

# Praćenje prokrvljenosti oralnih struktura

---

**Strugačevac, Marija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, School of Dental Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:127:026282>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-23**



*Repository / Repozitorij:*

[University of Zagreb School of Dental Medicine Repository](#)





Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Marija Strugačevac

# **PRAĆENJE PROKRVLJENOSTI ORALNIH STRUKTURA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

Rad je ostvaren u: Zavod za oralnu kirurgiju, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Mentor rada: Izv. prof. dr. sc. Davor Brajdić, Zavod za oralnu kirurgiju, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: Dea Kovačević, mag. educ. philol. angl. et mag. educ. philol. croat.

Lektor engleskog jezika: Dea Kovačević, mag. educ. philol. angl. et mag. educ. philol. croat.

Sastav povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Datum obrane rada: \_\_\_\_\_

Rad sadrži: 37 stranica

1 CD

Rad je vlastito autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu. Osim ako nije drukčije navedeno, sve ilustracije (tablice, slike i dr.) u radu su izvorni doprinos autora diplomskog rada. Autor je odgovoran za pribavljanje dopuštenja za korištenje ilustracija koje nisu njegov izvorni doprinos, kao i za sve eventualne posljedice koje mogu nastati zbog nedopuštenog preuzimanja ilustracija odnosno propusta u navođenju njihovog podrijetla.

## **Zahvala**

*Veliko hvala mentoru izv. prof. dr. sc. Davoru Brajdiću na susretljivosti, pristupačnosti, iskrenim savjetima, idejama i velikoj pomoći što je uvelike uljepšalo i olakšalo pisanje ovog rada.*

*Hvala mojim kolegama i prijateljima na svim dugim kavama, pomoći i podršci, porukama ohrabrenja i na puno smijeha čime su mi uljepšali ove studentske dane koji će mi uvijek ostati zapamćeni kao jedan dragi dio života.*

*Hvala profesorima i doktorima mentorima na strpljenju, razumijevanju i nesebičnom dijeljenju znanja i savjeta.*

*Hvala Ani na svemu. Vjerovala si u mene i pogurala me dalje nego što sam mislila da mogu.*

*Hvala Ivanu na ljubavi i podršci na cijelom ovom putu. Bio si moja hrabrost i onda kad je sva moja nestala.*

*Najviše hvala mami i tati. Ovo je za vas.*

## **PRAĆENJE PROKRVLJENOSTI ORALNIH STRUKTURA**

### **Sažetak**

Maksila i mandibula bogato su opskrbljene krvnim žilama i živcima. Kod postojanja određene patologije zuba, uz detaljno uzetu anamnezu, obavljen klinički pregled i analiziranu rendgensku snimku za što precizniju dijagnozu i bolji plan liječenja koristimo se dodatnim dijagnostičkim testovima. Testovi senzibiliteta često se krivo zamjenjuju s testovima vitaliteta. Testovi senzibiliteta ispituju inervaciju zubne pulpe, a testovi vitaliteta ispituju njegovu vaskularizaciju. Negativan rezultat na test senzibiliteta znači da je zub denerviran, a to ne znači nužno da je zub i avitalan. Vitalitet ovisi o vaskularizaciji zuba koja može biti očuvana iako je zub denerviran te ga ispituju testovima vitaliteta. U ovom radu pobliže je opisana metoda mjerenja vitaliteta laser Doppler flowmetrom (LDF). LDF se koristi za ispitivanje vitaliteta kože, oralne sluznice, gingive, alveolarne kosti, nepčane sluznice i pulpe zuba. Razlikom frekvencija odlaznih i reflektiranih zraka možemo mnogo saznati o vitalitetu mjerenog područja što nam uvelike pomaže u razumijevanju patologije s kojom se susrećemo. Unatoč brojnim istraživanjima i obećavajućim mogućnostima, nije pronašao širu kliničku primjenu zbog svoje visoke cijene, potrebne dodatne edukacije, ometanja signala okolnim tkivom, potrebe za što boljom izolacijom ispitivanog područja i što manjom pomičnošću pacijenta i uređaja, učestalog kalibriranja te opširnih restauracija koje onemogućavaju mjerenje.

**Ključne riječi:** senzibilitet, vitalitet, laser Doppler flowmeter, LDF

## **BLOOD MONITORING OF ORAL STRUCTURES**

### **Summary**

The maxilla and the mandible are richly supplied with blood vessels and nerves. In the presence of a certain dental pathology, with a detailed anamnesis, performed clinical examination and analyzed X-ray for the most accurate diagnosis and better treatment plan, we use additional diagnostic tests. Sensitivity tests are often misunderstood with vitality tests. Sensitivity tests examine the innervation of the dental pulp, and sensitivity tests examine its vascularization. A negative result on the sensitivity test means that the tooth is denervated, which does not necessarily mean that the tooth is avital. Vitality depends on its vascularization, which can be preserved even if the tooth is denervated, and it is examined by vitality tests. In this paper, the method of measuring the vitality of a laser Doppler flowmeter (LDF) is described in more detail. LDF is used to examine the vitality of the skin, oral mucosa, gingiva, alveolar bone, palatine mucosa and tooth pulp. By the difference between the frequencies of the outgoing and reflected rays, we can learn a lot about the vitality of the measured area, which greatly helps us to understand the pathology we encounter. Despite numerous researches and promising possibilities, it did not find wider clinical application due to its high cost, necessary additional education, signal interference with the surrounding tissue, need for better isolation of the examined area and less patient and device mobility, frequent calibration and extensive restorations that make measurement impossible.

**Key words:** sensitivity, vitality, laser Doppler flowmeter, LDF

## SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD .....   | 1  |
| 2. ANATOMIJA.....   | 3  |
| 2.1. Maksila i mandibula .....  | 4  |
| 2.2. Vaskularizacija gornje i donje čeljusti .....                    | 5  |
| 2.3. Inervacija gornje i donje čeljusti .....                         | 7  |
| 3. SENZIBILITET I VITALITET .....                                     | 9  |
| 3.1. Testovi senzibiliteta.....                                       | 10 |
| 3.1.1. Termalni testovi.....  | 11 |
| 3.1.2. Električni test.....   | 12 |
| 3.1.3. Test preparacije kaviteta.....                                 | 12 |
| 3.1.4. Test lokalnom anestezijom.....                                 | 12 |
| 3.2. Ograničenja testova senzibiliteta.....                           | 13 |
| 3.3. Testovi vitaliteta.....  | 15 |
| 3.3.1. Termografija.....  | 15 |
| 3.3.2. Spektrofotometrija.....  | 15 |
| 3.3.3. Pulsni oksimetar .....   | 15 |
| 3.3.4. Laser Doppler flowmeter (LDF) .....                            | 16 |
| 3.4. Metode ispitivanja osjeta mekih tkiva.....                       | 16 |
| 4. LASER DOPPLER FLOWMETER.....                                       | 17 |
| 4.1. Način rada LDF-a.....  | 18 |
| 4.2. Primjena LDF-a kao metode ispitivanja vitaliteta zuba .....      | 19 |
| 4.3. Primjena LDF-a u drugim tkivima .....                            | 21 |
| 4.3.1. Primjena LDF-a za mjerenje protoka krvi gingive.....           | 21 |
| 4.3.2. Primjena LDF-a za mjerenje protoka krvi alveolarne kosti ..... | 22 |
| 4.3.3. Primjena LDF-a za mjerenje protoka krvi nepčane sluznice ..... | 23 |

|  |    |
|--|----|
| 4.4. Čimbenici koji utječu na rezultate..... | 23 |
| 4.5. Ograničenja LDF-a.....                  | 25 |
| 4.6. Ultrasonični flowmeter.....             | 26 |
| 5. RASPRAVA.....                             | 28 |
| 6. ZAKLJUČAK .....                           | 31 |
| 7. LITERATURA.....                           | 33 |
| 8. ŽIVOTOPIS .....                           | 36 |



## Popis skraćenica

a. – (lat. *arteria*) – arterija

aa. – (lat. *arteriae*) – arterije

cm – centimetar

kHz – kiloherc

LDF – (engl. *laser Doppler flowmeter*) – laser Doppler flowmetar

m. – (lat. *musculus*) – mišić

MHz – megaherc mm – milimetar

n. – (lat. *nervus*) – živac

nm – nanometar

nn. – (lat. *nervi*) – živci

PU – (engl. *perfusion unit*) – perfuzijska jedinica

r. – (lat. *ramus*) – grana

rr. – (lat. *rami*) – grane

UFM – (engl. *ultrasonic flowmeter*) – ultrasonični flowmetar

v. – (lat. *vena*) – vena

vv. – (lat. *venae*) – vene

$\beta$  – grčko slovo beta

$\delta$  – grčko slovo delta

% - postotak

## **1. UVOD**

Procjena vitaliteta zubne pulpe važna je kao pomoć za donošenje pravilne dijagnoze i postavljanja dobrog plana terapije uz bogato uzetu anamnezu, obavljen klinički pregled i analizu rendgenograma (1).

„Vitalitet“ zuba se dugo, pogrešno, ispitivao testovima koji ispituju osjetljivost živca kao što su termalni testovi, električni test, test preparacije kaviteta i test lokalnom anestezijom. Termalni testovi mogu biti topli i hladni. Hladni testovi stimuliraju pulpu niskim temperaturama koristeći se komadom leda, etilnim kloridom, smrznutim ugljikovim dioksidom i ledeno hladnom vodom. Topli testovi stimuliraju pulpu visokim temperaturama i izvode se zagrijanom gutaperkom, zagrijanim instrumentom, vrućom vodom i trenjem na površinu zuba rotirajućim instrumentom. Svi oni kod pozitivnih rezultata stimuliraju živac uzrokujući bolni osjet. Kod negativnih rezultata nema povratnog osjeta, zub je denerviran i krivo smatran avitalnim. Vitalitet je funkcija vaskularizacije pulpe, a sve gore navedene metode testovi su senzibiliteta koji ispituju inervaciju pulpe (2, 3).

Pravi testovi vitaliteta ispituju funkciju vaskularizacije pulpe. U njih ubrajmo termografiju koja mjeri razliku eksterne i interne temperature zuba, spektrofotometriju, pulsni oksimetar koji mjeri zasićenost krvi kisikom i laser Doppler flowmeter (2).

Laser Doppler flowmeter (LDF) neinvazivan je, objektivan, bezbolan i jednostavan instrument koji se koristi za procjenu protoka mikrocirkulacije u ljudskim tkivima (4). Svrha ovog rada pobliže je opisati sve prednosti, nedostatke i mogućnosti koje nudi LDF test vitaliteta kod praćenja prokrvljenosti oralnih struktura.

