

To cite this article:

Korycko Laura, Andrzejewska Wiktoria, Rogocka Marta, Kubala Elżbieta, Łagocka Ryta: Laserowa dopplerowska metoda oceny przepływu krwi (LDF) w diagnostyce żywotności miazgi zębowej. Laser Doppler flowmetry (LDF) in the diagnosis of dental pulp vitality. Nowa Stomatol/New Dentistry Journal 2026;31(2):77-87. DOI: 10.25121/NS.2026.31.2.77

To link to this article:

<https://doi.org/10.25121/NS.2026.31.2.77>

LAURA KORYCKO¹, WIKTORIA ANDRZEJEWSKA¹, MARTA ROGOCKA², ELŻBIETA KUBALA², *RYTA ŁAGOCKA²

Laserowa dopplerowska metoda oceny przepływu krwi (LDF) w diagnostyce żywotności miazgi zębowej[#]

Laser Doppler flowmetry (LDF) in the diagnosis of dental pulp vitality

¹Student Research Group of the Department of Conservative Dentistry and Endodontics, Pomeranian Medical University in Szczecin
Club Supervisor: Professor PUM, Ryta Łagocka, MD, PhD

Studenckie Koło Naukowe Katedry i Zakładu Stomatologii Zachowawczej i Endodoncji, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie
Kierownik Koła: dr hab. n. med. Ryta Łagocka, prof. PUM

²Department of Conservative Dentistry and Endodontics, Pomeranian Medical University in Szczecin

Head of Department: Professor PUM, Ryta Łagocka, MD, PhD

Katedra i Zakład Stomatologii Zachowawczej i Endodoncji, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie

Kierownik Zakładu: dr hab. n. med. Ryta Łagocka, prof. PUM

SŁOWA KLUCZOWE:

laserowy przepływomierz Dopplera, żywotność miazgi, czułość, swoistość

STRESZCZENIE

Laserowa dopplerowska metoda oceny przepływu krwi (LDF) stanowi jedno z nowocześniejszych, nieinwazyjnych narzędzi diagnostycznych wykorzystywanych w stomatologii do oceny mikrokrażenia w obrębie tkanek jamy ustnej. Metoda ta umożliwia bezbolesny, powtarzalny i ilościowy pomiar przepływu krwi, co czyni ją potencjalnie przydatnym narzędziem w ocenie żywotności miazgi zębowej. Celem niniejszej pracy jest omówienie zasady działania i budowy przepływomierza dopplerowskiego, a także przedstawienie jego zalet i ograniczeń w porównaniu z tradycyjnymi metodami, takimi jak testy bodźcowe.

Na podstawie narracyjnego przeglądu piśmiennictwa dokonano oceny czułości i swoistości LDF w diagnostyce stanu miazgi zębowej oraz zestawiono je z wynikami uzyskiwanymi za pomocą pozostałych metod. LDF wykazuje wyższą czułość i zdolność do wykrywania wczesnych zaburzeń hemodynamicznych w porównaniu z testami opartymi na odpowiedzi nerwowej. Niemniej jednak jej skuteczność może być ograniczana przez czynniki techniczne (np. ruchy pacjenta, artefakty), biologiczne (m.in. rozwój korzeni u dzieci) oraz ekonomiczne (wysoki koszt aparatury i brak standaryzacji).

Zrozumienie zarówno potencjału diagnostycznego, jak i ograniczeń LDF jest kluczowe dla jej bezpiecznego i efektywnego stosowania w praktyce klinicznej. Dalszy rozwój tej technologii jest konieczny, zanim będzie mogła być jednoznacznie rekomendowana jako rutynowe narzędzie diagnostyczne.

[#]Źródło finansowania: subwencja badawczo-rozwojowa WS-262/S/2025.

KEYWORDS:

laser Doppler flowmetry, pulp vitality, sensitivity, specificity

SUMMARY

The laser Doppler flowmetry (LDF) method is a modern, non-invasive diagnostic tool used in dentistry to assess microcirculation within the tissues of the oral cavity. This technique enables painless, repeatable, and quantitative measurement of blood flow, making it a potentially useful method for evaluating dental pulp vitality. This work aims to discuss the operating principle and structure of the Doppler flowmeter, as well as to present its advantages and limitations in comparison with traditional methods, such as stimulus-based tests.

Based on a narrative review of the literature, the sensitivity and specificity of LDF in pulp vitality diagnostics were evaluated and compared with those of other diagnostic techniques. LDF demonstrates higher sensitivity and the ability to detect early hemodynamic disturbances compared to tests based on neural response. However, its effectiveness may be limited by technical factors (e.g., patient movement, artifacts), biological factors (e.g., root development in children), and economic aspects (e.g., high equipment cost and lack of standardization).

Understanding both the diagnostic potential and limitations of LDF is crucial for its safe and effective use in clinical practice. Further development of this technology is necessary before it can be recommended as a routine diagnostic tool.

WSTĘP

W codziennej praktyce lekarza dentysty istotne znaczenie ma prawidłowa ocena stanu miazgi zębowej. Wczesne wykrycie i rozpoznanie jej patologii umożliwia wdrożenie skutecznego i odpowiednio dobranego leczenia (1). Bezpośrednia ocena żywotności miazgi nie jest możliwa, dlatego w praktyce klinicznej stosuje się metody pośrednie, które oceniają funkcję włókien nerwowych. Należą do nich m.in. testy wrażliwości miazgi, takie jak testy termiczne oraz testy elektryczne (2).

Testy termiczne, niskotemperaturowe (ang. *cold pulp test* – CPT) i wysokotemperaturowe (ang. *heat pulp test* – HPT), opierają się na ocenie reakcji włókien nerwowych miazgi – przede wszystkim włókien A-delta – na bodźce termiczne. Włókna A-delta zlokalizowane w obwodowej części miazgi odpowiadają za szybki, ostry ból. Przyłożenie zimna lub ciepła powoduje ich krótkotrwałą depolaryzację. Czas pojawienia się i charakter reakcji bólowej stanowią podstawę do oceny funkcji nerwowej miazgi (2).

