazgi zębów w stanie „szoku miazgi”, gdy mimo zachowanej żywotności, pacjent nie reaguje na bodźce bólowe. W zębach całkowicie zwichniętych u osób młodych LDF jest pomocne przy diagnozowaniu ponownej rewaskularyzacji po przeprowadzonej replantacji.^{27,30} LDF jest przydatny przy ocenie stanu miazgi zębów po zaopatrzeniu złamania typu Le Fort I, zwłaszcza tam, gdzie zawodzi badanie chlorkiem etylu oraz test elektryczny.

Próchnica zębów i jej leczenie

Badano również wpływ próchnicy oraz wypełnień na wartości przepływu krwi miazgi.³⁰

the determination of the level of vascularization of the bone, which is scheduled for implantation, can help to predict the outcome of the future stability of the implant, and thus the success of the procedure.³² It seems important to evaluate the quality of blood flow prior to implantation in patients after radiotherapy due to abnormal vascularization, the risk of rejection of the implant and the development of bone necrosis.³³

In prosthetics, the influence of acrylic denture on the condition of the oral mucosa was examined. For this purpose, the effect of complete acrylic denture on the substrate was compared with the acrylic prostheses underlain with the Molloplast material. The flow rate decreased in both cases immediately after the insertion of prostheses. After six months of the follow-up, the flow rate returned to the normal value in the area of the canines, while in the molar area, for the full acrylic denture the blood flow value increased over baseline, whereas for the underlain prosthesis, the flow rate remained low.^{27,34}

The changes in the blood flow in the mucous membrane of the alveolar portion of the mandible occur also when lips are brought together. It was noted that even small, prolonged load (a prosthesis disc) causes ischemia and delays the return of the flow to the initial value.^{27,35}

In patients with the burning mouth syndrome, the test revealed higher blood flow rates in vessels than in the control group.^{27,36}

Changes in the blood flow in the pulp also occur during trimming of the abutment teeth for crowns and during impression taking. These actions trigger an immediate response from the pulp in the form of increased blood flow. However, the congestion is reversible.

In plastic surgery, Laser Doppler flowmeter is used to observe the blood flow within flaps immediately after the operation, as well as during their healing. This allows for the control of the success of treatment, or the early detection of complications, such as rejection of the transplanted tissue.

Orthodontic treatment

In orthodontics, in dental intrusion the size of

Przeprowadzono badanie, w którym porównywano przepływ krwi w miazdze zębów z próchnicą, z przepływem krwi w zębach zdrowych. Okazało się, że wraz ze wzrostem głębokości ubytku, rośnie wartość przepływu krwi. W zębach, w których po opracowaniu ubytku, zakres opracowania ubytku sięgał powierzchniowych warstw zębiny, po zaopatrzeniu zęba preparatem na bazie wodorotlenku wapnia i materiałem tymczasowym przepływ wracał do normy. W zębach z głęboką próchnicą w przypadkach, w których przepływ nie wrócił do normy w ciągu 2 tygodni miazga obumarła w ciągu 6 miesięcy.³¹

Implantologia i leczenie protetyczne

W implantologii badano, czy stan ukrwienia kości łoża pod implant zębowy ma wpływ na jego stabilność. Stwierdzono, że określenie poziomu unaczynienia kości, w której zaplanowano implantację, może pomóc przewidzieć wynik stabilności przyszłego implantu, a tym samym powodzenie zabiegu.³² Ważna wydaje się ocena jakości przepływu krwi przed implantacją u osób po radioterapii, ze względu na zaburzenia unaczynienia oraz ryzyko odrzucenia implantu i rozwoju martwicy kości.³³

W protetyce badano wpływ płyty protezy akrylowej na stan błony śluzowej jamy ustnej. W tym celu porównano wpływ na podłoże akrylowej protezy całkowitej z akrylową protezą podścieloną materiałem Molloplast. Bezpośrednio po założeniu protez poziom przepływu w obu przypadkach obniżył się. Po sześciu miesiącach obserwacji wartość przepływu wróciła do normy w okolicy kłów, natomiast w okolicy trzonowców w przypadku całkowitej protezy akrylowej wartość ukrwienia wzrosła ponad wartość początkową, natomiast w przypadku protezy podścielonej wartość przepływu pozostała niska.^{27,34}