## **2. ANATOMIJA**

Glava i vrat čovjeka bogato su opskrbljene krvnim žilama i živcima koje su zadužene za kosti neurokranija i viscerokranija kroz koje prolaze i na kojima djeluju. Kostii neurokranija okružuju i štite mozak, a kosti viscerokranija predstavljaju kosti lica. Poblizje će biti prikazane maksila i jedina pomična kost glave, mandibula.

## **2.1. Maksila i mandibula**

Maksila je parna kost viscerokranija. Njen je središnji dio trup od kojeg se pružaju čeonii, jagodični, nepčani i zubni nastavak. Čeonii nastavak usmjeren je od trupa prema gore, tvori lateralni dio korijena nosa, prednji dio medijalne stijenke očne šupljine te dio lateralne stijenke nosne šupljine. Od jagodičnog nastavka prema dolje u razini prvog kutnjaka pruža se koštani greben, crista zygomaticoalveolaris. Nepčani nastavak uzdužnim se nepčanim šavom spaja sa svojim kontralateralnim nastavkom te tako čini prednji dio tvrdog nepca, dno nosne šupljine i prednji dio nosne pregrade, a sprijeda se spaja s kosti koja nosi sjekutiće. Zubni nastavak je donji produžetak maksile koji nosi gornje zube. On ima udubine za zube međusobno odijeljene koštanim pregradama. Alveole zubi s više korjenova imaju i međukorijenske koštane pregrade. Treba spomenuti kako i trup maksile ima svoju prednju, stražnju, medijalnu ili nosnu i gornju ili orbitalnu plohu. Prednja ploha čini središnji dio lica na kojoj se nalazi vanjski otvor infraorbitalnog kanala, ispod je fossa canina, a medijalnom incisurou nasalis čini lateralno i donje omeđenje piriformnog otvora nosne šupljine. Stražnja ploha ima koštano izbočenje ili tuber maksile s više malih koštanih otvora i koštanih kanalića kroz koje prolaze krvne žile i živci. Medijalna ploha tvori lateralnu stijenku nosne šupljine, sadrži otvor sinusa gornje čeljusti ispred kojeg je sulcus lacrimalis, a iza se nastavlja na nepčani nastavak oblikujući veliki nepčani kanal. Gornja ploha čini medijalni dio dna očne šupljine i sudjeluje u omeđenju donje orbitalne pukotine (5). Maksila tako predstavlja središnji dio lica kojeg okružuju ostale kosti s kojima je spojena. Iako se doima krhkom, dobro podnosi tlakove koje žvačni mišići prenose preko mandibule na nju te dalje na čeonu i sljepoočnu kost zahvaljujući potpornjima, funkcijskim pojačanjima koštanih struktura i zubi (5, 6).

Mandibula je neparna, jedina pokretna kost viscerokranija koju čine trup, grana i zubni, mišićni te zglobovi nastavak. Trup grade dva koštana luka koja se spajaju. Vanjska strana trupa u svom srednjem donjem dijelu ima koštane kvržice sa svake strane trokutastog polja brade. Lateralno prema gore i straga pruža se kosa koštana pruga koja prelazi u oštri prednji rub mišićnog nastavka mandibule. Iznad nje, u razini drugog pretkutnjaka, vanjski je otvor

koštanog kanala mandibule koji započinje na unutarnjoj strani grane mandibule. Iza zadnjeg kutnjaka možemo uočiti trigonum retromolare kojeg omeđuje obrazni koštani greben nakon što se podijelio na svoj medijalni i lateralni krak. S unutrašnje strane, na središtu trupa mandibule nalaze se četiri koštane kvržice od koje su gornje dvije za *m.genioglossus* i donje dvije za *m.geniohyoideus* (5). Ispod njih i postranično nalazi se *fossa digastrica*, a straga se proteže *linea mylohyoidea* koja odjeljuje gornju podjezičnu i donju poddonjočeljusnu udubinu i na koju se hvata *musculus (m.) mylohyoideus*, mišić koji uz *m.geniohyoideus*, *venter anterior m. digastrici* i *m.genioglossus* čini dno usne šupljine (6). Na trupu gore nalazi se zubni nastavak s udubinama za zube odijeljenim koštanim pregradama, a međukorijenskim pregradama su odijeljeni korijeni višekorijenskih zubi. Trup se straga gotovo okomito nastavlja u granu mandibule tvoreći kut na kojem možemo uočiti hrapavo hvatište s vanjske strane za *m.masseter* i s unutrašnje strane za *m.pterygoideus medialis*. Grana s unutrašnje strane prema gore ima koštani jezičac koji medijalno omeđuje otvor koštanog kanala mandibule. Dalje prema gore, urez mandibule dijeli granu na prednji mišićni i stražnji zglobni nastavak (5). Na mišićni nastavak veže se *m.temporalis*, a zglobni nastavak se sastoji od vrata mandibule s *pterygoidnom* udubinom i od glave mandibule koja je konveksno zglobno tijelo *temporomandibularnog* zgloba (5, 6).

## **2.2. Vaskularizacija gornje i donje čeljusti**

Krvna opskrba glave i vrata, kada je riječ o arterijama (a.), ide preko *a.vertebralis* i *a.carotis communis* koja se u razini gornjeg ruba štitne hrskavice dijeli na ogranak *a.carotis interna* i *a.carotis externa*. *A.carotis interna* i *a.vertebralis* opskrbljuju mozak krvlju (5, 6).

Vanjska karotidna arterija daje brojne ogranke kojima krvlju opskrbljuje vrat, štitastu žlijezdu, grkljan, ždrijelo, usnu šupljinu, nosnu šupljinu, uho, lice, stražnji izvankranijalni dio glave, dio *lamine dure* na svom putu kojim prolazi ispod podjezičnog živca, ispod *venter posterior m.digastrici* i ispod *stilohioidnog* mišića pa gore sve do *parotidne* žlijezde (5). Prednje grane koje daje su *a.thyroidea superior* koja hrani štitnjaču, grkljan i područne mišiće, *a.lingualis* zadužena za jezik sa svojim terminalnim granama *a.profunda linguae* i *a.sublingualis* te *a.facialis* za opskrbu kože lica, usne, dijela nepca, tonzila i *submandibularne* žlijezde sa svojim ograncima *a.angularis*, *a.palatina ascendens*, *a.submentalis* i *a.labialis superior et inferior*. Medijalna grana vanjske karotidne arterije je *a.pharyngea ascendens* koja se dalje dijeli na *a.tympanica inferior* i *a.meningea posterior*. Stražnje grane su joj *a.occipitalis* te *a.auricularis posterior* sa svojim ograncima. Završne grane su *a.temporalis*

superficialis sa svojim ramus (r.) frontalis, r.parietalis, a.transversa faciei, a.temporalis media i a.zygomaticoorbitalis te a.maxillaris kao najveća završna grana vanjske karotidne arterije. A.maxillaris ima svoja tri topografska odjeljka. Prvi je mandibularni dio koji daje ogranke a.meningea media, a.auricularis profunda, a.tympanica anterior i a.alveolaris inferior. A.meningea media opskrbljuje tvrdu moždanu ovojnici srednje lubanjske jame sa svojim ograncima a.tympanica superior, r.petrosus i r.orbitalis. A.auricularis profunda opskrbljuje temporomandibularni zglobov, vanjski slušni hodnik i vanjsku stranu bubnjića. A.tympanica anterior opskrbljuje sluznicu bubnjišta. A.alveolaris inferior opskrbljuje zube i desni svojim ograncima rami (rr.) dentales et gingivales, zatim opskrbljuje kost, dno usne šupljine i svojim krajnjim dijelom kao a.mentalis opskrbljuje područje brade. Drugi je pterigoidni dio koji opskrbljuje žvačne mišiće pa tako imamo a.masseterica, a.temporalis profundae anterior et posterior, rr.pterygoidei i a.buccalis. Treći dio je pterigopalatinalni koji prolazi krilonepčanom udubinom i daje grane a.alveolaris superior posterior, a.infraorbitalis, a.palatina descendens, a.canalis pterygoidei i a.sphenopalatina. A.alveolaris superior posterior daje ogranke rr.dentales i rr.peridentales za stražnje zube. A.infraorbitalis ide preko fissure orbitalis inferior kroz orbitu do canalis infraorbitalis u kojem daje ogranke za prednje zube i gingivu te kroz otvor dolazi do lica gdje opskrbljuje mimične mišiće i vanjski dio nosa. A.palatina descendens opskrbljuje nepce sa svojim granama a.palatina major i arteriae (aa.) palatinae minores. A.canalis pterygoidei opskrbljuje tubu auditivu i nazofarinks. A.sphenopalatina opskrbljuje nos sa svojim granama aa.nasales posteriores laterales, aa.nasales posteriores septi i a.nasopalatina (5, 6).

Uz navedeno, postoje i razvijene anastomoze krvnih žila koje su posebno izražene u prednjem interkaninomu segmentu. A.alveolaris inferior, primjerice, daje svoj ogranak arteriju incizivu s r.dentales koja anastomozira s a.profunda linguae i njenim r.supragenoides. S arterijom labiales inferior anastomoziraju a.sublinguales, ali i a.submentales. Mogu se naći ogranci a.sublinguales i u području lateralnih inciziva i očnjaka. Sve ovo govori u prilog bogatoj i raznolikoj krvnoj opskrbi navedenog područja (7).

Venska odvodnja krvi glave i vrata ide preko venskih spletova i dviju vena jugulares. Vena (v.) jugularis interna izvanlubanjski je nastavak sigmoidnog sinusa i spaja se s v.subclaviom tvoreći veliku odvodnu venu brachiocephalicu. Pritoci unutarnje jugularne vene su v.facialis, v.lingualis, v.thyroidea media, v.canaliculi cochleae i venae (vv.) pharyngeae. Glavne vene za drenažu lica su v.retromandibularis koja prima krv iz v.temporalis superficialis, v.maxillaris i

venskog pterigoidnog spleta u fossi infratemporalis nakon čega se spaja s v.facialis, drugom glavnom venom za drenažu lica. V.facialis počinje kao v.angularis koja se u medijalnom očnom kutu spaja s v.supratrochlearis, v.supraorbitalis i v.ophtalmicom superior, zatim putuje do prednjeg ruba m.massetera gdje zavija pod donji rub mandibule iza a.facialis i spaja se s prednjim ogranakom v.retromandibularis prije ulaska u v.facialis communis. Na putu dalje utječu se v.lingualis i v.thyroidea superior koje kao truncus thyrolinguofacialis u razini jezične kosti ulaze u v.jugularis internu (5).