Test elektryczny (ang. *electric pulp test* – EPT) polega na ocenie pobudliwości nerwów czuciowych miazgi za pomocą kontrolowanego impulsu elektrycznego, który stymuluje błonę komórkową włókien nerwowych, wywołując potencjał czynnościowy. Reakcja pacjenta na bodziec wskazuje na obecność żywych włókien nerwowych, ale – podobnie jak w przypadku testów termicznych – nie pozwala na ocenę stanu unaczynienia miazgi, czyli jej żywotności (2, 3).

Testy wrażliwości miazgi wiążą się z nieprzyjemnymi doznaniem bólowymi, a ich interpretacja w dużej mierze opiera się na subiektywnej odpowiedzi pacjenta oraz ocenie lekarza. Może to prowadzić do wyników fałszywie dodatnich lub fałszywie ujemnych (3). Dodatkowo ich skuteczność jest ograniczona w przypadkach czasowej dysfunkcji unerwienia, np. w zębach niedojrzałych lub po przebytych urazach (1).

W celu eliminacji tych ograniczeń poszukuje się obiektywnych metod diagnostycznych opartych na ocenie żywotności

INTRODUCTION

In everyday dental practice, proper assessment of the condition of the dental pulp is crucial. Early detection and diagnosis of pulp pathology allows for the implementation of effective and appropriate treatment (1). Direct assessment of pulp vitality is impossible, therefore, in clinical practice, indirect methods are used to assess the function of nerve fibers. These include pulp sensitivity tests, such as thermal and electrical tests (2).

Thermal tests, cold pulp test (CPT) and high-temperature pulp test (HPT), are based on the assessment of the response of pulp nerve fibers – primarily A-delta fibers – to thermal stimuli. A-delta fibers located in the peripheral part of the pulp are responsible for rapid, sharp pain. The application of cold or heat causes their short-term depolarization. The time of onset and nature of the pain response provide the basis for assessing the pulp's neural function (2).

The electric pulp test (EPT) assesses the excitability of the sensory nerves in the pulp using a controlled electrical impulse that stimulates the cell membrane of the nerve fibers, triggering an action potential. The patient's response to the stimulus indicates the presence of living nerve fibers, but – as with thermal tests – it does not allow for the assessment of the vascularity of the pulp, i.e., its vitality (2, 3).

Pulp sensitivity tests are associated with unpleasant pain sensations, and their interpretation is largely based on the patient's subjective response and the clinician's judgment. This can lead to false-positive or false-negative results (3). Furthermore, their effectiveness is limited in cases of temporary innervation dysfunction, such as in immature or traumatized teeth (1).

To address these limitations, objective diagnostic methods based on the assessment of pulp tissue viability rather than solely on nerve fiber reactivity are being sought. Pulse oximetry (PO) and laser Doppler flowmetry (LDF) are used for this purpose (1-4).

tkanki miazgi, a nie jedynie na reaktywności włókien nerwowych. W tym celu wykorzystuje się pulsoksymetrię (ang. *pulse oximetry* – PO) oraz laserowy przepływomierz Dopplera (ang. *laser Doppler flowmetry* – LDF) (1-4).

Pulsoksymetria (PO) to nieinwazyjna metoda pomiaru wysycenia krwi tlenem (SaO_2) w miazdze zębowej. Wykorzystuje dwie długości fali świetlnej emitowane przez diody i odbierane przez fotodetektor. Stopień pochłaniania światła zależy od natlenowania hemoglobiny, co pozwala na określenie saturacji oraz tętna. Mimo wysokiego potencjału diagnostycznego PO rzadko znajduje zastosowanie w stomatologii ze względu na brak specjalistycznych urządzeń oraz ograniczoną dostępność odpowiednich końcówek pomiarowych (5).

Badanie z użyciem LDF jest metodą służącą do pomiaru mikrokrążenia w tkankach. Umożliwia ono w sposób nieinwazyjny i bezbolesny określenie obecności krążenia krwi w obrębie komory miazgi, a więc ocenę jej żywotności, a nie tylko pobudliwości włókien nerwowych na bodźce (1, 2).

CEL PRACY

Celem pracy jest omówienie zasady działania i budowy laserowego przepływomierza Dopplera oraz jego zalet i ograniczeń w porównaniu z tradycyjnymi technikami diagnostycznymi stosowanymi w klinicznej ocenie stanu miazgi zębowej.

MATERIAŁ I METODY

Przeprowadzono narracyjny przegląd piśmiennictwa z wykorzystaniem bazy PubMed, używając słów kluczowych: „Laser Doppler Flowmetry” AND „dentistry”. Uwzględniono publikacje z lat 2015-2025 w języku angielskim dotyczące badań *in vivo*. Do analizy włączono: badania kliniczne, metaanalizy, randomizowane badania kontrolowane i przeglądy. Wykluczono doniesienia kazuistyczne oraz publikacje niezwiązane bezpośrednio z zastosowaniem laserowej przepływometrii dopplerowskiej w stomatologii. Uzyskano 34 rekordy. Po analizie tytułów i streszczeń do dalszej oceny zakwalifikowano 11 artykułów spełniających kryteria włączenia i odpowiadających celowi pracy. Dodatkowo włączono 7 publikacji zidentyfikowanych poprzez analizę piśmiennictwa cytowanego w wybranych artykułach.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Zasada działania laserowego przepływomierza Dopplera (LDF)

Działanie LDF opiera się na efekcie Dopplera opisanym w 1842 roku, polegającym na zmianie częstotliwości fali odbieranej przez obserwatora, gdy jej źródło porusza się względem niego (6). W medycynie efekt ten zastosowano po raz pierwszy w latach 50. XX wieku (7). W 1972 roku Bonner i Nossal (8) opisali teoretyczne podstawy LDF jako metody pomiaru przepływu krwi w mikrokrążeniu.

LDF to nieinwazyjna, optyczna metoda diagnostyczna, wykorzystująca monochromatyczne światło o niskiej mocy

Pulse oximetry (PO) is a noninvasive method for measuring blood oxygen saturation (SaO_2) in the dental pulp. It utilizes two wavelengths of light emitted by diodes and received by a photodetector. The degree of light absorption depends on the oxygenation of hemoglobin, which allows for the determination of saturation and heart rate. Despite its high diagnostic potential, PO is rarely used in dentistry due to the lack of specialized equipment and the limited availability of appropriate measuring tips (5).

LDF testing is a method for measuring microcirculation in tissues. It allows for a non-invasive and painless assessment of the presence of blood circulation within the pulp chamber, thus assessing its viability, not just the excitability of nerve fibers to stimuli (1, 2).

