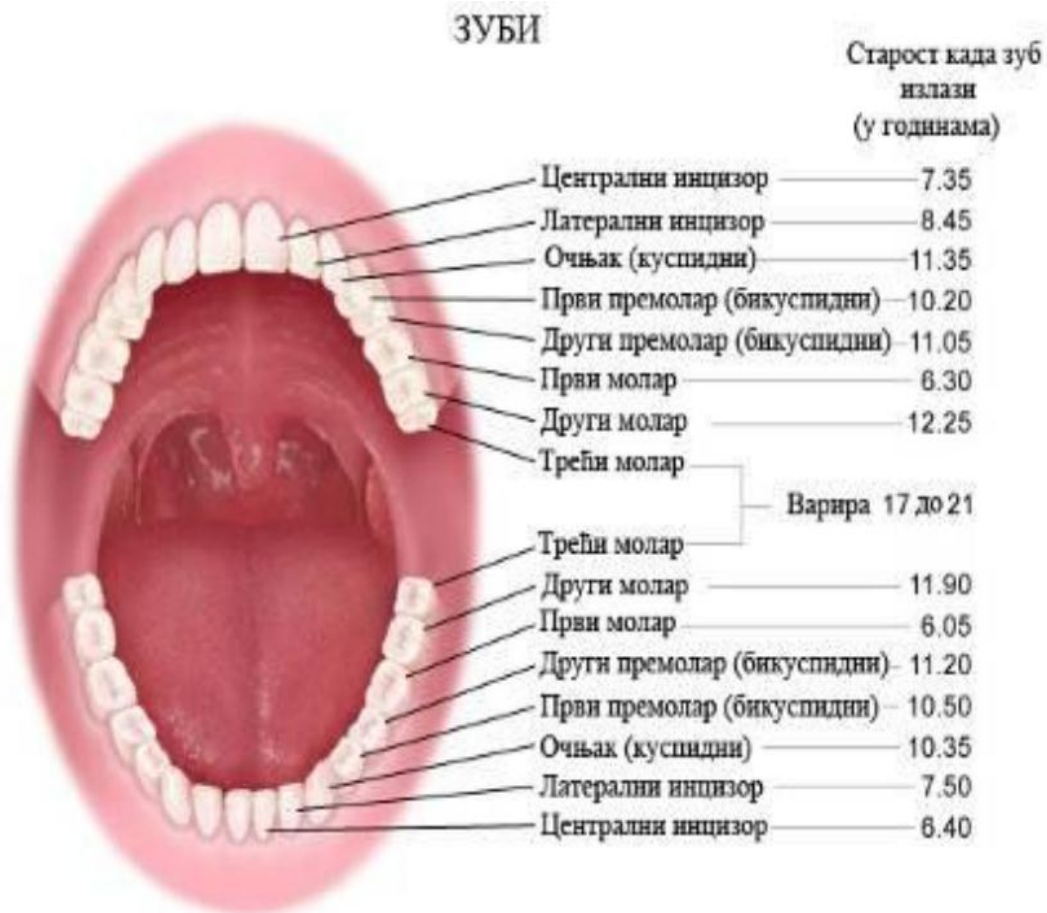


Nanostomatologija

Zubi (dentes)

Zubi (dentes) su čvrsti organi u različitim nijansama bele boje koji služe za otsecanje i žvakanje hrane, a pored toga imaju ulogu u izgovoru izvesnih suglasnika. Smešteni su u alveolama alveolarnog nastavka gornje vilice, odnosno alveolarnom delu donje vilice, i grade dva paralelna luka, gornji (arcus dentalis superior) i donji (arcus dentalis inferior).

**1.1 Podela zuba**

Zubi se dele:

- prema obliku
- prema dobu izbijanja

a) Podela zuba prema obliku

1. Sekutiće (dentes incisivi)
2. Očnjake (dentes canini)
3. Pretkutnjake (dentes premolares)
4. Kutnjake (dentes molares)

b) Podela zuba prema dobu izbijanja:

Kod čoveka zubi izbijaju dva puta (čovek je DIFIODONT -ima 2 generacije zuba) i dele se na:

1. Prve zube ili mlečne (dentes decidui s. lactei)
2. Stalne zube (dentes permanentes)

1.1.1 Mlečni zubi (dentes decidui)

Prvi ili mlečni zubi počinju izbijati kod novorođenčeta između 6-og i 8-og meseca, a njihovo izbijanje završava se krajem druge ili u trećoj godini života. Mlečnih zuba ima ukupno 20, od kojih su 8 sekutića, 4 očnjaka i 8 kutnjaka. Mlečni zubi ralikuju se od stalnih po broju, veličini, obliku i boji. Oblik mlečnih zuba odgovara obliku stalnih zuba, samo su manji i zaobljenih ivica. Mlečni zubi su sivoplave boje, što dolazi usled veće transparentije gleđi. Kod mlečnih zuba nedostaju pretkutnjaci i umnjaci, a ostali broj zuba isti je kao u odraslih osoba.

Mlečni zubi izbijaju sledećim redom: 1. Prvo izbija centralni(unutrašnji) donji sekutić (i1) između 6-og i 9-og meseca; 2. Zatim izbijaju gornji sekutići od 10-og meseca života (i1 i i2); 3. Lateralni (spoljašnji) donji sekutić (i2) između 12-og i 14-og meseca; 4. Prvi mlečni kutnjak (m1), gornji i donji, između 12-og i 15-og meseca; 5. Donji očnjak (c) od 16-og do 18-og meseca; 6. Gornji očnjak (c) između 17-og i 20-og meseca; 7. Drugi mlečni kutnjak, (m2) gornji i donji, od 20-og do 24-og meseca.

Kod mlečni zuba nedostaju pretkutnjaci i umnjaci, a broj ostalih zuba isti je kao i kod odraslih osoba.