### **2.3. Inervacija gornje i donje čeljusti**

Od dvanaest moždanih živaca, nama je najbitniji peti, nervus (n.) trigeminus koji je najveći kranijalni živac sa svojim motoričkim i osjetnim vlaknima. Motorička vlakna inerviraju žvačne mišiće, a osjetna vlakna inerviraju kožu i sluznicu lica te imaju receptore za dodir, pritisak, bol, temperaturu i proprioceptore. Grana se na n.ophtalmicus, n.maxillaris i n.mandibularis (5).

N.ophtalmicus je osjetna grana koja leži u lateralnoj stijenci kavernoznog sinusa te ulazi u orbitu kroz fisuru orbitalis superior i daje ogranak n.lacrimalis za suznu žlijezdu s rr.palpebrales superiores za gornju vjeđu i rr.conjunctivales superiores za spojnicu. Drugi ogranak je n.frontalis koji daje n.supratrochlearis za medijalni očni kut i n.supraorbitalis za spojnicu, gornju vjeđu i kožu čela do tjemena. Zadnji ogranak je n.nasociliaris s r.communicans cum ganglio ciliari koji daje ogranak nervi (nn.) ciliares longi za očnu jabučicu, n.ethmoidalis posterior et anterior za sfenoidni sinus, etmoidne ćelije te kožu i hrbat nosa te n.infratrochlearis (5).

N.maxillaris zadužen je za zube i gingivu gornje čeljusti, sluznicu nosa, maksilarnog sinusa, mekog i tvrdog nepca, gornju usnu, obraz, duru mater. Ogranci koje daje su r.meningeus, n.zygomaticus s n.zygomaticofacialis i n.zygomaticotemporalis za kožu zigomatične regije, a preko njega anastomozira s n.lacrimalisom. Sljedeći ogranci su mu nn.alveolares superiores posteriores koji izlaze iz foramina alveolaria tubera maksile kao senzibilne grane koje se anastomoziraju prednjim i srednjim istoimenim ograncima stvarajući plexus dentalis superior. Taj plexus inervira zube i gingivu gornje čeljusti. Treći ogranak je n.infraorbitalis koji prolazi kroz infraorbitalni kanal te preko pes anserinus minor inervira nos, gornju usnu i donju vjeđu sa svojim granama rr.nasales externi et interni, rr.labiales superiores i rr.palpebrales inferiores. Uz njih, u kanalu daje i r.alveolaris superior medius te rr.alveolares superiores



anteriores koji su u već spomenutom plexusu dentalisu. Četvrti ogranak zadužen je za sluznicu nepca, nepčane tonzile, nazofarinks i nosnu šupljinu preko rr.ganglionares ad ganglion pterygopalatinum (5).

N.mandibularis ima i osjetna i motorna vlakna. Motorna vlakna inerviraju žvačne mišiće, ali i m.tensor tympani, m.tensor veli palatini, m.mylohyoideus i venter anterior m.digastrici. Osjetna vlakna inerviraju moždanu ovojnicu, jezik, dno usne šupljine, zube i gingivu donje čeljusti, sluznicu obraza, zglobov, kožu donjeg dijela lica te dio vanjskog uha. Vlakna s kojima to ostvaruje su nn.pterygoidei medialis et lateralis, n.massetericus, n.temporales profundi, r.meningeus, n.buccalis, n.auriculotemporalis koji daje rr.temporales superficiales, nn.auriculares anteriores, n.meatus acustici externi, r.membrane tympani i rr.parotidei. On i anastomozira s n.facialisom od kojeg prima parasimpatička vlakna za parotidnu žlijezdu. Sljedeća grana n.mandibularisa je n.alveolaris inferior koji ima motorička vlakna za m.mylohyoideus i venter anterior m.digastrici. Ima i osjetna vlakna koja čine plexus dentales et gingivales inferiores za zube i gingivu donje čeljusti te kao n.mentalis izlazi kroz foramen mentale kako bi inervirao kožu brade, kožu i sluznicu donje usne te kožu iznad trupa mandibule. N.lingualis osjetna je grana n.mandibularisa koja daje rr.linguales za inervaciju prednje dvije trećine jezika. Za stražnju trećinu jezika zadužen je deveti, a za korijen jezika deseti moždani živac. Okusna vlakna jezik prima od chorde tympani koja je ogranak sedmog moždanog živca. N.lingualis se dalje grana na rr.isthmi faucium za meko nepce i na n.sublingualis za sluznicu dna usne šupljine, submandibularnu i sublingvalnu žlijezdu (5).

### **3. SENZIBILITET I VITALITET**

Dugo se pojam vitaliteta krivo zamjenjivao s pojmom senzibiliteta. Testovi vitaliteta ispituju funkciju vaskularizacije pulpe, dok testovi senzibiliteta ispituju funkciju inervacije i osjećaja boli koji nije znak vitaliteta pulpe jer zub može biti denerviran i dati negativan test na senzibilitet, a da mu je vaskularizacija ostala očuvana i postojana. U ovom poglavlju, pobliže će biti opisane metode koje se koriste u testiranju senzibiliteta i metode za testiranje vitaliteta. Svaki od testova razlikuje se po svojoj osjetljivosti, specifičnosti i mogućnosti predviđanja vrijednosti. Osjetljivost predstavlja mogućnost testa da prepozna bolest zub, specifičnost omogućuje prepoznavanje zdravog zuba, a posljednja povezuje prve dvije kako bi se mogla postaviti točna dijagnoza ispitivanih zuba. Pozitivna predvidljiva vrijednost govori u prilog bolesnom, a negativna vrijednost upućuje na to da se radi o zdravom zubu. Mora se imati na umu da ovi testovi pomažu u dijagnostici i planiranju odgovarajuće terapije, ali moraju se razmatrati zajedno s detaljno uzetom anamnezom, kliničkim pregledom i radiografskom snimkom kao nezamjenjivim dijagnostičkim metodama (1).

### **3.1. Testovi senzibiliteta**

Živčana vlakna pulpe najrazvijenija su u njenim perifernim dijelovima, duž lateralnog zida kojeg čini dentin krune i vrata zuba te duž okluzalnog dijela pulpne komore. Senzorička vlakna prisutna u pulpi su mijelinizirana A i nemijelinizirana C vlakna. A vlakna najviše inerviraju caklinsko-dentinsku granicu koronarnog dijela pulpe i pulpne robove, a po svojem promjeru i brzini provođenja impulsa dijele se na A- $\beta$  i A- $\delta$  vlakna. A- $\delta$  vlakna predstavljaju većinski dio A vlakana zubne pulpe i produciraju akutnu, oštru bol nastalu hidromehaničkim zbivanjima u dentinskim tubulusima kao posljedice brušenja ili sušenja mlazom zraka. C vlakna inerviraju srž pulpe i produciraju tupu, žareću, slabo lokaliziranu bol koja može biti aktivirana intenzivnim zagrijavanjem ili hlađenjem krune zuba, a puno manje električnom stimulacijom zbog njihovog visokog praga potrebnog za aktivaciju strujom. Bol se kod aktivacije C vlakana može širiti u udaljena područja čeljusti i lica. Najveći broj živčanih vlakana nalazi se u rogu pulpe, a što je kraći razmak između elektrode i pulpe to je manji otpor protoku struje. Većina testova senzibiliteta bazira se na stimuliranju A- $\delta$  živčanih vlakana preko vanjske površine zuba. Pravilno stimulirana i zdrava živčana vlakna dat će subjektivan odgovor pacijenta kao oštru i kratku bol. Od testova senzibiliteta bit će opisani termalni testovi toplinom i hladnoćom, električni test, test preparacije kaviteta i test lokalnom anestezijom (2, 8).

### 3.1.1. Termalni testovi

Ovim testovima toplina i hladnoća koriste se kao stimulansi pulpe kojima se pomaže u dijagnostici moguće patologije zuba.

Test hladnoćom uzrokuje kontrakciju tekućine unutar dentinskih tubulusa koja rezultira velikim ubrzanjem protoka te tekućine. Povećani protok tekućine djeluje na A- $\delta$  vlakna uzrokujući oštru bol koja traje onoliko koliko i sam test. Načini na koje se ovaj test može izvršavati su višestruki. Jedan je način prisloniti na bukalnu površinu zuba zamotani komad leda u vlažnoj gazi te usporediti reakciju ispitivanog zuba s reakcijom kontrolnog zuba. Ova metoda može se raditi stvaranjem tračaka leda tako da se zamrznu slamčice prethodno napunjene vodom. Sljedeći je način špricanjem etilnog klorida na kuglicu vate na kojoj se stvore kristalići leda prije aplikacije na zub. Osim etilnog klorida, koriste se i sprej diklordifluorometana te njegova modificirana ekološki osvještana verzija bez klorflourokarbonata za zaštitu ozona. Sljedeći stimulator hladnoćom je smrznuti ugljikov dioksid poznat i pod nazivom suhi led. Postavlja se na bukalnu površinu zuba kao čvrsti individualizirani plastični štapić u koji je utisnut plin. Ova metoda pokazala se jako korisnom u procjeni zuba koji su cijeli obnavljani metalnim restauracijama. Pokazala se i kao metoda koja ne ugrožava zdravlje pulpe i cakline što se utvrdilo petominutnom aplikacijom nakon koje pulpa, ali ni površina cakline ne pokazuju znakove oštećenja. Kod zuba koji pak ima porculansku restauraciju treba biti oprezan jer će ugljikov dioksid uzrokovati oštećenje nakon primjene od samo pet sekundi. Zadnja metoda hladnoćom koja će biti spomenuta jest metoda ledeno hladnom vodom. Zub se izolira koferdamom i ispire mlazom ledeno hladne vode iz šprice onoliko dugo dok se ne pojavi pacijentov odgovor na stimulans ili nakon maksimum petnaest sekundi (2, 3).

Test toplinom provodi se zagrijanom gutaperkom, zagrijanim instrumentom, vrućom vodom te trenjem na površinu zuba. Ravni kraj gutaperke zagrijava se plamenom dok ne omekša i zablista te se prisloni na površinu zuba prethodno premazane vazelinom, ne duže od pet sekundi. Problemi koji se javljaju su otežan pristup lateralnim zubima i moguća oštećenja pulpe zbog izlaganja visokim temperaturama. Za test toplinom može se koristiti i zagrijani instrument kao što je plager, koji se postavi u neposrednu blizinu krune zuba. Vruća se voda špricom istiskuje na zub prethodno izoliran koferdamom. Također, toplina se može uzrokovati trenjem na površinu zuba koje nastaje korištenjem gumica za profilaksu, bez dodavanja paste. Pravilno korištenje testova topline neće ugroziti zdravlje pulpe (2, 3).