AIM

The aim of this paper is to discuss the principle of operation and construction of the laser Doppler flowmeter and its advantages and limitations compared to traditional diagnostic techniques used in the clinical assessment of the dental pulp condition.

MATERIAL AND METHODS

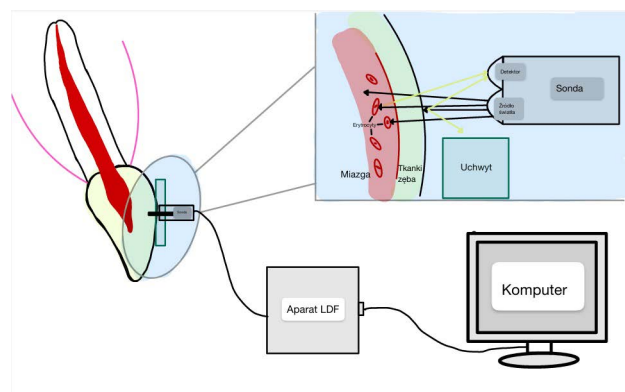
A narrative literature review was conducted using the PubMed database, using the keywords “Laser Doppler Flowmetry” and “dentistry”. Publications published in English from 2015 to 2025 regarding *in vivo* studies were included. The following were included in the analysis: clinical trials, meta-analyses, randomized controlled trials, and reviews. Case reports and publications not directly related to the use of laser Doppler flowmetry in dentistry were excluded. Thirty-four records were obtained. After reviewing titles and abstracts, 11 articles meeting the inclusion criteria and the aim of the study were selected for further evaluation. Additionally, seven publications identified through an analysis of the references cited in the selected articles were included.

DISCUSSION

Principle of operation of a laser Doppler flowmeter (LDF)

The operation of LDF is based on the Doppler effect, described in 1842, which involves a change in the frequency of a wave perceived by an observer when its source moves relative to him (6). This effect was first used in medicine in the 1950s (7). In 1972, Bonner and Nossal (8) described the theoretical basis of LDF as a method for measuring blood flow in the microcirculation.

LDF is a noninvasive, optical diagnostic method using low-power monochromatic light (8, 9). A light beam is emitted into tissues via an optical fiber integrated with the probe tip. Inside the tissue, the light is scattered. Photons reflected from moving erythrocytes change their frequency, whereas photons reflected from static structures, such as the extracellular matrix, do not change their frequency.



Ryc. 1. Schemat pomiaru perfuzji miazgi metodą LDF

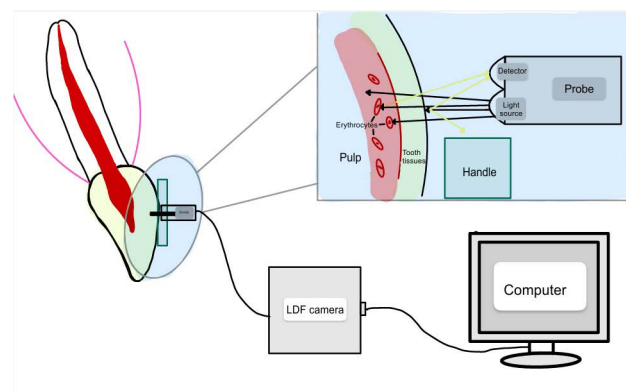


Fig. 1. Schematic diagram of pulp perfusion measurement using the LDF method

(8, 9). Promień światła emitowany jest do tkanek za pomocą włókna optycznego zintegrowanego z końcówką sondy. Wewnątrz tkanki światło ulega rozproszeniu. Fotony odbite od poruszających się erytrocytów zmieniają swoją częstotliwość, natomiast fotony odbite od struktur statycznych, np. macierzy pozakomórkowej, nie ulegają zmianie częstotliwości. Końcówka sondy LDF zawiera dwa światłowody: pierwszy doprowadza światło do tkanek, drugi rejestruje rozproszone światło odbite (ryc. 1). Detektor analizuje proporcję pomiędzy przesuniętym i nieprzesuniętym widmem światła, przekształcając ją w sygnał elektryczny wyrażany w jednostkach perfuzji (ang. *perfusion units* – PU) (10).

The LDF probe tip contains two optical fibers: the first delivers light to the tissue, and the second records the scattered reflected light (fig. 1). The detector analyzes the ratio between the shifted and unshifted light spectrum, converting it into an electrical signal expressed in perfusion units (PU) (10). The resulting signal semi-quantitatively reflects local blood flow – it is the product of the number of moving erythrocytes and their average velocity per unit of time. This is not an absolute or objective value, and the measurement result depends on the probe design, light characteristics, and camera software. Therefore, it is not recommended to compare PU values between devices

Tab. 1. Przykładowe rodzaje urządzeń LDF stosowane w endodoncji

Nazwa	Producent	Typ	Rodzaj sondy	Sposób pomiaru	Długość fali [nm]	Sposób unieruchomienia	Publikacja, rok
PeriFlux PF2	Perimed, Szwecja	Stacjonarny 1 kanał	2,5 mm średnicy z 3 światłowodami	Kontaktowy	630	Zmodyfikowana klamra koferdamu	(6), 1986
Laserflo BPM2	Vasamedic Inc, USA	Stacjonarny 1 kanał	Pojedyncze włókno nadawcze i 2 włókna zbiorcze oddalone o 0,2 mm	Kontaktowy	780	Prefabrykowany uchwyt	(11), 1997
PeriFlux PF2b	Perimed, Szwecja	Stacjonarny 1-2 kanały	Sonda światłowodowa z separacją włókien 0,5 mm	Kontaktowy	633	Szyna elastomerowa	(12), 1999
PeriFlux 5000	Perimed, Szwecja	Stacjonarny 1-4 kanały	Sonda 407-2 Perimed o średnicy 1 mm	Kontaktowy	780	Uchwyt pH 07-6 marki Perimed	(13), 2008
BLF21A	Transonic Systems Inc., USA	Stacjonarny	Specjalnie wykonana sonda stomatologiczna	Kontaktowy	780	Indywidualne szyny silikonowe	(14), 2011
PeriFlux PF 5001	Perimed, Szwecja	Stacjonarny	Sonda 407-2 Perimed	Kontaktowy	623.8	Przezroczysta szyna plastikowa	(15), 2022
MoorLDI 2λ	MicroStar Instruments, Tajwan	Stacjonarny	Laserowa	Bezkontaktowy	830	-	(16), 2023