Menjanje mlečnih zuba vrši se sledećim redom: 1. Centralni sekutići (i1) između šeste i osme godine; 2. Lateralni sekutići (i2) između osme i devete godine; 3. Prvi mlečni kutnjak (m1) između desete i jedanaeste godine; 4. Očnjaci (c) i ostali mlečni kutnjaci (m2) između desete i dvanaeste godine.

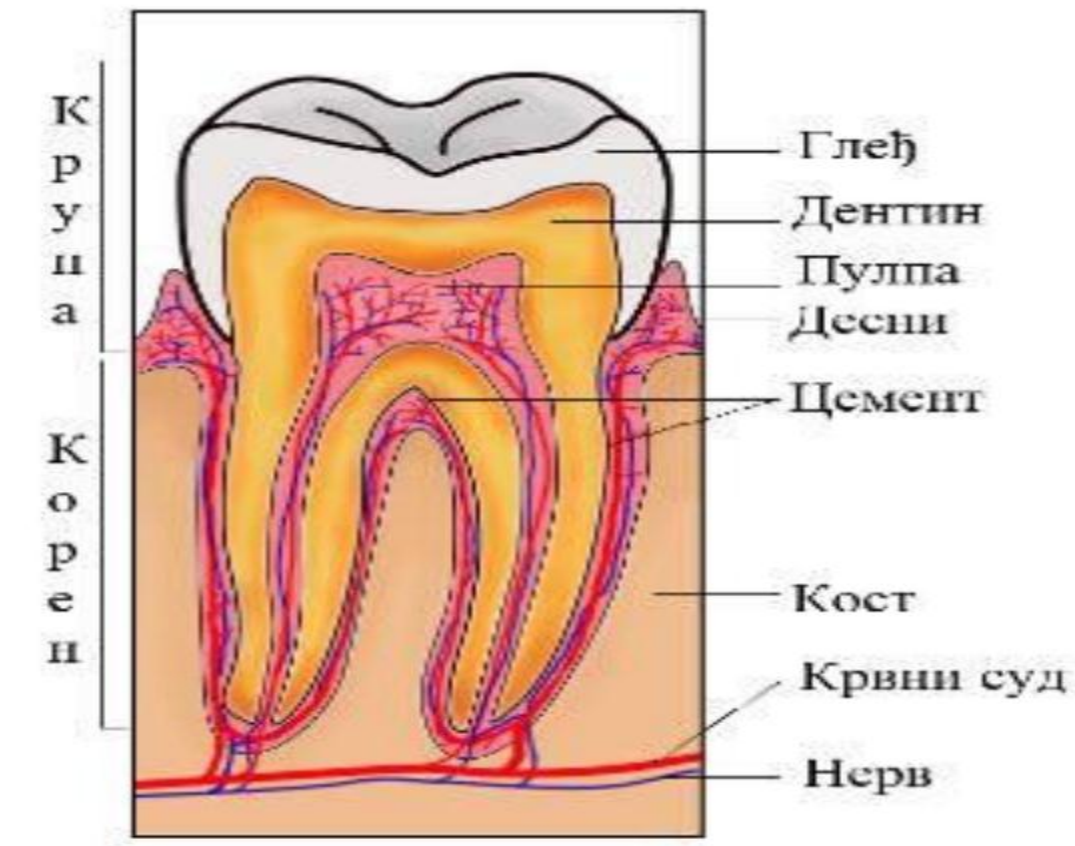
1.1.2 Stalni zubi (dentes permanentes)

Broj stalnih zuba iznosi 32: 8 sekutića (I), 4 očnjaka (C), 8 pretkutnjaka (P) i 12 kutnjaka (M).

1.2 Opšte odlike zuba

U morfološkom pogledu na svakom zubu se razlikuje:

1. Krunica zuba
2. Vrat zuba
3. Koren zuba
4. Zubna duplja ili šupljina zuba



Kruna zuba (*corona dentis*) je vidljivi prošireni deo zuba koji se nalazi iznad alveole odnosno gingive. Na njoj se mogu opisati sledeće strane: prednja strana koja je okrenuta prema vestibulumu odnosno prema usnama i obrazima i stoga se naziva vestibularna, odnosno labijalna ili bukalna strana u zavisnosti od položaja zuba; zatim zadnja strana koja je okrenuta prema usnoj šupljini odnosno nepcu jeziku pa se stoga naziva oralna ili palatinalna ili lingvalna strana u zavisnosti da li je u pitanju zub donje ili gornje vilice; zatim dve bočne ili kontaktne strane koje mogu biti mezijalna odnosno distalna strana u zavisnosti da li su bliže ili dalje od srednje linije i mastikatorna odnosno okluzalna strana koja se kod prednjih zuba naziva incizalnom ivicom.

Vrat zuba (*collum dentis*) je deo zuba koji je pod fiziološkim uslovima pokriven gingivom. On spaja krunu i koren zuba.

Koren zuba (*radix dentis*) je deo zuba koji se pod fiziološkim uslovima nalazi u zubnim jamicama ili alveolama odgovarajuće vilice. Njegov završni suženi deo koji odgovara dnu alveole naziva se vrh korena (*apex radialis dentis*) i na njemu se nalazi otvor (*foramen apicis dentis*) preko koga se ulazi u šupljinu zuba.

Broj korenova je različit za pojedine zube i iznosi: Koren sekutića je jednokrak, jednostavan i spljošten u transverzalnom smeru. Koren očnjaka je masivan, jednokrak, a vrlo retko dvokrak. Gornji očnjaci imaju duži i masivniji koren od donjih često povijen distalno. U slučaju dvokrakog očnjaka jedan koren je postavljen vestibularno a drugi oralno.