### **3.1.2. Električni test**

Električnim testom stimuliraju se intaktna A- $\delta$  vlakna primjenom električne struje na površinu zuba. Nemijelinizirana C vlakna imaju visok prag potreban za stimulaciju zbog čega ovaj test ne provodimo za njihovo ispitivanje. Pozitivni rezultati proizlaze pomakom iona unutar tekućine dentinskih tubulusa uzrokujući lokalnu depolarizaciju i promjenu akcijskog potencijala živčanih A- $\delta$  vlakana. Test se provodi instrumentom koji stvorenu struju aplicira preko sonde prislonjene na površinu cakline ispitivanog zuba prethodno izoliranog od susjednih zuba i struktura. Najbolja je pozicija primjene sonde na površinu zuba u projekciji roga pulpe jer to je mjesto najveće koncentracije živčanih vlakana u pulpi. Pulsirajućom električnom stimulacijom ispituje se stanje živčanih A- $\delta$  vlakana. Početni intenzitet bi trebao biti vrlo nizak kako bi se izbjegla neugoda prevelikom stimulacijom živca, a zatim se postepeno pojačava do trenutka kad pacijent primijeti osjećaj topline ili trnjenja ispitivanog zuba i ta mjera se bilježi. Očitavanje mjere nije kvantitativan znak pulpnog zdravlja, već jednostavan dokaz zdravih i funkcionalnih živčanih vlakana (2).

### **3.1.3. Test preparacije kaviteta**

Ovaj test izvršava se onda kad ostali testovi senzibiliteta ne daju uvjerljive rezultate. Provodi se brušenjem svrdlom uz vodeno hlađenje kroz caklinsko-dentinski spoj prethodno izoliranog, neanesteziranog zuba. Onog trena kad pacijent osjeti bol prilikom prodora svrdla u dentin, postupak se zaustavlja i kavitet se restaurira (2).

### **3.1.4. Test lokalnom anestezijom**

Ponekad je teško donijeti valjanu dijagnozu. To se zna dogoditi u situacijama kad su simptomi boli slabo izraženi i kad je pacijentima problem odrediti iz koje čeljusti se javlja bol. Kad se u takvim situacijama pulpni testovi pokažu neuvjerljivima, ovaj test bi mogao pomoći. Intraligamentarnom ili infiltracijskom anestezijom anestezira se najposteriorniji zub na koji sumnjamo da je uzrok boli. Kod perzistirajuće boli anestezira se dalje svaki zub smješten mezijalnije sve dok ne nestane simptom boli. Kad se ne može odrediti ni čeljust kod koje se stvara problem, primjenjuje se provodna anestezija na donji alveolarni živac gdje bol nestaje ako uzrok leži u srednjim ili stražnjim donjim zubima te strane mandibule (2).

### 3.2. Ograničenja testova senzibiliteta

U ograničenja koja se javljaju prilikom primjene testova senzibiliteta možemo nabrojati lažno pozitivan test, lažno negativan test, osjetljivost i specifičnost testa, histopatologija pulpe, objektivnost, ponovljivost, neugoda, razvoj zuba, višekorijenski zubi, lijekovi, dob, postojanje parodontne bolesti, spol i utjecaj traume (2).

Lažno pozitivan odgovor se događa kad nevitalan zub daje pozitivan rezultat na test, a trebao bi dati negativan rezultat. To se zna dogoditi kod mladih ili jako uplašanih pacijenata koji očekuju bol pa preventivno reaguju. Isto tako produkti nekrotične razgradnje dijela pulpe mogu dati lažno pozitivan odgovor, kao i kontakt s metalnim restauracijama i nedovoljno osušen zub prije ispitivanja (2).

Lažno negativan rezultat daje vitalan zub koji ne daje pozitivan, ispravan rezultat na test. To se zna dogoditi kod zuba s nezavršenim rastom i razvojem korijena kojima treba jača stimulacija kako bi dali odgovor jer je kod njih prag testa povišen. Jedino se termalni test snijegom ugljikovog dioksida pokazao dobrim za njih jer neovisno u kojem se stadiju razvoja zub nalazi, test će davati pozitivan rezultat (2). Isto tako, i traumatizirani zubi kod kojih dolazi do ozljede živca i denervacije daju lažno negativan rezultat, iako im je vaskularizacija postojana. Kod njih treba imati na umu da s vremenom može doći i do reinervacije. Ljudi pod utjecajem sedativa i alkohola također mogu dati lažno negativan rezultat (2).

Traumatizirani zubi daju nepredvidljive odgovore jer kod trauma često dolazi do oštećenja živca bez oštećenja krvne opskrbe pulpe što ju i dalje čini vitalnom, iako je denervirana. Početni izostanak odgovora na stimulaciju rezultat je ozljede, upale i pritiska na živčana vlakna pulpe što se zna promijeniti nakon osam tjedana i više od ozljede kad dolazi do oporavka živčanih vlakana ili reinervacije pa tako i normalnog odgovora pulpe na stimulaciju. Kako se ne bi ulazilo u nepotrebno endodontsko liječenje u početnim fazama, potrebno je testirati i krvnu opskrbu pulpe testovima vitaliteta te utvrditi je li vaskularizacija pulpe ostala očuvana i krenuti u endodonciju tek kad se ustanovi nevitalna pulpa (2).

Osjetljivost testa znači mogućnost testa da prepozna nevitalan zub. U omjer se stave ljudi s pozitivnim rezultatima i bolesnim zubom i sveukupni broj testiranih ljudi s bolesnim zubom. Osjetljivost koja ima omjer od 0,80 govori u prilog činjenici da će u 80% slučajeva test pokazati pozitivan rezultat za testiran nevitalan zub (2).

Specifičnost je s druge strane mogućnost testa da prepozna vitalan zub. Ovdje su u omjer stavljeni ljudi s negativnim rezultatima i bez bolesnog zuba i sveukupan broj ljudi koji nemaju bolestan zub. Ovdje će omjer od 0,80 značiti 80% slučajeva gdje će negativan rezultat biti pokazan za testirane vitalne, zdrave zube (2).

Iako ne možemo točno povezati odgovor koji dobijemo testom i specifično histološko stanje pulpe, ipak se pokazala povezanost između izostanka odgovora na test i histološki nekrotične pulpe. Odgovor na niži prag stimulacije nam tako govori o mogućoj hiperemiji ili akutnoj upali pulpe, a povećan prag nas usmjerava na moguće kronično upalno stanje pulpe (2).

Problem se javlja oko subjektivnog doživljaja boli koji se pokušava riješiti uvođenjem dodatnog testiranja zdravog zuba radi usporedbe. No, ovo je i dalje predmet rasprave (2).

Ponavljanje testa kroz dan ili kroz nekoliko dana može dati različite odgovore koji se objašnjavaju mogućim različitim psihičkim stanjem pacijenta kao i nepreciznošću određenih električnih instrumenata za testiranje (2).

Neugoda koja se javlja prilikom testiranja zbog stimulacije živčanih vlakana koje uzrokuju bolni odgovor jedna je od hendikepa ovih metoda (2).

Problem predstavljaju i višekorijenski zubi kod kojih se testom ne može definirati koji korijenski kanali su vitalni, a koji nisu (2).

Sedativi, anksiolitici i analgetici mogu povisiti prag stimulacije živaca u pulpi, što treba imati na umu prilikom testiranja takvih pacijenata (2).

Osim kod novoizraslih zubi, dob nema utjecaja na rezultat testiranja, kao ni spol (2).

Stajališta o utjecaju parodontnih bolesti na testiranje pulpe su kontradiktorna. Jedna tvrde da nema promjene praga stimulacije pulpe kod parodontne bolesti i gubitka kosti, dok druga tvrde kako je moguća povezanost parodontne bolesti te upale i degeneracije pulpe (2).

### **3.3. Testovi vitaliteta**

Testovi senzibiliteta ispituju živčanu opskrbu pulpe, što ne znači da samim time utvrđuju i vitalitet pulpe. Za vitalitet je najviše zadužena krvna opskrba pulpe koju možemo ispitati testovima vitaliteta. Najčešće korištene neinvazivne metode koje izravno procjenjuju protok krvi ispitivanog područja su laser Doppler flowmeter (LDF) i pulsni oksimetar. Od ostalih koriste se termografija i spektrofotometrija (1).

#### **3.3.1. Termografija**

Vitalan zub svoju temperaturu dobiva eksterno i interno. Eksterno ju dobiva od parodonta i okolnog oralnog tkiva, a interno od cirkulacije i metabolizma pulpe. Nevitalni zub nema svoju internu temperaturu pa ju dobiva samo od parodonta i okolnog oralnog tkiva. Teoretski bi se mogle razlikovati vitalna od nevitalne pulpe po razlikama u bazalnoj temperaturi kao i u brzini zagrijavanja nakon hlađenja. Razlike temperatura mjere se infracrvenim termometrima, minijaturnim termometrima, infracrvenom termografijom, termoelementima, termistorima i tekućim kristalima kolesterina, no još se nije razvila neinvazivna, komercijalno dostupna naprava za ovu metodu testa vitaliteta (1).

#### **3.3.2. Spektrofotometrija**

Spektrofotometrija s dvostrukim valnim duljinama mjeri zasićenost krvi kisikom, unutar pulpe. Istraživanja su pokazala kako može razlikovati nekrotično područje pulpe od onog ispunjenog oksigeniranom krvi, ali komercijalni uređaj za stomatološku uporabu još nije dostupan (1, 9).