Zmiany przepływu krwi w błonie śluzowej części zębodołowej żuchwy zachodzą również w trakcie zwierania warg. Odnotowano, że nawet niewielkie, przedłużające się obciążenia (płyta protezy) powoduje niedokrwienie i opóźnienie powrotu przepływu do wartości początkowej.^{27,35}

U pacjentów cierpiących na zespół pieczenia jamy ustnej, w badaniu uzyskano wyższe wyniki

the blood perfusion decrease depends more on the size of displacement of the tooth than the applied force. The examination of blood flow changes revealed that if malocclusions are treated with fixed appliances changes in the microcirculation of the pulp are reversible. During treatment, blood flow in dental pulp increases; it is higher during the use of steel archwires, while after treatment and the removal of the fixed appliances the blood flow rate in teeth returns to the baseline.³⁹⁷

The study also examined changes in the blood flow of the gums caused by the action of orthodontic forces. Application of a 75g force resulted in a decrease of blood flow in the gums up to 50% after two months of treatment, and after a six-month follow-up results almost returned to the initial value.³⁸

Summary

Laser Doppler Flowmetry is considered to be a costly, time-consuming and complicated method. Furthermore, there is a high risk of the unfavourable effect on the correct reading of artefacts from adjacent structures, particularly the gums. The test requires a proper preparation of doctors and implementation of appropriate procedures in order to create optimal conditions for the maximum elimination of potential disruption of results.¹⁸

Among methods of the pulp assessment available today, Laser Doppler Flowmetry is the most objective and reliable for evaluating dental pulp vitality, used especially in traumatology. The method helps to determine the condition of blood vessels in the oral cavity and found the clinical use in many fields of dentistry.

poziomu przepływu krwi w naczyniach niż w grupie kontrolnej.^{27,36}

Zmiany ukrwienia miazgi występują również podczas szlifowania zębów pod korony oraz w trakcie pobierania wycisków. Działania te wywołują natychmiastową odpowiedź ze strony miazgi zęba, w postaci wzrostu przepływu krwi. Przekrwienie ma jednak charakter odwracalny.

W chirurgii plastycznej przepływomierz laserowo-dopplerowski wykorzystywany jest do obserwacji ukrwienia płatów zaraz po operacji, jak również w trakcie wgajania się płata. Pozwala to na kontrolę powodzenia leczenia, bądź wczesnego wykrycia powikłań w postaci odrzucenia przeszczepionej tkanki.

Leczenie ortodontyczne

W ortodoncji w przypadku intruzji zębów wielkość spadku perfuzji krwi bardziej zależy od wielkości przemieszczenia zęba niż zastosowanej siły.

W leczeniu wad zgryzu aparatem stałym na podstawie badania zmian przepływu unaczynienia stwierdzono, że zmiany zachodzące w mikrokrążeniu miazgi mają charakter odwracalny. W trakcie leczenia dochodzi do wzrostu wielkości przepływu krwi w miazdze zębów, większego w okresie stosowania łuków stalowych, natomiast po zakończeniu leczenia i zdjęciu aparatu stałego poziom przepływu krwi zębów powraca do wartości wyjściowych.³⁷

Badano również zmiany w przepływie krwi w dziąsłach wywołane działaniem sił ortodontycznych. Stosowanie siły o wartości 75 g spowodowało spadek przepływu krwi w dziąsłach do 50% po dwóch miesiącach od rozpoczęcia leczenia, natomiast po półrocznej obserwacji wyniki wracały prawie do pozycji wyjściowej.³⁸

Podsumowanie

Laserowa przepływometria dopplerowska uważana jest za kosztowną, czasochłonną i skomplikowaną w użyciu metodę. Ponadto istnieje wysokie ryzyko niekorzystnego wpływu na prawidłowy odczyt artefaktów z sąsiednich struktur, zwłaszcza z dziąsła. Badanie wymaga od lekarza odpowiedniego przygotowania i wdrożenia odpowiednich procedur w celu stworzenia optymalnych warunków

ków, aby w jak najwyższym stopniu wyeliminować potencjalne zaburzenia wyników.¹⁸

Współcześnie, laserowa przepływometria dopplerowska spośród dostępnych metod oceny stanu miazgi, jest najbardziej obiektywną i niezawodną metodą oceny żywotności miazgi zębów, wykorzystywaną szczególnie w traumatologii. Pomaga określić kondycję naczyń w obrębie jamy ustnej, co znalazło zastosowanie kliniczne w wielu dziedzinach stomatologii.