Prekutnjaci imaju obično jedan, ređe dva korena. Prvi gornji prekutnjak najčešće ima dva korena jedan postavljen palatinalno a drugi bukalni. Drugi gornji prekutnjak ima obično jedan koren nagnut distalno i oralno. Donji prekutnjaci imaju jedan koren distalno inkliniran koji je kraći u odnosu na gornje zube iste serije.

Kutnjaci imaju masivnije korenove od ostalih zuba. Gornji kutnjaci imaju obično tri korena: dva bukalna i jedan palatinalni. Palatinalni koren je najmasivniji. Donji kutnjaci imaju dva korena jedan mezijalni a drugi distalni pri čemu je jedan mezijalni koren masivniji od distalnog. Treći kutnjaci pokazuju česte varijacije kako u obliku tako i u broju svojih korenova. Treći gornji kutnjak može da ima tri korena. Najčešće su korenovi sažeti u jedan, a postoje slučajevi četiri, pet, ili šest nepravilnih korenova koji se pružaju u raznim pravcima. Treći donji kutnjak može da ima tri korena. Najčešće su korenovi sažeti u jedan, a postoje slučajevi četiri, pet, ili šest nepravilnih korenova koji se pružaju u raznim pravcima. Treći donji kutnjak se najčešće javlja sa jednim kratkim i masivnim krenom povijenim distalno.

Šupljina zuba (*cavum dentis*) se nalazi u središnjem delu zuba. Ona je proširena u kruničnom delu i nosi naziv *cavitas dentis*, a sužena u korenskom delu i označena kao *canalis radialis dentis*. Šupljinu zuba ispunjava meko tkivo nazvano pulpa dentis.

1.2.1 Sastav zuba

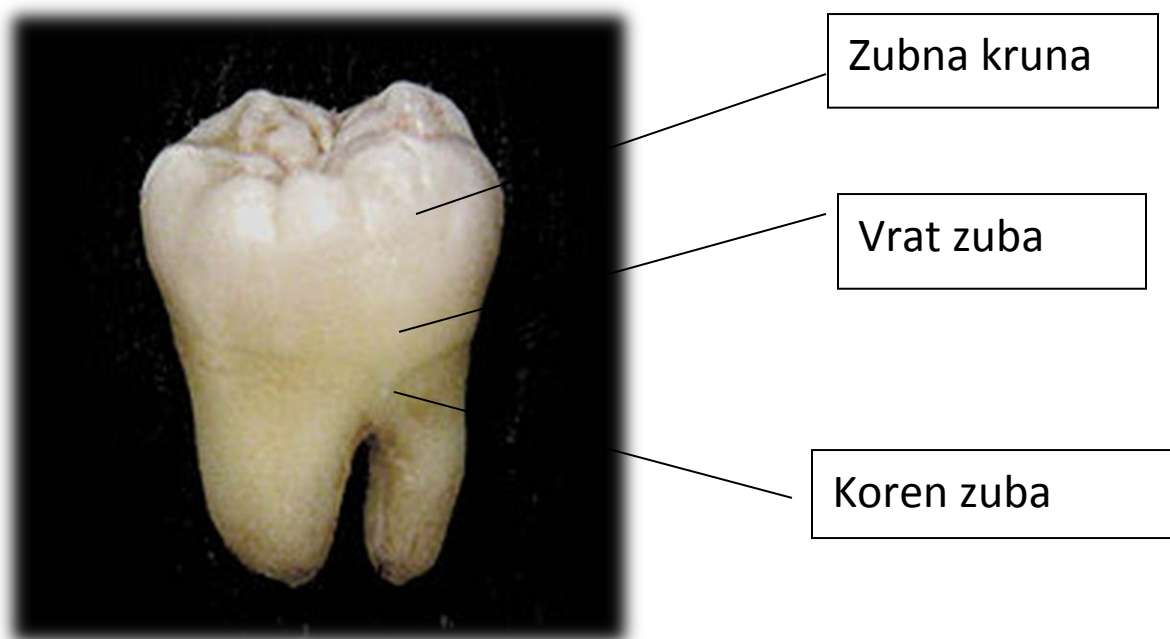
U pogledu konzistencije na zubu se razlikuju dve vrste tkiva: čvrsta tkiva, dentin, cement i gleđ koji izgrađuju spoljašnji deo zuba i daju konfiguraciju zuba i meka tkiva koja ispunjavaju šupljinu zuba i zajedno čine pulpu zuba.

Dentin (dentinum, s. substantia eburnea) je osnovna gradivna supstanca zuba koja ograničava šupljinu zuba. Kroz dentin se radialno pružaju sitni dentinski kanalići koji se slepo završavaju u blizini glednodentinske granice zuba. Oni sadrže Tomesova vlakna koja predstavljaju protoplazmatične produžetke formativnih ćelija dentina - odontoblasta.

Gleđ (enamelum, s. substantia adamantina) je najtvrdje zubno tkivo koje pokriva dentin koronarnog dela zuba. Gleđ je izgrađena od poligonalnih gleđnih prizmi koje su povezane inteprizmatičnom organskom materijom. Intaktnu gleđ pokriva vrlo tvrda i otporna opna nazvana cuticula dentis.

Cement (cementum, s.substantia osea) je najmekše čvrsto zubno tkivo, koje po svojim osobinama najviše podseća na koštano tkivo. Cement pokriva dentin radikularnog(korenskog) dela zuba i služi kao osnova za pripajanje periodontalnim vlaknima. Na njegovoj površini se nalaze cementoblasti kao formativne ćelije.