#### **3.3.3. Pulsni oksimetar**

Pulsni oksimetar objektivna je metoda mjere zasićenosti arterijske krvi kisikom. Radi tako da registrira sposobnost apsorpcije crvenog i infracrvenog svjetla (2) kod hemoglobina koji je oksigeniran i onog koji je deoksigeniran pa na temelju razlike tih podataka izračunava koncentraciju oksigenirane krvi u cirkulaciji. Oksigenirani hemoglobin apsorbira više infracrvenog, a deoksigenirani hemoglobin apsorbira više crvenog svjetla (9). Iako se već dugo koristi u medicini za bilježenje zasićenosti krvi kisikom tijekom primjene intravenske anestezije (2), relativno se kasno uveo u stomatologiju kao metoda određivanja vitaliteta zuba. Problemi s kojima se u početku susretao bile su prilagodbe veličine i oblika instrumenta za primjenu na anatomske konture zuba. Istovremeno morala se očuvati veza fotoreceptora i senzora s diodom koja emitira svjetlo. One bi trebale biti međusobno što paralelnije kako bi fotoreceptor mogao primiti svjetlo diode prenesene preko zuba. S vremenom, uspio se



napraviti prototip pulsnog oksimetra primjenjiv u stomatološke svrhe te se pokazao kao obećavajuća pomoćna dijagnostička metoda, superiornija nad testovima senzibiliteta kod dijagnosticiranja nevitálnih zuba za endodontsko liječenje (1). Kod hipotermije, hipovolemije ili jake periferne vazokonstrikcije, gdje je arterijski protok krvi smanjen, rezultati pulsnim oksimetrom mogu biti lažno negativni. Smatra se kako bi to bio slučaj i kod zuba s dubokim restauracijama ili obliteracijom kao posljedicom starenja pulpe zuba (2).

#### **3.3.4. Laser Doppler flowmeter (LDF)**

LDF neinvazivna je metoda kojom se ispituje protok krvi u mikrocirkulaciji koja će biti detaljnije opisana u sljedećem poglavlju.

### **3.4. Metode ispitivanja osjeta mekih tkiva**

U mekim oralnim tkivima kao što su tkivo jezika, obraza, koža brade i vermilion usnice isto ćemo naći A- $\beta$ , A- $\delta$  i C vlakna čiju funkciju možemo ispitati senzoričkim i elektrofiziološkim testovima. Za ispitivanje A- $\beta$  vlakana od senzoričkih testova rade se test diskriminacije četkicom, test diskriminacije u dvije točke i Semmes-Weinstein test ili test dodira. Od elektrofizioloških testova rade se test slijepog refleksa mentalnog živca, test živčane provodljivosti i kvantitativni senzorni test. Za provjeru A- $\delta$  vlakana postoji test hladno-tople diskriminacije pomoću tople i hladne vode, test detekcije hladnog dodira i test oštrotupe diskriminacije. Za C vlakna imamo isto tako test hladno-tople diskriminacije te testove detekcije toplog dodira i boli na topli dodir. Od senzoričkih testova, test dodira pokazao se najosjetljivijim i klinički korisnim testom koji daje kvantitativne podatke s kojima se može pratiti oporavak živca. Elektrofiziološki test slijepog refleksa mentalnog živca i kvantitativni senzorni test otkrivaju različite vrste oštećenja kod različitih vrsta živčanih vlakana te tako povećavaju dijagnostičku preciznost (10).

#### **4. LASER DOPPLER FLOWMETER**

Laser Doppler flowmeter (LDF) ili laser Doppler velocimeter neinvazivan je, objektivan, bezbolan i jednostavan instrument koji se koristi u medicinskim i stomatološkim hemodinamskim istraživanjima za procjenu protoka mikrocirkulacije u ljudskim tkivima. LDF otkriva protok krvi bazirajući se na Dopplerovom efektu kojeg je 1842. predložio austrijski fizičar Cristian Doppler. Dopplerov efekt predstavlja promjenu frekvencije i valne duljine valova nastalih prilikom pomicanja objekta ili prijemnika s obzirom na medij ili pomicanjem samog medija. Eritrociti ili crvene krvne stanice predstavljaju najveći udio pokretnih čestica u mikrocirkulaciji zuba pa se na njih može primijeniti upravo spomenuti Dopplerov efekt te izmjeriti protok krvi pomoću LDF-a (4, 11).

#### **4.1. Način rada LDF-a**

LDF je optička metoda koja omogućuje mjerenje broja i brzine čestica koje se prenose protokom tekućine. Čestice koje se mjere moraju biti dovoljno velike kako bi raspršile onoliko količinu svjetla koja omogućuje detekciju signala, a s druge strane bi trebale biti dovoljno malene da se neometano kreću u tekućini. Za rad LDF-a koristi se svjetlosni snop helij-neonskog lasera valne duljine od 632,8 nm, a neki dosežu i do 820 nm. Svjetlosni snop prenosi se do pulpe zuba preko optičke sonde postavljene na površinu zuba. Zrake emitiranog svjetlosnog snopa djeluju na eritrocite u pokretu i na statično tkivo krvne žile (4). Zrake se djelomično apsorbiraju, a djelomično odbiju (11). Kod zrake koja se odbije od crvenih krvnih stanica u pokretu mijenja se frekvencija i valna duljina dok se kod zrake odbijene od statičnih tkiva frekvencija i valna duljina ne mijenjaju. Sve odbijene zrake vraćaju se kroz aferentno vlakno do optičke sonde i njenih fotodetektora u kojima se stvara signal izračunom algoritama ugrađenih u LDF (4). Tako, u optičkoj sondi postoji vlakno koje emitira svjetlo tkivima i drugo koje skuplja raspršene zrake od tkiva (11). Zrake s promijenjenom i nepromijenjenom frekvencijom i valnom duljinom u fotodetektoru se kao interferencijski uzorak pretvaraju u polukvantitativnu mjeru krvnog protoka nazvanu flux signal. On predstavlja umnožak pokretnih eritrocita u sekundi i njihove srednje brzine. Kod ispitivanja vitaliteta, flux signal bi se trebao razlikovati između vitalnog i nevitalnog zuba u korist veće izmjerene vrijednosti vitalnog zuba. Očitavanja koja se dobiju flux signalom su u proizvoljnim i softverski izračunatim perfuzijskim jedinicama (PU). Nijedan LDF još uvijek ne može dati apsolutne perfuzijske vrijednosti krvnog protoka zbog čega se PU ne mogu uspoređivati s drugim uređajima ako nisu kalibrirani posebnom suspenzijom čestica u tekućini s poznatim

svojstvima vibracija. Dubina prodora zraka u zub razlikuje se ovisno o gustoći tkiva pa varira od 4 milimetra (mm) do 13 mm u dubinu, neovisno o udaljenosti sonde od površine zuba (4).

#### **4.2. Primjena LDF-a kao metode ispitivanja vitaliteta zuba**

Procjena vitaliteta zubne pulpe važna je za donošenje pravilne dijagnoze i postavljanje dobrog plana terapije. Nekad nije tako jednostavno utvrditi točnu dijagnozu, kao kod primjerice nekrotične pulpe kojoj je bol jedan od simptoma. Primjena LDF-a kao pomoćne dijagnostičke metode to uvelike olakšava (4).

LDF ima svoje indikacije u dijagnostici kod procjene vitaliteta zubne pulpe i testova vitaliteta zuba djece, zatim u praćenju promjene protoka krvi zuba koje se zbiva tijekom starenja, u ispitivanju utjecaja pojačane fizičke aktivnosti na protok, ispitivanja utjecaja farmakoloških tvari na protok krvi, praćenje odgovora pulpe na testove senzibiliteta, utjecaj ortodonske terapije i ortognatske kirurgije na protok krvi pulpe, mjerenje protoka krvi nakon traume te praćenje procesa revaskularizacije kod replantiranih zuba (4, 11).

Testovi vitaliteta kod djece imaju prednost nad testovima senzibiliteta zbog svoje objektivnosti. LDF se pokazao kao prikladna metoda za ispitivanje protoka pulpne krvi mliječnih zubi (4). Pojedini znanstvenici navode kako LDF ne može s pouzdanom sigurnošću razlikovati vitalnu od avitalne pulpe zuba djece između osam i šesnaest godina, zbog čega je za ispitivanja dječje populacije potreban daljnji tehnološki napredak LDF-a za lakše i preciznije korištenje (12).

Periapikalno prosvjetljenje vidljivo radiografski ne mora nužno nastati endodontskim uzročnikom te nam i ovdje u dijagnostici pomaže LDF (4).

Istraživanjem promjena koje se događaju starenjem pulpe, LDF je pokazao kako se hemodinamika smanjuje starenjem (4).

Tokom fizičke aktivnosti LDF-om se bilježe promjene protoka krvi u pulpi. Zabilježena je najveća promjena protoka krvi u pulpi od 38%, a u gingivi je zabilježena promjena od 65%. Nije se mogla ustanoviti direktna veza između povećanja pulsa koje se događa fizičkom aktivnošću i povećanja protoka pulpne krvi, ali je primjećeno kako se mehanizmi kontrole krvi razlikuju u pulpi i u gingivi. U kliničkim i istraživačkim mjerenjima treba uzeti u obzir kako su se LDF očitavanja zuba mogla utvrditi onda kad je pacijent bio u mirovanju (4).

LDF bilježi reakcije na lokalne i sistemske farmakološke tvari kao što je lokalni anestetik. Aplikacija lokalnog anestetika s vazokonstriktorom pokazala je značajno smanjenje krvnog protoka pulpe i gingive što može predstavljati problem kod pulpe koja je i prije aplikacije anestetika s vazokonstriktorom slabije opskrbljena krvlju. Zabilježene su manje promjene protoka prilikom primjene prilokaina s vazokonstriktorom nego što je to bilo primjenom lidokaina s epinefrinom. LDF je zabilježio veće promjene protoka prije aplikacije anestetika kod onih pacijenata koji su anksiozniji (4). Pet minuta nakon aplikacije anestetika s vazokonstriktorom počeo je pad krvnog protoka koji je trajao oko dvadeset minuta, s najvećom promjenom prisutnom deset minuta nakon aplikacije. Izmjeren je pad protoka od 75% te pad pulsacija koje su se zabilježile elektrokardiogramom (13).

LDF se može koristiti kao mjera za reakciju koja nastaje primjenom termalnog i električnog testa senzibiliteta. Kod električnog testa prvotno je zabilježeno smanjenje, a zatim dugoročno povišenje protoka pulpne krvi. Termalni testovi također mijenjaju protok krvi, ali polako i po malo (4).

LDF mjeri promjene krvnog protoka koje nastaju prilikom ortodontske terapije. Kontinuirane intruzijske sile koje su najviše ispitivane pokazale su se kao sile koje značajno smanjuju protok krvi pulpe, a nakon uklanjanja žice koja ih uzrokuje uslijedio je oporavak. Druga istraživanja navela su kako kratka primjena intruzijske sile ne pokazuje promjenu protoka krvi, ili je promjena privremena. Ekstruzijske sile nisu imale nikakav učinak na krvni protok (4).