Tab. 1. Examples of types of LDF devices used in endodontics

Name	Producer	Type	Probe type	Measurement method	Wave-length [nm]	Method of immobilization	Publication, year
PeriFlux PF2	Perimed, Sweden	Stationary 1 channel	2.5 mm diameter with 3 optical fibers	Contact	630	Modified rubber dam clamp	(6), 1986
Laserflo BPM2	Vasamedic Inc, USA	Stationary 1 channel	Single transmitting fiber and 2 collecting fibers spaced 0.2 mm apart	Contact	780	Prefabricated handle	(11), 1997
PeriFlux PF2b	Perimed, Sweden	Stationary 1-2 channels	Fiber optic probe with 0.5 mm fiber separation	Contact	633	Elastomeric rail	(12), 1999
PeriFlux 5000	Perimed, Sweden	Stationary 1-4 channels	407-2 Perimed probe, 1 mm diameter	Contact	780	Perimed pH 07-6 holder	(13), 2008
BLF21A	Transonic Systems Inc., USA	Stationary	Specially made dental probe	Contact	780	Custom silicone splints	(14), 2011
PeriFlux PF 5001	Perimed, Sweden	Stationary	Probe 407-2 Perimed	Contact	623.8	Transparent plastic splint	(15), 2022
MoorLDI 2λ	MicroStar Instruments, Taiwan	Stationary	Laser	Contactless	830	-	(16), 2023

Otrzymany sygnał odzwierciedla ilościowo lokalny przepływ krwi – jest to iloczyn liczby poruszających się erytrocytów i ich średniej prędkości w jednostce czasu. Nie jest to wartość bezwzględna i obiektywna, a wynik pomiaru zależy od konstrukcji sondy, charakterystyki światła i oprogramowania aparatu. W związku z tym nie zaleca się porównywania wartości PU pomiędzy urządzeniami różnych producentów, nawet przy zastosowaniu tej samej techniki pomiarowej (9, 10).

Budowa i typy urządzeń LDF stosowane w stomatologii

Pierwsze udokumentowane zastosowanie laserowego przepływomierza dopplerowskiego w stomatologii miało miejsce w 1986 roku, kiedy Gazelius i wsp. (6) wykorzystali urządzenie PeriFlux PF2 do rejestracji przepływu krwi przez miazgę zęba. Od tego czasu do badań przepływów krwi stosowano różne urządzenia. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe rodzaje i charakterystykę aparatów LDF stosowanych w endodoncji.

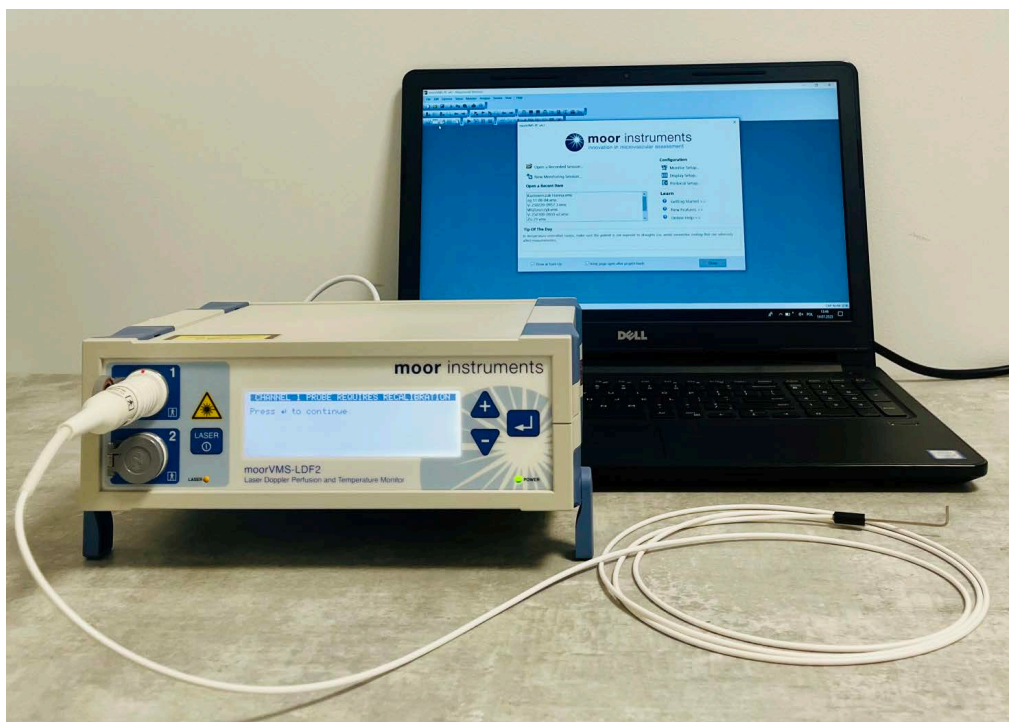
Urządzenie wykorzystywane w LDF składa się z kilku elementów: źródła światła, głowicy pomiarowej, fotodetektora, układu przetwarzania sygnału oraz dedykowanego oprogramowania komputerowego (10) (ryc. 2). W większości współczesnych aparatów stosowany jest laser półprzewodnikowy emitujący światło w zakresie czerwonym lub bliskiej podczerwieni (długość fali 780-830 nm) (tab. 1). Światło o dłuższej fali nie znajduje zastosowania w diagnostyce stomatologicznej ze względu na większą podatność na występowanie fałszywie dodatnich wyników (2). Fotodetektor

from different manufacturers, even when using the same measurement technique (9, 10).