References

1. Nowak-Kwater B, Chomyszyn-Gajewska M: Zastosowanie przepływomierza laserowo-dopplerowskiego w medycynie i stomatologii – przegląd piśmiennictwa. *Czas Stomatol* 2003; 56: 174-178.
2. Gazelius, B, Olgart L, Edwall B, Edwall L: Non-invasive recording of blood flow in human dental pulp. *Endod Dent Traumatol* 1986; 2: 219-221.
3. Kuca R, Uliasz M, Kamiński A: Badanie żywotności miazgi zębów po urazach za pomocą laserowo-dopplerowskiego pomiaru przepływów naczyniowych. *Prot Stomatol* 2005; 55: 293-299.
4. Wojtkiewicz S, Liebert A, Badura G, Czerw M, Gacek A, Zbiec A, et al.: Skomputeryzowany zestaw laserowo-dopplerowski do nieinwazyjnej diagnostyki mikrokrążenia krwi. *Acta Bio-Optica Inf Med Inż Biomed* 2010; 16: 138-144.
5. Maniewski R, Liebert A: Metoda laserowo-dopplerowska. In: Maniewski R, Liebert A, editors. *Metoda laserowo-dopplerowska w badaniach mikrokrążenia krwi*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT; 2003. p. 25-28.
6. Abd-Elmeguid A, Yu DC: Dental pulp neurophysiology: Part 2. Current Diagnostic Tests to assess pulp vitality. *J Can Dent Assoc* 2009; 75: 139-143.
7. Maniewski R, Liebert A: Podstawy techniki laserowo-dopplerowskiej. In: Maniewski R, Liebert A, editors. *Metoda laserowo-dopplerowska w badaniach mikrokrążenia krwi*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT; 2003. p. 41-56.
8. Vongsavan N, Matthews B: Some aspects of the use of laser Doppler flowmeters for recording tissue blood flow. *Exp Physiol* 1993; 7: 1-14.
9. Maniewski R, Liebert A: Warunki pomiaru i przygotowanie pacjenta. In: Maniewski R, Liebert A, editors. *Metoda laserowo-dopplerowska w badaniach mikrokrążenia krwi*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT; 2003. p. 97-98.
10. Firestone AR, Wheatley AM, Thuer UW: Measurement of blood perfusion in the dental pulp with laser Dopplerflowmetry. *Int J Microcirc Clin Exp* 1997; 17: 298-304.
11. Chomyszyn-Gajewska, Olszewska Czyż I: Zastosowanie dopplerowskiego przepływomierza laserowego w ocenie stanu tkanek przyzębia – przegląd piśmiennictwa. *Czas Stomatol* 2008; 61: 55-60.
12. Kijssamanmith K, Timpawat S, Vongsavan N, Matthews B: Pulpal blood flow recorded from human premolar teeth with a laser Doppler flow meter using either red or infrared light. *Arch Oral Biol* 2011; 56: 629-633.
13. Soo-ampon S, Vongsavan N, Soo-ampon M, Chuckpaiwong S, Matthews B: The sources of laser Doppler blood-flow signals recorded from human teeth. *Arch Oral Biol* 2003; 48: 353-360.
14. Hartmann A, Azerad J, Boucher Y: Environmental effects on laser Doppler pulpal blood-flow measurements in man. *Arch Oral Biol* 1996; 41: 333-339.
15. Polat S, Er K, Akpınar KE, Polat NT: The sources of laser Doppler blood-flow signals recorded from vital and root canal treated teeth. *Arch Oral Biol* 2004; 49: 53-57.
16. Ramsay DS, Artun J, Martinen SS: Reliability of pulpal blood-flow measurements utilizing laser Doppler flowmetry. *J Dent Res* 1988; 70: 1427-1430.