Kod pacijenata podvrgnutim ortognatskoj kirurgiji kao što je maksilarna segmentna osteotomija ili Le Fort I osteotomija, zabilježena je značajna redukcija senzibiliteta pulpe onih zuba koji su pripadali segmentu koji je osteotomiran. Postoperativno učestalost nereagiranja na električni test senzibiliteta iznosi do 43% pa LDF ima veću dijagnostičku vrijednost jer daje pouzdanije podatke (4).

LDF je objektivna i pouzdana metoda za ispitivanje vitaliteta traumatiziranih zuba. Inervacija takvih zuba može biti oštećena pa na testove senzibiliteta dati negativan rezultat iako im je krvna opskrba funkcionalna. Potrebno je nekad i više od osam mjeseci kako bi se dobio normalan odgovor pulpe na testove senzibiliteta zbog spore regeneracije živčanih vlakana. Test vitaliteta radi se i kod traumatiziranih zuba nezavršenog rasta i razvoja kako se ne bi ugrozio oporavak i njihov daljnji razvoj ulaskom u nepotrebnu endodonciju dok se krvne žile

kroz foramen obnavljaju i oporavljaju (4). Kod revaskuliranih pulpnih krvnih žila već nakon dva do četiri tjedna od ozljede moguće je registrirati i dobiti porast flux signala vezanih uz pozitivan rezultat na vitalitet (11). Preporuča se odgoda endodontske terapije dok se pulpno tkivo smatra vitalnim, osim ako se na rendgenogramu ne pojavi apikalna radiolucencija ili razvitak sinus trakta koji su znakovi nevitalne pulpe koju je onda potrebno endodontski liječiti. Točnijom procjenom vitalnosti pulpe i utvrđivanjem funkcionalnog krvnog protoka omogućuje se bolje iscjeljenje u ranim fazama nakon traume (13).

LDF može s točnošću od 84% predvidjeti budućnost replantiranog zuba, hoće li ostati vitalan ili će postati nevitalan (4).

### **4.3. Primjena LDF-a u drugim tkivima**

Protok krvi kože najviše je istraženo uporabom LDF-a, no unatoč tome, podatci dobiveni za kožu ne mogu se iskoristiti za druga tkiva jer svako tkivo ima svoje karakteristike mikrocirkulacije (11). Za mjerenje protoka krvi kože preporuča se korištenje sonde koje uzrokuju vazodilataciju toplinom nakon čega je lakše razlikovati ishemičnu od zdrave kože (14). Osim kože, LDF korišten je i za ispitivanje protoka krvi debelog crijeva, retine, bubrežne kore, mišića, jezika, pulpe zuba, gingive, oralne sluznice, nepčane sluznice i alveolarne kosti (15, 16, 17). Lasersko ispitivanje pokazalo se korisnim i kod mjerenja uspješnosti terapije slobodnim transplantatima kod kojih se prilikom transplantacije povisi protok krvi anastomozama te se ono s vremenom vrati na nižu vrijednost (18).

#### **4.3.1. Primjena LDF-a za mjerenje protoka krvi gingive**

LDF omogućuje mjerenje protoka krvi marginalne gingive kod koje je uočena razlika opskrbe krvi između marginalne gingive gornje i donje čeljusti. Osim marginalne, razlika je uočena i između gornje i donje interdentalne gingive u fronti, pričvrzne gingive i pogotovo, alveolarne mukoze u fronti donje čeljusti (11).

Na mjerenje protoka krvi gingive LDF-om mogu utjecati debljina gingive i epitela, biotip gingive, dob, restauracije zuba, plak. Mehanička stimulacija kod pranja zuba vodi do povećanja protoka krvi papilarne gingive kod zdravih osoba. Ispitivanjem utjecaja ruba krune, subgingivnog ruba restauracije i nakupine plaka na zdravlje gingive, utvrdila se veća mogućnost upale gingive te povezanost gingivalnog indeksa i LDF rezultata. Progresijom gingivitisa dramatično se i dinamično mijenja mikrocirkulacija gingive. Nakon terapije struganja i poliranja korjenova, protok krvi vratio se na normalan i ostao stabilan kroz tri

mjeseca postoperativnog praćenja. Suprotno tome, neki znanstvenici tvrde kako se događa pad protoka krvi upaljene gingive, a povećanje u broju površinskih krvnih žila (11).

LDF je objektivna i neinvazivna metoda praćenja odgovora gingivnog protoka krvi na parodontološku terapiju. Primjenom anestezije dolazi do brzog pada protoka gingivne krvi koje tijekom operacije ostaje niže nego normalno (11).

LDF metoda dokazala je i utjecaj pušenja na protok gingivne krvi. U mlađih osoba, brzo početno povećanje protoka gingivne krvi se nakon desetak minuta vratilo unutar granica normalnog protoka. Neki znanstvenici tvrde kako pušenje ne uzrokuje lokalnu vazokonstrikciju parodontnog tkiva ljudi, već se pušenjem povisuje krvni tlak koji ubrzava i protok gingivne krvi. Kod lakših pušača, pušenje uzrokuje akutno povećanje krvnog protoka kože čela, za razliku od težih pušača kod kojih toga nema što je moguće zbog razvika tolerancije kod učestalih korisnika. Usporedbom krvnih žila gingive pušača sa zdravom gingivom i one u nepušača, aplikacijom anestetika s vazokonstriktorom uočile su se razlike u protoku krvi izmjenom LDF-om (11).

Aplikacijom ortodontskih sila dolazi do promjene protoka krvi gingive povezane sa stupnjem primjenjenije sile i veličinom interdentalnog prostora. Početno smanjenje gingivnog protoka krvi se nakon par mjeseci vraća u normalu (11).

#### **4.3.2. Primjena LDF-a za mjerenje protoka krvi alveolarne kosti**

LDF metoda preporuča se kao pomoć u oralnoj implantologiji gdje bi povećala predvidljivost rezultata terapije. LDF pomaže i u mjerenju napretka koštanih transplantata te u mjerenju vjerojatnosti reinfekcije osteomijelitisa koje je minimalno kod strogog uklanjanja inficirane nevitalne kosti (15, 19). Za to su potrebne poznate normalne vrijednosti prokrvljenosti čeljusti mjerene LDF-om. Mjere prokrvljenosti kosti LDF-om prilikom ugradnje implantata pomažu kod određivanja kvalitete kosti, njene debljine i krvne opskrbe te planiranja terapije i predviđanja procesa oseintegracije ugrađenog implantata u maksili ili kompaktnijoj i slabije prokrvljenoj mandibuli. Kod planiranja terapije i mogućnosti ugradnje implantata kod osoba koje su bile podvrgnute zračenju glave i vrata i koje imaju rizik za razvoj osteonekroze, LDF može definirati najmanji prag prokrvljenosti kosti za koji je ugradnja implantata sigurna (15).

LDF je korisna metoda i kod mjerenja prokrvljenosti područja na kojem je rađen sinus lift. Uočen je najveći protok krvi i angiogeneze na području najbližem sinusnoj membrani koja je najprokrvljenija u dnu sinusa i na području bližem alveolarnoj kosti. Mjerenja koja pokazuju

negativan flux signal korisni su rani pokazatelj potrebe za ponovnom procjenom terapije sinus liftom kod koje bi oseintegracija, a naposljetku i terapija mogla biti uspješna (20).

#### **4.3.3. Primjena LDF-a za mjerenje protoka krvi nepčane sluznice**

Klinički izgled sluznice ne govori uvijek u prilog patologije koja se može događati na histološkoj bazi te je istraživanje krvožilne mikrocirkulacije od interesa kad izostanu klinički simptomi patologije kao što su eritem, bol i edem. Tako se LDF-om mogu otkriti histološke i mikrovaskularne promjene koje se događaju djelovanjem mikroorganizama i mehaničkim pritiskom baza proteza prije nego se klinički makroskopski pojave simptomi. Anatomske i histološke nalazi istraživanja pokazali su postojanje razlika u mikrocirkulaciji na tri mjerena područja nepca. Protok je bio mnogo važniji što je bio bliže izlazištu arterije iz foramina palatinum majus ili Schroederovog područja od retroincizivne papile, a flux signali bili su značajno viši u navedenom području od medijalnog područja rapha palatini. Usporedbom pušača i nepušača, u nepušača je zabilježen porast mikrocirkulacije i to najviše vezivnog tkiva Schroederovog područja. Na mjerenje utječu faktori koji su vezani uz starenje kao što su fleksibilnost krvnih žila, tanja oralna sluznica, a i javlja se fibroza vezivnog tkiva. Nošenje djelomične proteze povećat će protok krvi nepčane sluznice neovisno o postojanju bolesti. Smatra se kako proteze iritiraju sluznicu na površini tkiva što vodi u stomatitis. LDF-om se mogu pratiti promjene subepitelne mikrocirkulacije uzrokovane i određenim lijekovima poput bifosfonata i radioterapije (16).

#### **4.4. Čimbenici koji utječu na rezultate**

Okolišni i tehnički čimbenici mogu bitno utjecati na LDF i njegovo određivanje protoka krvi u pulpi. U njih ubrajamo oblik sonde, karakteristike držača sonde, izolaciju gingive, karakteristike uređaja, stupanj mineralizacije cakline i dentina, temperaturu okoliša, dob dana, položaj i opuštenost pacijenta, pozicija sonde, oscilacije u otkucajima srca, diskoloracija zuba, stres, lijekovi i promjene koje se zbivaju starenjem (4).

Uočeno je mnogo faktora vezanih uz laserske zrake koje utječu na flux signal zabilježen mjerenjem protoka krvi pulpe. Ti faktori odnose se na filter propusnosti koji smanjuje šum signala, valnu duljinu izvora zraka i razdvojenost vlakana unutar sonde. Kad se svi faktori laserskih zraka uzmu u obzir dolazi se do preporuke kako je uski filter propusnosti od 3 kiloherca (kHz), valne duljine izvora 633 nanometara (nm) do 810 nm i razdvojenosti vlakana u sondi od oko 250 do 500 mikrometara najprimjenjivija. Ako se koriste veće valne duljine,



dobit će se viša očitavanja flux signala koja mogu biti rezultat dublje penetracije kroz zubno tkivo, ali mogu biti i rezultat očitavanja dodatnog nepulpnog protoka krvi koji smanjuje omjer vitalnog i nevitalnog signala pulpe (4).

Što se tiče zakrivljenosti sonde, nije se pokazalo da ona ima utjecaja na rezultate mjerenja LDF-om (4).

Jedni autori postavljali su sondu na cervikalnu trećinu krune zuba zbog toga što se smatralo kako je na tom položaju najtanje tvrdo zubno tkivo, a pulpno šire i dostupnije te je izlazni signal propuštenog svjetla minimalan, za razliku od položaja sonde na incizalni dio krune zuba. Drugi autori tvrde kako položaj sonde na krunu zuba nema bitniji utjecaj na prijenos svjetlosti pa tako ni na rezultate mjerenja (4).