Zubna pulpa (pulpa dentis) je pihtijasta ružičasta masa koja ispunjava šupljinu zuba. U topografskom smislu se deli na deo koji se nalazi u kruničnom delu (pulpa koronaris) i na deo koji ispunjava radikularni kanal (pulpa radicularis). Sastoji se od rastresitog vezivnog tkiva koje sadrži različite vezivne ćelije i vlakna, zatim krvne sudove, živce, i specifične ćelije koje su predstavljene odontoblastima. Odontoblasti su raspoređeni po periferiji pulpe uz dentin zuba koga permanentno stvaraju. Arterijski krvni sudovi pulpe ulaze preko vrha korena zuba i u pulpi se rasipaju na mrežu kapilara čiji se ogranci međusobno ne anastomoziraju(povezuju). Nervna vlakna pulpe nastaju od odgovarajućih zubnih grana (rami dentales) koje se izdvajaju od gornjeg, odnosno donjeg zubnog spleta (plexus dentalis superior et inferior). Pošto prođu kroz otvore na vrhu korena ulaze u pulpu gde gube mijelinski omotač. Smatra se da deo ovih amijelinskih vlakana zalazi u dentinske kanaliće što rezultira senzibilitetom dentina. Limfni sudovi zuba nisu dovoljno proučeni. Smatra se da pulpa ima slabu limfnu drenažu i da se resorpcija eksudata uglavnom obavlja preko venskih sudova.



1.3 Posebne odlike zuba

1.3.1 Sekutići (dentes incisivi)

Sekutića ima ukupno osam, i to; četiri u gornjoj i četiri u donjoj vilici. Bliži srednjoj liniji zovu se centralni, spoljašnji se zovu drugi ili lateralni. Kruna sekutića ima oblik dleta. Labijalna strana krune je ispupčena, dok je lingvalna strana izdubljena ili ravna, sem u blizini vrata gde se uzdiže u sekutićnu kvrgu (tuberculum coronae dentis). Kontaktne strane krune, mezijalna i distalna, uzane su i trouglaste.

Gornji sekutići se razlikuju od donjih. Centralni gornji sekutić znatno je veći od lateralnog gornjeg sekutića dok je kod donjih sekutića razvijeniji lateralni sekutić. Sečivna ivica gornjih sekutića odsečena je na račun zadnje strane krunice, a kod donjih obrnuto. Koren je jednostavan i retko u blizini vrha rastavljen na dva dela. Vrh korena je savijen, sem kod donjeg centralnog sekutića gde je obično prav.

1.3.2 Očnjaci (dentes canini)

Očnjak je treći zub, idući od medijalne linije. Ukupan broj očnjaka je četiri, i to: dva u gornjoj i dva u donjoj vilici, a smešteni su između drugog sekutića i prvog pretkutnjaka. Očnjaci su najduži od svih zuba. Krunica očnjaka ima oblik četvorostrane piramide, čiji je vrh orijentisan prema slobodnoj ivici krunice. Sečivna ivica je u obliku tupog ugla. Na njoj se nalazi kvržica, koja očnjak morfološki odvaja od sekutića, a približava ga prekutnjacima.

Facies labialis je konveksna, naročito u poprečnom smislu, i na njoj se vidi prednji zaobljeni uzdužni greben očnjaka, koji se pruža sredinom cele prednje strane krunice od njene baze do sečivne ivice. Ovaj greben labijalnu stranu deli na dva dela, od kojih je medijalni (unutrašnji) u ravni sekutića, a distalni (spoljašnji) u ravni prekutnjaka. Facies lingualis je konkavna, a tuberculum dentae je dobro razvijen. Bočne strane su trouglaste sa vrhom na sečivnoj ivici. Koren je jedan, veoma masivan, spljošten poprečno i prilično dugačak, naročito kod gornjih očnjaka.

1.3.3 Pretkutnjaci (dentes premolares)

Pretkutnjaci nedostaju kod mlečnih zuba. Ima ih osam u stalnoj denticiji, po četiri u svakoj vilici. Raspoređeni su po dva sa obe strane gornje i donje vilice između očnjaka i prvog kutnjaka. Mezijalni je označen kao prvi (P1), a distalni kao drugi pretkutnjak (P2). Na mastikatornoj (griznoj) strani njihove krunice nalaze se dve kvрге (tubercula coronae dentis) spoljašnja i unutrašnja. Veća je spoljašnja prema obrazu, a manja unutrašnja prema jeziku. One su odvojene žlebićem. Na prednjoj i zadnjoj ivici kvržice su međusobno spojene i čine ivični greben. Spoljašnja strana kvržice (facies lingualis) je ispupčena. Unutrašnja ili jezična strana (facies lingualis) je valjkasta i jako ispupčena. Dodirne strane (facies contactus) su u obliku

pravougaonika i malo konveksne. Koren je jednostavan ali je kod gornjeg prvog prekutnjaka često rastavljen na dva, a retko na tri kraka. Vrh korena je prav. Kanal korena zuba je često podeljen na dva kraka. Kod gornjeg prvog prekutnjaka koreni kanala, kao i koren, deli se na dva kraka, zbog čega je lečenje ovih zuba oteženo.

1.3.4 Kutnjaci (dentes molares)

Kutnjaci(dentes molares) (M) su najmasivniji zubi. Ukupan broj kutnjaka je 12, po 6 u svakoj vilici, odnosno po tri na zadnjem kraju svakog zubnog luka. Na mastikatornoj strani imaju veći broj kvržica u odnosu na premolare. Prednji kutnjak, koji se nalazi iza drugog prekutnjaka (P2), zove se prvi kutnjak(M1). Srednji se naziva drugi kutnjak (M2), a zadnji treći kutnjak (M3). Mastikatorna strana kutnjaka je veća od mastikatorne strane prekutnjaka. Romboidna je kod gornjih, a u obliku kvadrata kod donjih kutnjaka. Na njoj ima 3 do 5 kvržica (tubercula dentis). Kvržice su međusobno odvojene žlebovima. Kod gornjih kutnjaka žlebovi su u obliku slova N, dok su kod donjih u obliku krsta (+). Obrazna strana krunice je ispupčena i nagnuta upolje i sa korenom čini tup ugao. Jezična strana krunice je jako ispupčena. Dodirne stranice su ravne i malo konveksne.