17. *Setzer FC, Challagulla P, Kataoka SH, Trope M*: Effect of tooth isolation on laser Doppler Reading. *Int Endod J* 2013; 46: 517-522.
18. *Polat S, Er K, Akpınar KE, Polat NT*: The sources of laser Doppler blood-flow signals recorded from vital and root canal treated teeth. *Arch Oral Biol* 2004; 49: 53-579.
19. *Tomaszewska JM, Szumielewicz M*: Porównanie unaczynienia miazgi pierwszych górnych przedtrzonowców w oparciu o badanie laserowym przepływomierzem dopplerowskim i ocenę histologiczną – opis przypadku. *Stomatol Współcz* 2012; 19: 21-24.
20. *Jakubowska M, Matthews-Brzozowska T, Grotthus B, Szeląg A*: Pomiar przepływu krwi w miążdze z użyciem laserowego przepływomierza dopplerowskiego. *Dent Med Probl* 2006; 43: 239-244.
21. *Pypeć LJ*: Określenie norm przepływu krwi metodą LDF w naczyniach miazgi stałych siekaczy u dzieci w poszczególnych stadiach rozwoju korzeni. *Czas Stomatol* 2005; 58: 463-472.
22. *Gregorczy-Maga I, Maga P, Lipińska A*: Zastosowanie laserowego Dopplera w diagnostyce stanu miazgi. *Porad Stomatol* 2004; 3: 36-38.
23. *Setzer FC, Challagulla P, Kataoka SH, Trope M*: Effect of tooth isolation on laser Doppler reading. *Int Endod J* 2013; 46: 517-522.
24. *Chen E, Abbott PV*: Evaluation of accuracy, reliability and repeatability of five dental pulp tests. *J Endod* 2011; 37: 1619-1623.
25. *Kuca R, Uliasz M, Kamiński A*: Badanie żywotności miazgi zębów po urazach za pomocą laserowo-dopplerowskiego pomiaru przepływów naczyniowych. *Prot Stomatol* 2005; 4: 293-299.
26. *Kerdvongbundit V, Vongsavan N, Soo-Ampon S, Hasegawa A*: Microcirculation and micromorphology of healthy and inflamed gingivae. *Odontology* 2003; 91: 19-25.
27. *Ryniewicz J, Loster BW*: Metodyka badań I przykłady zastosowania laserowego przepływomierza Dopplera w stomatologii. *Implantoprotetyka* 2008; 9: 29-33.
28. *Csillag M, Nyiri G, Vag J, Fazekas A*: Dose-related effects of epinephrine on human gingival blood flow and crevicular fluid production used as a soaking solution for chemo-mechanical tissue retraction. *J Prosthet Dent* 2007; 97: 6-11.
29. *Strobl H, Haas M, Norer B, Gerhard S, Emshoff R*: Evaluation of pulpal blood flow after tooth splinting of luxated permanent maxillary incisors. *Dent Traumatol* 2004; 20: 36-41.
30. *Chandler NP, Pitt Ford TR, Monteith BD*: Laser light passage through restored and carious posterior teeth. *J Oral Rehabil* 2014; 41: 630-634.
31. *Wilder-Smith PEEB*: A New method for the non-invasive measurement of pulp blood flow. *Int Endod J* 1988; 21: 307-312.
32. *Kokovic V, Krsljak E, Andric M, Rahman MM, Hammerle CHF*: Correlation of bone vascularity in the posterior mandible and subsequent stability: A preliminary study. *Implant Dent* 2014; 23: 200-205.
33. *Verdonck HW, Meijer GJ, Kessler P, de Baat C, Stoelinga PJ*: Assessment of bone vascularity in the anterior mandible using laser Doppler flowmetry. *Clin Oral Implan Res* 2009; 20: 140-144.
34. *Kocabalkan E, Turgut M*: Variation in blood flow of supporting tissue during use of mandibular complete dentures with hard acrylic resin base and soft relining: a preliminary study. *Int J Prosthodont* 2005; 18: 210-213.
35. *Akazawa H, Sakurai K*: Changes of blood flow in the mucosa underlying a mandibular denture following pressure assumed as a result of light clenching. *J Oral Rehabil* 2002; 29: 336-340.
36. *Heckmann SM, Heckmann JG, Hilz MJ, Popp M, Marthol H, Neundorfer B, et al.*: Oral mucosal blood flow in patients with burning mouth syndrome. *Pain* 2001; 90: 281-286.
37. *Szumielewicz M, Kawala B, Tomaszewska J, Matthews-Brzozowska T*: Zmiany w przepływie krwi w miążdze zębów podczas leczenia ortodontycznego-opis przypadku. *Dent Med Probl* 2008; 45: 215-219.
38. *Barta A, Nagy G, Csiki Z, Marton S, Madlena M*: Changes in gingival blood flow during orthodontic treatment. *Cent Eur J Med* 2010; 5: 758-765.

Address: 20-081 Lublin, ul. Karmelicka 7

Tel.: +4881 5287920

e-mail: pauli_wieczorek@wp.pl

Received: 8th March 2015

Accepted: 16th August 2015