Kako bi laserska zraka LDF-a bila u interakciji s pokretnim stanicama pulpne krvi i izbjegla moguće artefakte, izrađuje se odgovarajući držač sonde koji odgovara zubu koji se mjeri te osigurava pravilan, stabilan i ponovljiv položaj sonde za praćenje napretka (4). Za što precizniji signal potrebno je osigurati oko tri minute što mirnijeg položaja pacijenta i sonde, bez pomicanja (11). Iako se može mjeriti i ručnim sondama, bolje rezultate dobit će se primjenom držača. Držači mogu biti krute udlage napravljene od silikona, plastike, akrilata ili se stvoriti korištenjem kvačica koferdama, a sonda se može držati i rukom. Udlage se mogu napraviti uzimanjem otiska adicijskim silikonom i stvaranja malog udubljenja za sondu udaljenu 2 do 3 mm od marginalne gingive. Kombinacija udlage od poliuretana i koferdama pokazala se najučinkovitijom pri mjerenju protoka krvi pulpe (4). Drugi znanstvenici predlažu silikonsku udlagu koja usmjerava zrake na određeno mjerno mjesto u kombinaciji sa strogo određenim vremenom mjerenja u danu, kod višestrukih mjerenja, kako bi se izbjegle pogreške ovisne o vremenu i poboljšala valjanost mjerenja (21).

Problem predstavljaju i nepulpni signali koji ulaze u očitavanja i ometaju točnost podataka prokrvljenosti zubne pulpe. Pokazalo se kako se prilikom mjerenja nevitalnih zubi dobije niže očitavanje, ali ono nikad nije ravno nuli što upućuje na to da se dio signala očitava s nepulpnih tkiva. Neka istraživanja navode kako i do 82% zabilježenih signala zapravo ne dolaze od pulpe, već od okolnih prokrvljenih tkiva. Zato je vrlo važno izolirati krunu zuba koji se mjeri. Izolirati se može pomoću rolica od vate, parodontne paste i koferdama kao neprozirnog, gumenog i najučinkovitijeg izolatora. No i dalje se ne mogu u potpunosti eliminirati očitavanja nepulpnog okolnog tkiva (4).

Pokazalo se da i vrsta zuba na kojem se mjeri krvni protok pulpe utječe na rezultate LDF-a. Potrebna je veća snaga laserskih zraka kod debljeg tvrdog zubnog tkiva za veće očitavanje krvnog protoka zubne pulpe. Kod mjerenja između vitalnih i nevitalnih zuba nije bilo značajnog učinka vrste zuba na rezultate LDF-a. Međutim, kod ispitivanja vitalnih zuba međusobno, uočila se razlika. Drugi premolar pokazao se kao najnepouzdanija vrsta zuba za ispitivanje i vrijednosti protoka dobivene njegovim mjerenjem bile su značajno više od onih dobivenih mjerenjem bočnog sjekutića i prvog molara koji se međusobno nisu previše razlikovali. Središnji inciziv je, s druge strane, mjerenjem dao niže vrijednosti (4). Kod mjerenja avitalnih zubi međusobno, nije bilo značajne razlike između mjerenja praznih i punjenih korijenskih kanala (12).

Protok krvne pulpe reagira na primjenu lijekova što se uočilo primjenom kapsaicina na sluznicu gingive te korištenjem antihipertenziva poput beta blokatora i nikotina (4, 14).

Na rezultate mjerenja utječe vrijeme u danu kad se mjerenje vrši te se uočava razlika do 70% u rezultatima između dvije mjerene točke u vremenu (22).

#### **4.5. Ograničenja LDF-a**

U početku su se javljale brige oko štetnog utjecaja laserskih zraka na vitalno tkivo, no ustanovilo se kako su svim medicinskim uređajima snage zraka daleko ispod maksimalno dozvoljenih granica za kliničku primjenu. Rezultate dobivene LDF-om treba pažljivo očitavati i s oprezom jer znaju biti dvosmisleni. Sljedeće ograničenje je nemogućnost očitavanja protoka krvi u apsolutnim jedinicama. Uređaj se mora kalibrirati kod mjerenja neapsolutnih jedinica čiji je volumni udio manji od 1% zbog nelinearnosti između izlaznih zraka i brzine protoka krvi (4). Kod stopostotnog povećanja izlaznih zraka, ne može se pretpostaviti da će se i protok krvi povećati jednako toliko (17). Primjerice, kod akutnog pulpitisa gdje je povećana prokrvljenost pulpe i koncentracija eritrocita je iznad 1%, povećanje protoka krvi u pulpi kao rezultat može dati smanjeni signal. LDF uređaj osjetljiv je na vanjsku buku, vibracije i na kretnje koje se događaju oko, ali i unutar njega. Osjetljiv je i na protok krvi susjednih struktura koje ga ometaju. Prisutnost mineraliziranih tkiva predstavlja veliki problem prilikom penetracije laserske zrake unutar zuba do pulpne komore u kojoj mora doseći pokretne crvene krvne stanice. Ukoliko želimo saznati protok prisutan u pojedinačnoj mikrocirkulaciji, broj žila s aktivnim protokom i promjer žile, korištenjem LDF uređaja nećemo moći dobiti odgovore. Kako LDF detektira koronalni protok krvi u pulpi, očitavanje protoka otežano je

kod ispitivanja zuba s opsežnim restauracijama i s apikalno vitalnom pulpom. Visoka cijena još je jedna od ograničenja LDF uređaja zbog koje mu je šira primjena u budućnosti malo vjerojatna. Sva ova ograničenja nisu donijela veći uspjeh LDF-a u stomatologiji, što nije slučaj u nekim drugim medicinskim granama (4).

#### **4.6. Ultrasonični flowmeter**

Ultrasonični flowmeter (UFM) još je jedan uređaj baziran na Dopplerovom efektu i razlici frekvencija emitiranih i odbijenih zraka. Prednosti koje ima u usporedbi s LDF-om su mogućnost zvučne i vizualne kontrole položaja sonde, sposobnost određivanja vrste krvne žile, sposobnost analiziranja raspodjele krvnih stanica s različitim brzinama kretanja u ispitivanom području i određivanje smjera krvnog protoka. UFM radi na principu emitiranja ultrazvučnih zraka i detektiranja reflektiranih ultrazvučnih zraka te mjeri brzinu fluida i računa volumni protok pomoću razlike u frekvencijama valnih duljina. Ultrazvuk stvara zvuk s frekvencijom većom od 20kHz, a frekvencije u medicinskom snimanju kreću se između 1 i 40 megaherca (MHz). Takve visoke frekvencije prolaze kroz krute i tekuće materijale. Svaki UFM ima sondu s dva piezoelektrična kristala od kojih jedan stvara ultrazvučni snop zraka koji ima određenu središnju frekvenciju i čiji se signal sastoji od nekoliko impulsa trajanja par mikrosekundi, a drugi detektira reflektirane zrake od tkiva. Zraka koja se odbijena i reflektirana od čestica vraća do sonde zove se echo. Sonda se aplicira na tkivo na koje je prethodno nanesen ultrazvučni gel koji omogućuje provođenje ultrazvučnih zraka. Dio zraka dopire do ciljnog tkiva, dio se reflektira makroskopskim strukturama tkiva, dio je apsorbiran, a dio raspršen od struktura tkiva manjih od akustičnih valnih duljina. Ultrazvuk omogućuje oslušivanje pulsacija u krvnim žilama. UFM metoda pokazala se vrlo učinkovitom u istraživanju prevencije i ranog liječenja parodontnih lezija. Njegove su prednosti analiza krvi ograničenog područja gingive, ispitivanje krvnog protoka pulpe, metalne konstrukcije ne predstavljaju ograničenja niti kontraindikacije za ispitivanje krvnog protoka gingive ili pulpe, moguće je otkriti protok krvi teško dostupnih područja, kratko je vrijeme potrebno od mjerenja do rezultata, prihvaćena je metoda od strane pacijenata i moguć je velik broj ponavljanja tijekom kontrolnog praćenja mikrocirkulacije. Kod UFM metode potrebno je prije mjerenja izbjegavati fizičku aktivnost, žvakanje žvakaćih guma i pušenje, pacijent bi trebao sjediti ili ležati za vrijeme procesa, temperatura sobe trebala bi biti ugodna i tijekom ponavljanih mjerenja bi uređaj trebao biti postavljen na istu poziciju. Za ispitivanje parodontnog krvnog protoka koristi se jačina od 20 do 25 MHz i dopire do 0,8 centimetara

(cm) dubine tkiva. Po zvuku i vizualnim signalima se može znati o kojoj krvnoj žili je riječ. Arterija se čuje kao puls koji konstantno raste i pada, a vene daju zvuk sličan surfanju. Dopplerogrami vizualno pomažu odrediti brzinu krvnog protoka. Najbrže kretanje eritrociti imaju u središtu krvne žile i daju tamniju boju na Dopplerogramu koja se može vidjeti na rubu krivulje udaljene od osnovne linije, dok su sporije bliže osnovnoj liniji i bliže središtu krivulje. Program daje oznaku i za smjer kojom se krv kreće pa tako '+' označava kretanje krvi prema transdudктору i iznad je osnovne linije, a '-' označava kretanje krvi od transdudktora i ispod je osnovne linije. Analizom krivulja možemo saznati linearnu i volumnu vrijednost brzine protoka krvi ispitivanog područja. Krivulja dobivena ispitivanjem mikrocirkulacije daje informacije u spektru boja bez oštrih vrhova. UFM je vrlo korisna metoda za dijagnosticiranje parodontnih bolesti, no kako daje različite informacije ispitivanog područja od LDF-a, preporuča se koristiti kombinaciju uređaja za detaljnije i točnije podatke (11).



Laser Doppler flowmeter optički je neinvazivna, objektivna, bezbolna i jednostavna metoda koja omogućuje mjerenje broja i brzine čestica koje se prenose protokom mikrocirkulacije u ljudskim tkivima. LDF otkriva protok krvi bazirajući se na Dopplerovom efektu koji predstavlja promjenu frekvencije i valne duljine emitiranih valova nastalih prilikom pomicanja eritrocita kao najvećeg udjela pokretnih čestica u mikrocirkulaciji zuba (4, 11).