1.3.5 Zubni lukovi

Zubi su usađeni jedan pored drugog u alveolarni nastavak gornje odnosno donje vilice i obrazuju odgovarajući zubni luk (arcus dentalis). Gornji zubni luk (arcus dentalis superior) ima oblik poluelipse, a donji zubni luk (arcus dentalis inferior) je oblika parabole. Pri zatvorenim ustima gornji i donji zubni luk stiču određeni odnos, koji se naziva okluzija. Kod normalne okluzije prednji deo gornjeg zubnog luka pokriva napred odgovarajući deo donjeg zubnog luka, a ligvalne kvržice kruna gornjih prekutnjaka upadaju u žleb između kvržica antagonista u donjoj vilici.

Primena nanotehnologije u stomatologiji

Uvod

Danas aplikaciju nanotehnologije u stomatologiji treba prevashodno tražiti u razvoju novih nanostrukturiranih materijala za primenu u restaurativnoj stomatologiji, upotrebi različitih nanostrukture za inkapsulaciju aktivnih supstanci i njihovo ciljano dostavljanje, korišćenju nanočestica kao abraziva u pastama za poliranje i sl. Za ovakve namene na tržištu se već može naći priličan broj komercijalnih proizvoda.

Prvi deo biće posvećen razmatranjima o različitim opcijama korišćenja nanotehnologija u stomatologiji, uzimajući u obzir i neke, za sada, čisto teorijske mogućnosti. U drugom delu biće dat pregled postojećih proizvoda, baziranih na nanotehnologijama, koji su dostupni na tržištu.

Nanodijagnostika – podrazumeva primenu različitih nano-naprava za ranu detekciju i identifikaciju oboljenja ili predispozicija za oboljevanje na ćelijskom i molekularnom nivou. Kad je u pitanju *in vitro* dijagnostika, nanomedicina bi mogla da obezbedi povećanu efikasnost i pouzdanost dijagnostičkih metoda na uzorcima telesnih fluida ili tkiva, korišćenjem visoko - selektivnih nanostrukture u cilju višestrukih analiza na subcelularnom nivou i sl.. *In vivo* dijagnostičke metode sa stanovišta nanomedicine bi podrazumevale razvoj nano-naprava koje bi imale mogućnost delovanja u samom telu u cilju rane detekcije i identifikacije bolesti, identifikacije i kvantifikacije prisustva toksina na molekularnom nivou, prepoznavanja ćelija tumora itd.

Lokalna anestezija – U eri razvijene nano-stomatologije suspenzije koje sadrže milione aktivnih analgetskih dentalnih nano-roboti biće ukapavane na gingivu pacijenta. Nakon kontakta sa površinom sluzokože, autonomno pokretni roboti dolaze do zubne pulpe kroz gingivalni sulkus, lamina propria-u i dentinske tubule (Haversovi kanalići). Nakon što se instaliraju u zubnoj pulpi, ovim robotima se može komandovati da desenzibilizuju bilo koji zub na kome je predviđeno da se izvrši zahvat. Nakon izvršenog zahvata, stomatolog zadaje komandu robotima da povrate prvobitnu osetljivost zuba, tj. da omoguće normalanu funkciju nervnih puteva te da napuste zub putanjama sličnim onima kojima su u njega i dospeli.

Rešenje za hipersenzitivnost zuba – Dentinska hipersenzitivnost može biti prouzrokovana promenama pritiska koje se hidrodinamičkim putem prenose kroz pulpu (Brannstromova hidrodinamička teorija). Ovo se objašnjava činjenicom da hipersenzitivni zubi imaju oko osam puta veću gustinu dentinskih tubula po zapremini, pri čemu ove imaju i oko dva puta veći prečnik, nego što je to slučaj kod normalnog zuba. Dentalni nanoroboti bi mogli sa velikom preciznošću i selektivnošću da izvrše okluziju odabranih tubula u roku od par minuta, koristeći pri tom nativne biološke materijale, obezbeđujući time brzo i trajno izlečenje .

Nanoroboti za održavanje oralne higijene – Ovakvi nanoroboti bi se aplicirali u formi zubnih pasta ili vodica. Smeštali bi se u subokluzalnim prostorima i bili bi u mogućnosti da patroliraju po svim supragingivalnim i subgingivalnim površinama, barem jednom dnevno, pri čemu bi metabolisali zaostalu hranu i vršili skidanje zubnog kamena.

Povećanje izdržljivosti zuba i poboljšanje njihovog izgleda – Izdržljivost i izgled zuba mogli bi se poboljšati zamenom gornjih slojeva gleđi kovalentno vezanim veštačkim materijalima kao što su safir ili dijamant, koji imaju tvrdoću i čvrstoću 20-100 puta veću od prirodne gleđi ili savremenih keramičkih obloga, kao i dobru biokompatibilnost. Problem krтости dijamanta ili safira mogao bi da se prevaziđe stvaranjem nanostrukturnog kompozita koji bi verovatno sadržao i ugljenične nanocevice. Nanotehnologija je višestruko unapredila svojstva različitih vlakana .Polimerska nanovlakna, prečnika u nanometarskom opsegu, imaju veću površinu po jedinici mase i omogućavaju lakšu funkcionalizaciju svojih površina u poređenju sa polimerskim

mikrovlaknima. Materijali od polimernih nanovlakana se već uveliko proučavaju u kontekstu sistema za ciljano dostavljanje lekova, kao matrice za inženjering tkiva, materijal za izradu filtera itd. Ugljenična nanovlakna su pokazala selektivno povećanje adhezije za osteoblaste, zahvaljujući povećanoj hrapavosti svoje površine, što je uz njihovu dobru biokompatibilnost preduslov za njihovu uspešnu primenu u materijalima za dentalne implantate. Nanofileri, integrisani u vinil siloksane, daju jedinstvene materijale otiske. Ovi materijali imaju bolju tečljivost i poboljšanja hidrofилna svojstva, što obezbeđuje manje šupljina pri ivicama te lakše izlivanje modela, poboljšanju preciznost u izradi detalja itd.