Construction and types of LDF devices used in dentistry

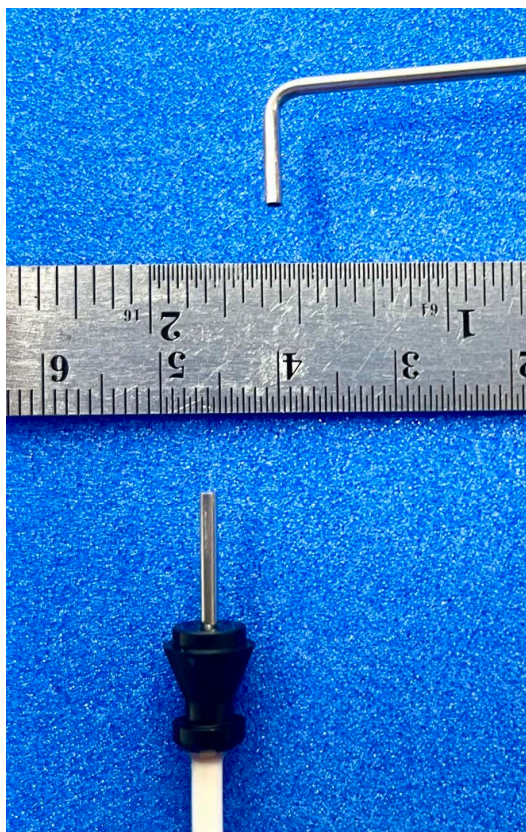
The first documented use of a laser Doppler flowmeter in dentistry occurred in 1986, when Gazelius et al. (6) used the PeriFlux PF2 device to record blood flow through the dental pulp. Since then, various devices have been used to study blood flow. Table 1 presents examples of the types and characteristics of LDF devices used in endodontics.

The device used in LDF consists of several components: a light source, a measuring head, a photodetector, a signal processing system, and dedicated computer software (10) (fig. 2). Most modern devices use a semiconductor laser emitting light in the red or near-infrared range (wavelength 780-830 nm) (tab. 1). Light with a longer wavelength is not used in dental diagnostics due to its greater susceptibility to false positive results (2). A semiconductor diode photodetector records the scattered light and transmits the signal to the processing system. The key element connecting the device to the examined object is the measuring head. Inside, there are two optical fibers, the geometry of which (beam diameter, channel separation) varies depending on the device model and application. Various types of heads are available on the market, adapted to the specific examination – skin, needle, endoscopic, and intraoperative probes. In dentistry, needle-shaped heads are most often used, which, due to their design, enable examination of a small surface, e.g. the crown of a tooth (tab. 1, fig. 3).



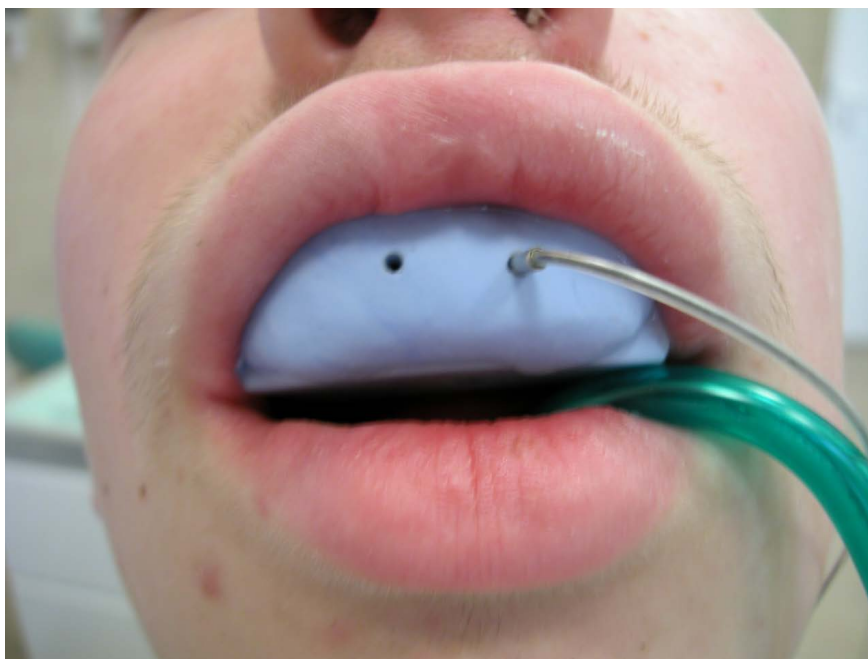
Ryc. 2. Dwukanałowy laserowy przepływomierz Dopplera moorVMS-LDF2 (moor instruments)

Fig. 2. Two-channel laser Doppler flowmeter moorVMS-LDF2 (moor instruments)



Ryc. 3. Przykładowe głowice pomiarowe – prosta i zakrzywiona, stosowane do pomiaru perfuzji miazgi

Fig. 3. Examples of measuring heads – straight and curved, used to measure pulp perfusion



Ryc. 4. Szyna wykonana z poliwinylsiloksanu *in situ*, z wyciętymi otworami dla precyzyjnego i powtarzalnego umieszczenia sondy pomiarowej

Fig. 4. A rail made of polyvinylsiloxane *in situ*, with cut holes for precise and repeatable placement of the measuring probe

w postaci diody półprzewodnikowej rejestruje rozproszone światło i przekazuje sygnał do systemu przetwarzania. Kluczowym elementem łączącym urządzenie z badanym obiektem jest głowica pomiarowa. W jej wnętrzu znajdują się dwa światłowody, których geometria (średnica wiązki, separacja kanałów) różni się w zależności od modelu urządzenia i zastosowania. Na rynku dostępne są różne typy głowic dostosowane do specyfiki badania – głowice skórne, igłowe, endoskopowe, głowice do badań śródoperacyjnych. W stomatologii najczęściej wykorzystuje się głowice w kształcie igły, które ze względu na swoją konstrukcję umożliwiają badanie na niewielkiej powierzchni, np. koronie zęba (tab. 1, ryc. 3).

Prawidłowe przeprowadzenie pomiaru LDF wymaga nie tylko doboru odpowiedniego rodzaju głowicy, ale również jej stabilizacji w trakcie badania. Nawet minimalne przemieszczenia mogą generować artefakty i zakłócenia w rejestrowanym sygnale. W celu zapewnienia powtarzalności pomiaru i eliminacji błędów ruchowych stosuje się indywidualnie dopasowane uchwyty, takie jak: szyny, stenty lub zaciski (tab. 1, ryc. 4). Ich użycie jest szczególnie istotne w badaniach kontrolnych do oceny przepływu miazgowego w zębach po urazach czy po zabiegach rewaskularyzacji, kiedy istotna jest powtarzalność warunków pomiarowych (17, 18).