Za rad LDF-a najčešće se koristi svjetlosni snop helij-neonskog lasera koji se prenosi do pulpe zuba preko optičke sonde postavljene na površinu zuba. Zrake emitiranog svjetlosnog snopa djeluju na eritrocite u pokretu i na statično tkivo krvne žile (4). Zrake se djelomično apsorbiraju, a djelomično odbiju (11). Kod zrake koja se odbije od crvenih krvnih stanica u pokretu mijenja se frekvencija i valna duljina dok se kod zrake odbijene od statičnih tkiva frekvencija i valna duljina ne mijenjaju. Sve odbijene zrake vraćaju se kroz aferetno vlakno do optičke sonde i njenih fotodetektora u kojima se stvara flux signal koji se razlikuje kod vitalnog i nevitalnog zuba (4).

LDF ima svoje indikacije u dijagnostici kod procjene vitaliteta zubne pulpe, kod testova vitaliteta zuba djece, u praćenju promjene protoka krvi zuba koje se zbiva tijekom starenja, u ispitivanju utjecaja pojačane fizičke aktivnosti na protok krvi, ispitivanju utjecaja farmakoloških tvari, praćenju odgovora pulpe na testove senzibiliteta, utjecaju ortodontske terapije i ortognatske kirurgije na protok krvi pulpe, mjerenju protoka krvi nakon traume te praćenju procesa revaskularizacije kod replantiranih zuba (4, 11). Osim kod procjene vitaliteta zuba, LDF se koristi za ispitivanje protoka krvi kože, debelog crijeva, retine, bubrežne kore, mišića, jezika, gingive, oralne sluznice, nepčane sluznice i alveolarne kosti (15, 16, 17).

Okolišni i tehnički čimbenici mogu bitno utjecati na LDF i njegovo određivanje protoka krvi. U njih ubrajamo oblik sonde, karakteristike držača sonde, izolaciju gingive, karakteristike uređaja, stupanj mineralizacije cakline i dentina, temperaturu okoliša, dob dana, položaj i opuštenost pacijenta, poziciju sonde, oscilacije u otkucajima srca, diskoloracija zuba, stres, lijekovi te promjene koje se zbivaju starenjem. Ograničenja su mu i nemogućnost očitavanja protoka krvi u apsolutnim jedinicama, učestalo kalibriranje, otežano očitavanje protoka kod ispitivanja zuba s opsežnim restauracijama i kod apikalno vitalne pulpe te visoka cijena (4).

No, uz specifične i kontrolirane uvjete, LDF je vrlo pouzdana metoda ispitivanja vitaliteta zuba uz preporuku korištenja dvije sonde radi postizanja veće preciznosti do 80 - 90% (4).

Korištenjem dvije sonde istovremeno mogu se uspoređivati susjedni ili kontralateralni zubi (17).

U svom radu LDF ne stvara bolni osjećaj koji stvaraju testovi senzibiliteta pa ga zbog toga pacijenti koji su uplašeni i uznemireni bolje prihvaćaju. Super je izbor za djecu i pacijente sa smetnjama u komunikaciji kao i kod onih kod kojih se ostali testovi nisu pokazali pouzdanima (4).

Uz LDF, postoji i ultrasonični flowmeter (UFM), još jedan uređaj baziran na Dopplerovom efektu. Njegove prednosti koje ima naspram LDF-a su mogućnost zvučne i vizualne kontrole položaja sonde, sposobnost određivanja vrste krvne žile, sposobnost analiziranja raspodjele krvnih stanica s različitim brzinama kretanja u ispitivanom području i određivanje smjera krvnog protoka (11).

Unatoč obećavajućim mogućnostima koje daju, LDF i UFM nisu zaživjeli svoj puni potencijal u stomatološkoj svakodnevnoj praksi. Mogući razlozi za to su visoka cijena, dodatna edukacija za njihovo korištenje i potreba za stvaranjem specifičnih i kontroliranih uvjeta za dobivanje što preciznijih rezultata.

## **6. ZAKLJUČAK**



Prilikom postavljanja dijagnoze za patologiju s kojom se susrećemo pri radu, potrebno je uzeti iscrpnu anamnezu, detaljno obaviti klinički pregled i analizirati cijelu rendgensku sliku te si pomoći dodatnim dijagnostičkim testovima senzibiliteta, ali i vitaliteta. Imamo brojne metode kojima se možemo poslužiti u oba slučaja. Testovi senzibiliteta približit će nam stanje živca zuba kojeg ispituujemo, a testovi vitaliteta dat će nam informacije o njegovoj opskrbi krvlju. Neovisni su jedan o drugom pa tako zub može biti denerviran, a vitalan te s druge strane pakoje živčano vlakno može biti inervirano, a zub avitalan. LDF metoda za mjerenje protoka krvi pulpe izvrsno je dijagnostičko pomagalo u raznim situacijama. Jedna od njih u kojoj je vrlo koristan je trauma. Traumatiziran zub može imati oštećena živčana vlakna duže i od osam mjeseci te davati lažno negativne rezultate na same testove senzibiliteta temelju kojih se može pogriješiti i misliti kako zub više nema opcija osim endodontski ga tretirati. LDF-om se otkrije kako je zub većinom i dalje vitalan jer mu je očuvana krvna opskrba pulpe. S vremenom se oporave živčana vlakna koja opet daju pozitivan odgovor na stimulaciju. Uz nižu cijenu i daljnju modifikaciju za olakšanu kliničku upotrebu, LDF bi mogao postati instrument primjenjiv u svakodnevnom kliničkom radu.

## **7. LITERATURA**

1. Levin LG. Pulp and periradicular testing. *J Endod.* 2013;39(3 Suppl):S13-9.
2. Gopikrishna V, Pradeep G, Venkateshbabu N. Assessment of pulp vitality: a review. *Int J Paediatr Dent.* 2009;19(1):3-15.
3. Jafarzadeh H, Abbott PV. Review of pulp sensibility tests. Part 1: general information and thermal tests. *Int Endod J.* 2010;43(9):738-62.
4. Jafarzadeh H. Laser Doppler flowmetry in endodontics: a review. *Int Endod J.* 2009;42(6):476-90.
5. Jalšovec D. Sustavna i topografska anatomija čovjeka. Zagreb: Školska knjiga; 2005.
6. Duale Reihe. Anatomija. Zagreb: Medicinska naklada; 2018.
7. Loukas M, Kinsella CR, Kapos Jr. T, Tubbs RS, Ramachandra S. Anatomical variation in arterial supply of the mandible with special regard to implant placement. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2008;37(4):367-71.
8. Abd-Elmeguid A, Yu DC. Dental pulp neurophysiology: part 1. Clinical and diagnostic implications. *J Can Dent Assoc.* 2009;75(1):55-9.
9. Abd-Elmeguid A, Yu DC. Dental pulp neurophysiology: part 2. Current diagnostic tests to assess pulp vitality. *J Can Dent Assoc.* 2009;75(2):139-43.
10. Teerijoki-Oksa T, Jääskeläinen SK, Forssell K, Virtanen A, Forsell H. An evaluation of clinical and electrophysiologic tests in nerve injury diagnosis after mandibular sagittal split osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2003;32(1):15-23.
11. Orekhova LY, Barmasheva AA. Doppler flowmetry as a tool of predictive, preventive and personalised dentistry. *EPMA J.* 2013;4(1):21.
12. 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.
13. Musselwhite JM, Klitzman B, Maixner W, Burkes Jr EJ. Laser Doppler flowmetry: a clinical test of pulpal vitality. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1997;84(4):411-9.
14. Svalestad J, Hellem S, Vaagbo G, Irgens A, Thorsen E. Reproducibility of transcutaneous oximetry and laser Doppler flowmetry in facial skin and gingival tissue. *Microvasc Res.* 2010;79(1):29-33.
15. Verdonck HWD, Meijer GJ, Kessler P, Nieman FH, Baat C, Stoelinga PJW. Assessment of bone vascularity in the anterior mandible using laser Doppler flowmetry. *Clin Oral Implants Res.* 2009;20(2):140-4.

16. Bars PL, Niagha G, Kouadio AA, Demoersman J, Roy E, Armengol V, Soueidan A. Pilot Study of Laser Doppler Measurement of Flow Variability in the Microcirculation of the Palatal Mucosa. *Biomed Res Int.* 2016;2016:5749150.
17. Roeykens H, De Moor R. The use of laser Doppler flowmetry in paediatric dentistry. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2011;12(2):85-9.
18. Brennan PA, Brands MT, Gush R, Alam P. Laser-speckle imaging to measure tissue perfusion in free flaps in oral and maxillofacial surgery: a potentially exciting and easy to use monitoring method. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2018;56(6):556-558.
19. Duwelius PJ, Schmidt AH. Assessment of bone viability in patients with osteomyelitis: preliminary clinical experience with laser Doppler flowmetry. *J Orthop Trauma.* 1992;6(3):327-32.
20. Wong K. Laser Doppler flowmetry for clinical detection of blood flow as a measure of vitality in sinus bone grafts. *Implant Dent.* 2000;9(2):133-42.
21. Roeykens HJJ, Deschepper E, De Moor RJG. Laser Doppler flowmetry: reproducibility, reliability, and diurnal blood flow variations. *Lasers Med Sci.* 2016;31(6):1083-92.
22. Roeykens HJJ, De Coster P, Jacquet W, De Moor RJG. How standard deviation contributes to the validity of a LDF signal: a cohort study of 8 years of dental trauma. *Lasers Med Sci.* 2019;34(9):1905-1916.

## **8. ŽIVOTOPIS**

Marija Strugačevac rođena je 26. studenog 1996. u Osijeku. Osnovnu školu završila je u Belišću, osnovnu glazbenu školu, u kojoj je svirala klavir, te opću gimnaziju završila je u Valpovu gdje je i maturirala 2015. godine. Tijekom srednje škole pjevala je u srednjoškolskom zboru i u crkvenom pjevačkom društvu M.I.R. s kojima je sudjelovala na raznim pjevačkim natjecanjima diljem Europe. Stomatološki fakultet u Zagrebu upisala je 2015. godine. Godine 2017. i 2018. bila je dio organizacije Simpozija studenata dentalne medicine u Zagrebu u sklopu kojega je održavala predavanje o *Protetskoj sanaciji u djece* i sudjelovala u vođenju radionice *Inicijalne terapije u parodontologiji*. Godine 2019. na Simpoziju studenata dentalne medicine u Zagrebu vodila je *iTop radionicu*. Članica je studentskog pjevačkog zbora Z(u)bor od prosinca 2018. godine. Za vrijeme studija asistirala je u privatnoj stomatološkoj poliklinici.