Ortodoncija – Ortodontski nanoroboti bi mogli da manipulišu direktno sa parodontalnim tkivom, omogućavajući brzu i bezbolnu repoziciju zuba u toku vremenskog perioda od nekoliko minuta do nekoliko časova.

Fotosenzitivni nosioci aktivnih supstanci – Kvantne tačke bi mogle da budu korišćene kao fotosenzitivni nosioci različitih aktivnih supstanci. Moglo bi se recimo obezbediti da se vezuju za antitela na površini ciljanih ćelija i da nakon stimulacije UV svetlom izazovu otpuštanje visoko reaktivnih oksidanata čime bi se te ćelije uništavale .

Nanoinkapsulacija – Na SWRI (Sout West Researsch Institute) razvijeni su sistemi za ciljano dostavljanje i otpuštanje aktivnih materija koji se baziraju na nanokapsulama. Ovi sistemi omogućavaju vakcinaciju, tretman antibioticima ili dostavljanje nekih drugih aktivnih supstanci uz smanjenje pojavu neželjenih efekata. Danas su već, između ostalog, razvijeni sistemi za ciljano dostavljanje lekova ili gena do ćelija jetre (Univerzitet u Osaki, Japan, 2003). Inženjeringom su proizvedene šuplje nanočestice, formirane iz omotača virusa hepatitisa B, na kome se nalazi peptidni lanac koji obezbeđuje prodor virusa specifično u ćelije ljudske jetre. U budućnosti bi mogle da budu proizvedene nanočestice koje bi ciljale oralna tkiva, uključujući i ćelije parodonticijuma [Yamada *et al.* 2003].

Nanokompoziti – Sveukupne performanse kompozitnih restauracija su se tokom poslednje dve decenije konstantno poboljšavale, kako su ove napredovale ka korišćenju nanofilera. Glavni pokretači ove konstantne evolucije kompozitnih restauracija jesu brojni problemi za koje moderni materijali moraju da daju adekvatna rešenja: skupljanje pri fotopolimerizaciji, odgovarajuća pouzdanost, mikrotvrdoća i otpornost na habanje naročito kod restauracija u posteriornoj okluzalnoj regiji. Danas su u upotrebi i izuzetno mali nanoklasteri, 2 – 20 nm, kao fileri za kompozitne restauracije. Praktična svrha ovog smanjivanja čestica filera do nano razmera objašnjena je u radu dr Mitra i kolega u kontekstu kritičnih dužina, odn. graničnih dimenzija koje postoje za svaku fizičku veličinu. Stvaranjem čestica dimenzija manjih od ovih kritičnih dužina različite osobine materijala (npr. optička svojstva koja potencijalno utiču na estetske osobine materijala) mogu se modifikovati u željenom smeru.

Nanotehnologija je redefinisala i način na koji se nove nanočestice filera proizvode. Tradicionalno su se čestice filera dobijale usitnjavanjem većih komada kvarca, stakla ili keramike mlevenjem, brušenjem i sl. Ovakvim postupcima ne mogu se efikasno proizvoditi čestice prečnika manjih od 100 nm. Umesto toga koristi se “bottom-up” pristup, odn. čestice se sintetišu u hemijskom procesu [25].

Dve skorašnje *in vitro* studije pružile su inerasantan uvid u mogućnosti primene nanovlakana i nanokristala. Nanofibrilarni kristali silikata mogu se koristiti bilo samostalno, bilo u kombinaciji sa nanovlaknima, u cilju ojačanja bis-GMA/TEGDMA baziranih nanokompozita. Obe studije su pokazale da dodavanje ovakvih nanostrukture, u malim količinama (do praga delotvornosti), dovodi do poboljšanja mehaničkih svojstava eksperimentalnih kompozita.

Izuzetno aktivno polje istraživanja, u okviru primene nanostrukture u stomatologiji, jeste optimalno oslobađanje molekula koji potpomažu remineralizaciju zubnih struktura i/ili sprečavaju razvoj karijesa. Veliki deo ovih istraživanja se odnosi na primenu naočestica u sponi sa kompozitnim restauracijama.

U nedavno objavljenj studiji, Xu i kolege, su dali podatke dobijene *in vitro* ispitivanjem, koji pokazuju da je savojna čvrstoća nanokompozita (110 ± 11 Mpa), koji sadrži nanočestice koje oslobađaju fluor (F), na nivou komercijalnih kompozita za restauracije (108 ± 19 Mpa), koji nemaju svojstvo oslobađanja fluora. Ovaj materijal sadrži nove CaF_2 nanočestice u organskoj smolastoj matrici ojačanoj kristalnim filamentima i pokazano je da obezbeđuje oslobađanje fluora u količinama koje premašuju one kod konvencionalnih i smolom modifikovanih glassionomera. Upotreba ovakvih kompozita bi omogućila, ranije neostvarivu, kombinaciju čvrstoće hibridnog kompozita i sposobnosti oslobađanja fluora kao kod smolom modifikovanih glassionomera, koji nisu prikladni za opterećenije okluzalne restauracije. Već izvesno vreme je poznato da ojačavanje kompozita kristalnim filamentima smanjuje njihovu krtost i povećava čvrstinu u odnosu na konvencionalne kompozite. Uvođenje ovih kompozita u kombinaciji sa nanočesticama, kao u opisanoj studiji, dovelo bi do smanjenja broja lomova restauracija kao i pojave sekundarnog karijesa.