W tabeli 2 przedstawiono porównanie czułości i swoistości badania za pomocą LDF względem innych metod diagnostycznych. Chociaż tradycyjne testy bodźcowe są szeroko stosowane ze względu na prostotę i dostępność, ich skuteczność jest ograniczona, zwłaszcza w zębach po urazach

Correct LDF measurement requires not only the selection of the appropriate transducer type but also its stabilization during the examination. Even minimal displacements can generate artifacts and interference in the recorded signal. To ensure measurement repeatability and eliminate movement errors, individually adjusted holders, such as splints, stents, or clamps, are used (tab. 1, fig. 4). Their use is particularly important in follow-up examinations to assess pulpal flow in teeth after trauma or revascularization procedures, where repeatability of measurement conditions is essential (17, 18).

Table 2 compares the sensitivity and specificity of LDF testing with other diagnostic methods. Although traditional stimulus tests are widely used due to their simplicity and availability, their effectiveness is limited, especially in traumatized teeth (17, 18). Studies show that in such cases, stimulus tests can yield false negative results in 25-57% of cases, which is due to transient nerve conduction disturbances with preserved pulp perfusion (4, 14, 19-24). Clinical studies indicate the superiority of LDF and pulse oximetry over other tests in terms of sensitivity and specificity of these methods (tab. 2). However, a meta-analysis by Mainkar and Kim (4) showed that although LDF and pulse oximetry ranked highest in terms of diagnostic accuracy in studies involving various patient populations (including adults) and various tooth types (sensitivity and specificity close to 100%), most of the evaluated studies were characterized by limited quality and risk of errors. Similarly, a systematic review by Ghouse et al. (22) indicated that the LDF method

Tab. 2. Porównanie czułości i swoistości poszczególnych metod badania wrażliwości i żywotności miazgi

Publikacja, rok		Rodzaj testu				
		CPT	HPT	EPT	PO	LDF
(12), 1999	Czułość	-	-	-	-	1.00
	Swoistość	-	-	-	-	1.00
(19), 2007	Czułość	0.81	-	0.71	1.00	-
	Swoistość	0.92	-	0.92	0.95	-
(14), 2011	Czułość	-	-	0.92	0.81	1.00
	Swoistość	-	-	-	-	1.00
(20), 2012	Czułość	0.67	0.56	0.22	0.90	-
	Swoistość	0.53	0.60	0.60	1.00	-
(21), 2015	Czułość	-	-	0.85	0.97	-
	Swoistość	-	-	0.44	1.00	-
(4), 2018	Czułość	0.87	0.78	0.72	0.97	0.98
	Swoistość	0.84	0.67	0.93	0.95	0.95
(22), 2018	Czułość	-	-	0.633-0.915	0.813	0.818-1.00
	Swoistość	-	-	0.88-1.00	0.949	1.00
(23), 2019	Czułość	0.811-0.919	-	0.838-0.946	-	0.53
	Swoistość	0.73-0.811	-	0.892-0.976	-	0.33
(24), 2020	Czułość	0.79	0.54	0.77	0.97	-
	Swoistość	0.82	0.80	0.68	1.00	-

(-) – brak danych

CPT – test niskotemperaturowy; EPT – test elektryczny; HPT – test wysokotemperaturowy; LDF – laserowy przepływomierz Dopplera; PO – pulsoksymetria

Tab. 2. Comparison of the sensitivity and specificity of individual methods for testing pulp sensitivity and vitality

Publication, year		Test type				
		CPT	HPT	EPT	AFTER	LDF
(12), 1999	Sensitivity	-	-	-	-	1.00
	Specificity	-	-	-	-	1.00
(19), 2007	Sensitivity	0.81	-	0.71	1.00	-
	Specificity	0.92	-	0.92	0.95	-
(14), 2011	Sensitivity	-	-	0.92	0.81	1.00
	Specificity	-	-	-	-	1.00
(20), 2012	Sensitivity	0.67	0.56	0.22	0.90	-
	Specificity	0.53	0.60	0.60	1.00	-
(21), 2015	Sensitivity	-	-	0.85	0.97	-
	Specificity	-	-	0.44	1.00	-
(4), 2018	Sensitivity	0.87	0.78	0.72	0.97	0.98
	Specificity	0.84	0.67	0.93	0.95	0.95
(22), 2018	Sensitivity	-	-	0.633-0.915	0.813	0.818-1.00
	Specificity	-	-	0.88-1.00	0.949	1.00
(23), 2019	Sensitivity	0.811-0.919	-	0.838-0.946	-	0.53
	Specificity	0.73-0.811	-	0.892-0.976	-	0.33
(24), 2020	Sensitivity	0.79	0.54	0.77	0.97	-
	Specificity	0.82	0.80	0.68	1.00	-

(-) – no data

CPT – low temperature test; EPT – electrical test; HPT – high temperature test; LDF – laser Doppler flowmeter; PO – pulse oximetry

Tab. 3. Zestawienie głównych zalet oraz ograniczeń metody LDF w badaniu żywotności miazgi zęba

Zalety LDF	Wady LDF
Charakter badania	Ograniczenia pomiarowe
– nieinwazyjne – bezbolesne – powtarzalne	– brak pomiaru w jednostkach bezwzględnych -> brak obiektywnego wyniku (brak faktycznego pomiaru przepływu w jednostce 1 g krwi/100 g tkanki/1 min) – badanie ma charakter porównawczy -> konieczność wyboru zęba kontrolnego lub ocena wpływu bodźca – ograniczona penetracja wiązki przez zmineralizowane tkanki – brak penetracji wiązki w zębach z odbudowanymi koronami lub z żywą tkanką tylko w części wierzchołkowej – ryzyko wpływu na odczyt artefaktów z sąsiednich struktur, np. dziąsła -> konieczność dokładnej izolacji zęba badanego i wyboru miejsca pomiaru
Dokładność diagnostyczna	Czynniki zewnętrzne i biologiczne
– wysoka czułość – wysoka swoistość – wynik niezależny od subiektywnych odczuć pacjenta – wczesne wykrywanie zmian w mikrokroążeniu – niezależne od stanu układu nerwowego	– na pomiar wpływa: temperatura pomieszczenia, hałas i ruch w otoczeniu – na pomiar wpływa stan pacjenta: – pozycja (leżący/siedzący/stojący) – stan psychofizyczny (konieczność odpoczynku przez badaniem), temperatura ciała, wpływ hormonów (np. miesiączka), pora dnia – używki (kawa, herbata, alkohol, palenie przed badaniem) – szczotkowanie zębów, znieczulenie przez badaniem
Przetwarzanie danych	Czynniki techniczne i operatora
– ciągły zapis danych w czasie rzeczywistym – możliwość powtarzania pomiarów – możliwość odtwarzania wyników i ich późniejszej analizy	– konieczność przeszkolenia operatora – konieczność kalibracji urządzenia – konieczność użycia stabilizatorów sondy -> na pomiar mogą mieć wpływ: ruch sondy, siła nacisku i kąt ustawienia sondy
	Aspekty ekonomiczne
	– wysoki koszt urządzenia – czasochłonność pomiaru