U sličnom smeru, pomenuti Xu i kolege izvršili su i nekoliko istraživanja u kojima je proučavan uticaj dodavanja CaPO_4 nanočestica u kompozite za restauraciju, što je rezultovalo poboljšanjem njihovih mehaničkih karakteristika uz sposobnost oslobađanja jona koji deluju inhibitorski na razvoj karijesa. U daljem razvoju ovog modela korišćen je kalcijumhidrogen – fosfat (DCPA) združen sa silicijumskim nanofibrilama. Pokazano je da ova kombinacija povećava čvrstoću restauracijskog kompozita čak tri puta u odnosu na konvencionalne, pri čemu ovakav kompozit ima i sposobnost otpuštanja CaPO_4 . Otpuštanje CaPO_4 se povećava sa smanjivanjem dimenzija nanočesica CaPO_4 . Autori su izneli hipotezu da bi upotreba ovakvih kompozita obezbedila poželjan spoj povećane čvrstoće restauracija i prevencije karijesa.

Aktuelno je i izučavanje HA i fluorapatit biokeramičkih nanovlakana, pri čemu se koristi otkriće da se rastvorljivost ovakvih nanostrukture može regulisati tako da se dobije efektivno oslobađanje jona fluora iz fluorhidroksiapatita. U kontekstu kompozitnih restauracija, ova činjenica bi se mogla koristiti u prevenciji karijesa.

Biomimetički restaurativni biomaterijali – Verovatno najprimamljivije spekulacije, kad je u pitanju budućnost restauracije zubnih struktura, jesu one koje se tiču korišćenja nanotehnologije u cilju oponašanja prirodnih procesa (biomimetika). U poslednjih nekoliko godina intenzivno se vrše istraživanja koja za cilj upravo imaju proučavanje i replikaciju procesa prirodnog formiranja zubne gleđi.

Centralni problem u ovim istraživanjima jeste iznalaženje načina da se oponaša način na koji priroda već efikasno “koristi” nanotehnologiju za sintezu nanosfera amelogenina, molekularnim samoudruživanjem, te njihovu kooperativnu interakciju u cilju usmerenog orijentisanja kristala hidroksiapatita koji formiraju čvrstu mineralnu fazu zubne gleđi. Proučavanje različitih tipova amelogenina i rad na rasvetljavanju njihovih mnogostrukih uloga koje imaju u procesima formiranja gleđi na nano nivou, traje od ranih 90-ih i radova Fincham-a, Moradian-Oldak-a i kolega, pa do kasnijih radova Moradian-Oldak-a *et al.*

Skorašnja *in vitro* studija Wang-a *et al.* dala je dalja razjašnjenja mehanizama interakcije između amelogeninskih nanosfera, nanočestica i nanošipki u kritičnim trenucima tokom procesa rasta HA kristala.

Brookes *et al.* su, proučavajući *in vivo* formiranje gleđi kod pacova, došli do zaključka da su nanosfere amelogenina osnovna jedinica građe u tom procesu. Izlučivanje i samoorganizovanje monomernih subjedinica rezultuju formiranjem nanosfera koje sadrže amelogenine u punoj dužini. Verovatno da se samoorganizovanje nanosfera odvija intracelularno, kao prekursora za sekreciju glednog matriksa. Chen i kolege su uspešno izveli formiranje prizmatičnih struktura, nalik onima kod gleđi, kroz samoorganizaciju sintetisanih i modifikovanih nanošipki.

Du i kolege su uočili pravilnost kod samoorganizacije nanosfera amelogenina u mikrotrake, na osnovu čega su izneli hipotezu da amelogenini imaju ključnu ulogu u usmeravanju i uređenju rasta kristala apatita.

Dakle čini se da je ključna uloga različitih nanostrukture inherentna prirodnom procesu formiranja gleđi. Pomenuta istraživanja nagoveštavaju da načini samoorganizacije nanostrukture u prirodnim procesima nalikuju onima opaženim u laboratorijskim uslovima. Sledeći logičan korak u ovom istraživačkom procesu bio bi razvoj restauracija, koje bi uspešno nadomestile oštećene zubne strukture, a oponašanjem upotrebe nanotehnologije na način na koji to “priroda čini”.

Pregled postojećih proizvoda i tehnologija, baziranih na nanotehnologijama, koji su dostupni na tržištu

Proizvod: Nanokompozit

Nanoproducts Corporation uspešno proizvodi neaglomerisane pojedinačne nanočestice. Homogenom distribucijom ovih čestica, kao punioca, u organskim matricama dobijaju se nanokompoziti. U pitanju su nanočestice aluminosilikata, prosečnog prečnika oko 80 nm, sa odnosom aluminijuma i silicijuma 1:4 M i sa refraktivnim indeksom 1.508.

Prednosti:

- Superiorna tvrdoća i čvrstoća u odnosu na kompozite sa mikropuniocima;
- Superiorne optičke i estetske karakteristike;
- Visok sjaj i dugotrajno zadržavanje sjaja nakon poliranja ;
- Upola smanjeno naknadno skupljanje materijala za ispune;
- Olakšano rukovanje i obrada;

Ove karakteristike čine nanokompozite boljim izborom od konvencionalnih kompozita. Uz navedeno, nanokompoziti se i daleko bolje vezuju za zubno tkivo.

Proizvod: Nanorastvori

Nanosolutions proizvode jedinstvene disperzibilne nanočestice, koje se mogu dodavati različitim razređivačima, bojama i polimerima u kojima se homogeno disperguju.

Adper™ Scotchbond 1 XT adheziv (“bond”) sadrži 10%, težinskog udela, sferičnih silikonskih nanočestica, prosečnog prečnika 5 nm, dodatih u postupku kojim se sprečava aglomeracija. Zahvaljujući svojoj maloj veličini ove čestice ostaju dispergovane u koloidnoj suspenziji .