Tab. 3. Summary of the main advantages and limitations of the LDF method in the examination of tooth pulp vitality

Advantages of LDF	Disadvantages of LDF
Nature of the study	Measurement limitations
– non-invasive – painful – repeatable	– no measurement in absolute units -> no objective result (no actual flow measurement in the unit of 1 g of blood/100 g of tissue/1 min) – examination is comparative in nature -> the need to select a control tooth or assess the impact of the stimulus – limited beam penetration through mineralized tissues – no beam penetration in teeth with restored crowns or with living tissue only in the apical part – risk of artifacts from adjacent structures influencing the reading, e.g. gums -> need for precise isolation of the examined tooth and selection of the measurement site
Diagnostic accuracy	External and biological factors
– high sensitivity – high specificity – the result is independent of the patient's subjective feelings – early detection of changes in microcirculation – independent of the state of the nervous system	– the measurement is influenced by: room temperature, noise and movement in the environment – the measurement is influenced by the patient's condition: – position (lying/sitting/standing) – psychophysical condition (need to rest before the examination), body temperature, influence of hormones (e.g. menstruation), time of day – stimulants (coffee, tea, alcohol, smoking before the examination) – tooth brushing, anesthesia before the examination
Data processing	Technical and operator factors
– continuous data recording in real time – the possibility of repeating measurements – the ability to reproduce results and analyze them later	– the need for operator training – the need to calibrate the device – the need to use probe stabilizers -> the measurement may be influenced by: probe movement, pressure force and probe angle
	Economic aspects
	– high cost of the device – time-consuming measurement

(17, 18). Badania pokazują, że w takich przypadkach testy bodźcowe mogą dawać fałszywie ujemne wyniki w 25-57% przypadków, co wynika z przejściowych zaburzeń przewodnictwa nerwowego przy zachowanej perfuzji miazgi (4, 14, 19-24). Badania kliniczne wskazują na przewagę LDF i PO nad pozostałymi badaniami w aspekcie czułości i swoistości tych metod (tab. 2). Jednakże metaanaliza Mainkar i Kim (4) pokazała, że pomimo iż LDF i pulsoksymetria plasują się najwyżej pod względem dokładności diagnostycznej w badaniach obejmujących różne populacje pacjentów (w tym dorosłych) i różne typy zębów (czułość i swoistość bliskie 100%), to większość ocenianych badań charakteryzuje się ograniczoną jakością i ryzykiem wystąpienia błędów. Podobnie przegląd systematyczny Ghouth i wsp. (22) wskazał, że metoda LDF w badaniach klinicznych wykazuje wysoką czułość (81,8-100%) i specyficzność (~100%), ale także podkreślił wysokie ryzyko błędów i słabą jakość metodologiczną badań. Dodatkowo kliniczne badanie Ghouth i wsp. (23) weryfikowało użyteczność metody LDF u dzieci w wieku 8-16 lat w ocenie stanu miazgi stałych siekaczy szczęki. Badanie ujawniło, że w badanej grupie metoda LDF nie spełniła oczekiwań i wykazała niską specyficzność (~33%) i niedostateczną czułość (~53%). Wyniki tego badania wykazały wysokie prawdopodobieństwo uzyskania fałszywych wyników. Obecnie metoda nie jest polecana do oceny żywotności zębów u dzieci jako jedyna metoda diagnostyczna (9, 23).

PODSUMOWANIE

Metoda LDF stanowi jedno z nowoczesnych narzędzi diagnostycznych w stomatologii, umożliwiając nieinwazyjną, bezbolesną, powtarzalną i ilościową ocenę mikrokrążenia w miazdze. W wielu przypadkach przewyższa tradycyjne metody diagnostyczne pod względem czułości oraz zdolności do wczesnego wykrywania zaburzeń hemodynamicznych.

Pomimo licznych zalet stosowanie LDF wiąże się również z istotnymi ograniczeniami wynikającymi zarówno z czynników technicznych i biologicznych, jak i ekonomicznych. Tabela 3 zawiera syntetyczne zestawienie głównych korzyści oraz wad tej metody w kontekście jej zastosowania do oceny stanu miazgi zębowej. Zrozumienie potencjału i ograniczeń LDF jest kluczowe dla właściwej interpretacji wyników i bezpiecznego stosowania jej w praktyce. Dalszy rozwój technologii, zwłaszcza standaryzacja i poprawa dokładności, jest niezbędny, by metoda mogła zostać jednoznacznie zarekomendowana do oceny żywotności miazgi.

KONFLIKT INTERESÓW CONFLICT OF INTEREST

Brak konfliktu interesów
None

PIŚMIENNICTWO/REFERENCES

1. Alghathiy RA, Qualtrough AJE: Pulp sensibility and vitality tests for diagnosing pulpal health in permanent teeth: a critical review. *Int Endod J* 2017; 50(2): 135-142.
2. Patro S, Meto A, Mohanty A et al.: Diagnostic accuracy of pulp vitality tests and pulp sensibility tests for assessing pulpal health in permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2022; 19(15): 95-99.
3. Arun A, Mythri H, Chachapan D: Pulp vitality tests – an overview on comparison of sensitivity and vitality. *Indian J Oral Sci* 2015; 6: 41-46.
4. Mainkar A, Kim SG: Diagnostic accuracy of 5 dental pulp tests: a systematic review and meta-analysis. *J Endod* 2018; 44(5): 694-702.

in clinical trials demonstrates high sensitivity (81.8-100%) and specificity (~100%), but also highlighted the high risk of errors and poor methodological quality of the studies. Additionally, a clinical study by Ghouth et al. (23) verified the usefulness of the LDF method in children aged 8-16 years in assessing the pulp status of permanent maxillary incisors. The study revealed that in the study group, the LDF method did not meet expectations and demonstrated low specificity (~33%) and insufficient sensitivity (~53%). The results of this study showed a high probability of obtaining false results. Currently, this method is not recommended as the sole diagnostic method for assessing tooth vitality in children (9, 23).

CONCLUSIONS

The LDF method is a modern diagnostic tool in dentistry, enabling non-invasive, painless, reproducible, and quantitative assessment of pulp microcirculation. In many cases, it surpasses traditional diagnostic methods in terms of sensitivity and ability to detect hemodynamic disturbances early.

Despite its numerous advantages, the use of LDF also presents significant limitations stemming from technical, biological, and economic factors. Table 3 summarizes the main benefits and drawbacks of this method in the context of its use in assessing dental pulp health. Understanding the potential and limitations of LDF is crucial for proper interpretation of results and safe use in practice. Further technological development, particularly standardization and improved accuracy, is essential for this method to be clearly recommended for assessing pulp vitality.

ADRES KORESPONDENCYJNY
CORRESPONDENCE

*Ryta Łagocka
Katedra i Zakład Stomatologii Zachowaw-
czej i Endodoncji
Pomorski Uniwersytet Medyczny
w Szczecinie
Al. Powstańców Wlkp. 72 budynek 18
70-111 Szczecin
tel.: +48 (91) 466-16-48
ryta.lagocka@pum.edu.pl

5. Kasper RH, Coelho MR, Miguens-Jr SAQ et al.: Pulse oximetry as a dental pulp test: A scoping review to identify barriers hindering the use of oximeters in clinical practice. *Int Dent J* 2024; 36(2): 262-269.
6. Gazelius B, Olgart L, Edwall B, Edwall L: Non-invasive recording of blood flow in human dental pulp. *Endod Dent Traumatol* 1990; 6(2): 85-91.
7. Coman IM, Popescu BA: Shigeo Satomura: 60 years of Doppler ultrasound in medicine. *Cardiovasc Ultrasound* 2015; 13: 48-50.
8. Bonner R, Nossal R: Model for laser Doppler measurements of blood flow in tissue. *Appl Opt* 1981; 20(12): 2097-2107.
9. Yang K, Guo F, Zhou Z et al.: Laser Doppler flowmetry to detect pulp vitality, clinical reference range and coincidence rate for pulpal blood flow in permanent maxillary incisors in Chinese children: a clinical study. *BMC Oral Health* 2023; 23: 283-293.
10. Pałka Ł, Sobaniec H, Sokół M et al.: Research methodology – description of action and the application of Laser Doppler flowmeter to dentistry. *J Stomatol* 2019; 72(1): 64-70.
11. Mesaros S, Trope M, Maixner W, Burkes EJ: Comparison of two laser Doppler systems on the measurement of blood flow of premolar teeth under different pulpal conditions. *Int Endod J* 1997; 30(3): 167-174.
12. Evans D, Reid J, Strang R, Stirrups D: A comparison of laser Doppler flowmetry with other methods of assessing the vitality of traumatised anterior teeth. *Endod Dent Traumatol* 1999; 15(6): 284-290.
13. Roy E, Alliot-Licht B, Dajeau-Trudeau DS et al.: Evaluation of the ability of laser Doppler flowmetry for the assessment of pulp vitality in general dental practice. *Oral Surg Oral Med oral Pathol oral Radiol Endod* 2008; 106(4): 615-620.
14. Karayilmaz H, Kirzioğlu Z: Comparison of the reliability of laser Doppler flowmetry, pulse oximetry and electric pulp tester in assessing the pulp vitality of human teeth. *J Oral Rehabil* 2011; 38(5): 340-347.
15. Antic S, Markovic-Vasiljkovic B, Dzeletovic B et al.: Assessment of radiotherapy effects on the blood flow in gingiva and dental pulp – a laser Doppler flowmetry study. *J App Oral Sci* 2022; 2(30): e20220329.
16. Lee HN, Chen P-H, Huang C-Y et al.: Efficacy assessment of laser Doppler imager in diagnosing the pulp vitality after dental trauma. *J Dent Sciences* 2023; 18(2): 618-625.
17. Lima TFR, Dos Santos SL, da Silva Fidalgo TK, Silva EJNL: Vitality Tests for Pulp Diagnosis of Traumatized Teeth: A Systematic Review. *J Endod* 2019; 45(5): 490-499.
18. Ersahan S, Sabuncuoglu FA, Oktay EA: The Efficacy of Laser Doppler Flowmetry, Electric Pulp Test and Cold Test in Diagnosing Revascularization of Extrusively Luxated Immature Maxillary Incisors. *Pak J Med Sci* 2018; 34(4): 787-793.
19. Gopikrishna V, Tinagupta K, Kandaswamy D: Evaluation of efficacy of a new custom-made pulse oximeter dental probe in comparison with the electrical and thermal tests for assessing pulp vitality in mature and immature permanent teeth. *J Endod* 2007; 33(11): 1383-1386.
20. Dastmalchi N, Jafarzadeh H, Moradi S: Comparison of the Efficacy of a Custom-made Pulse Oximeter Probe with Digital Electric Pulp Tester, Cold Spray, and Rubber Cup for Assessing Pulp Vitality. *JOE* 2012; 38(9): 1182-1186.
21. Shahi P, Sood PB, Sharma A et al.: Comparative Study of Pulp Vitality in Primary and Young Permanent Molars in Human Children with Pulse Oximeter and Electric Pulp Tester. *Int J Clin Pediatr Dent* 2015; 8(2): 94-98.
22. Ghouth N, Duggal MS, BaniHani A, Nazzal H: The diagnostic accuracy of laser Doppler flowmetry in assessing pulp blood flow in permanent teeth: A systematic review. *Dent Traumatol* 2018; 34(5): 311-319.
23. Ghouth N, Duggal MS, Kang J, Nazzal H: A Diagnostic Accuracy Study of Laser Doppler Flowmetry for the Assessment of Pulpal Status in Children's Permanent Incisor Teeth. *J Endod* 2019; 45(5): 543-548.
24. Janani K, Ajitha P, Sandhya R et al.: Efficiency of new custom-made pulse oximeter sensor holder in assessment of actual pulp status. *J Family Med Prim Care* 2020; 9(7): 3333-3337.

nadesłano/submitted:
7.05.2026

zaakceptowano do druku/accepted:
28.05.2026