Prednosti:

- Povećana snaga veze sa dentinom i bolje performanse u odnosu na konvencionalne adhezive.
- Nije neophodno protresti bočicu pre aplikacije, sa obzirom na to da su nanočestice stabilne u koloidnoj suspenziji, tj. ne aglomerišu niti se talože na dnu za razliku od čestica konvencionalnih filera.

Kad su u pitanju stomatološki adhezivi, popularno bondovi, primena nanotehnologije osigurava homogenost suspenzije u svakom momentu, te stomatolog može uvek računati na to da je adheziv perfektno izmešan.

Proizvod: Materijali za otiske

Danas su dostupni i materijali za otiske u kojima je primenjena nanotehnologija. Nanofileri integrisani u vinil siloksane daju napredne verzije ovih materijala.

Prednosti:

- Bolja tečljivost;
- Poboljšana hidrofilna svojstva, čime se obezbeđuje smanjenje šupljina pri rubovima i lakše izlivanje modela;
- Preciznija izrada detalja.

Proizvod: Biomaterijali za tretman defekata koštanog tkiva

Nanočestice hidroksiapatita imaju izuzetan potencijal za primenu u različitim biomaterijalima. Hidroksiapatit obezbeđuje visoku biokompatibilnost, sa obzirom na to da i same kosti predstavljaju praktično kompozit hidroksiapatita i kolagena. Materijali kao što je HAPEX™ (kompozit hidroksiapatita u polietilenu visoke gustine) toliko verno oponašaju kost, da prirodno okolno koštano tkivo bez problema urasta u implant . Takođe je dokazano da nanokristali hidroksiapatita znatno ubrzavaju rast ćelija osteoblasta . Na tržištu se mogu naći i paste za zube, sa nanočesticama hidroksiapatita koje potpomažu remineralizaciju oštećene gleđi (Apagard linija zubnih pasti, Sanci Co, Ltd., Japan).

Proizvođači nanočestica hidroksiapatita i trgovački nazivi njihovih proizvoda:

- Ostim®; Osartis GmbH, Germany, HA;
- VITOSS®; Orthovita, Inc., USA, HA+TCP;
- NanOss™; Angstrom Medica, USA, HA;
- nanoXIM•Hap; FLUIDINOVA, ENGENHARIA DE FLUIDOS, SA, HA
- Hydroxyapatite nanoparticles, dispersion, 10 wt. in H₂O, <200 nm (TEM); Sigma-Aldrich®, USA, HA.

Proizvod: Nanoxyd®

Nanoxyd®, patentirana tehnologija švajcarske kompanije Swissdent, nanočestice kalcijum peroksida, pomenuta kompanija koristi kao aktivni sastojak u svojim pastama za izbeljivanje zuba. Zahvaljujući izuzetno malim dimenzijama, ove nanočestice kalcijum peroksida dospevaju i do najmanjih šupljina i otvora, obezbeđujući tako veću efikasnost ovih pasti u odnosu na konvencionalne proizvode. Blagodareći nanotehnologiji paste ovog proizvođača sadrže izuzetno

male količine aktivne supstance (0,1 %), čime je obezbeđeno njihovo blago, ali efektivno delovanje, pa ih je moguće koristiti i kod osoba koje pate od preosetljivosti zuba.

Primena optomagnetne spektroskopije u stomatološkoj dijagnostici -Zubi-

Konvencionalne metode za ispitivanje i karakterizaciju tkiva koja ulaze u sastav zuba su u sadašnjem trenutku prevaziđene. OSNOVNI CILJ JE da se razvije metod i osvoji tehnologija koja će biti neinvazivna i koja će omogućiti veću preciznost i brzinu dijagnostikovanja stanja zubnog tkiva uz maksimalnu udobnost po pacijenta i minimalnu grešku od strane stomatologa

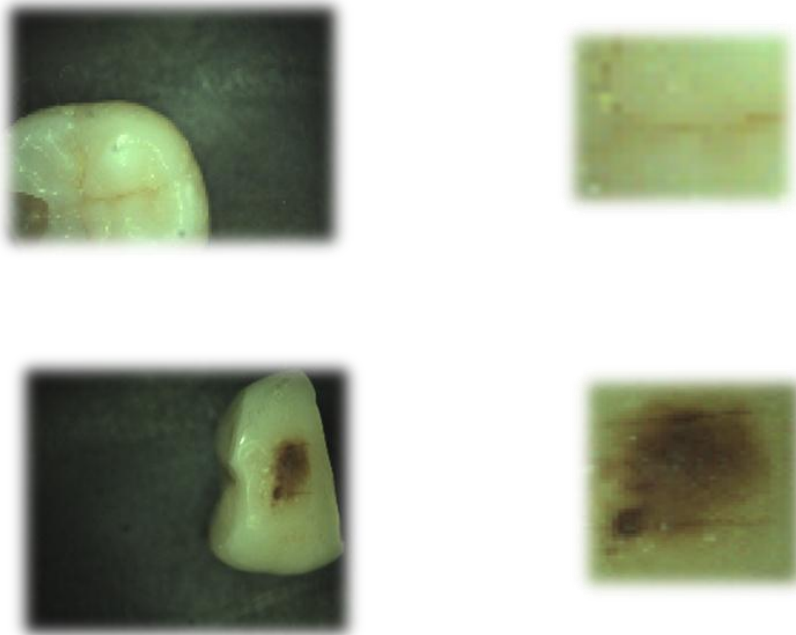
OMS, kao metoda karakterizacije bioloških materijala, zahvaljujući magnetnoj komponenti svetlosti, omogućava uvid u kvantno stanje materije. Bitno je naglasiti da je OMS kvalitativna, a ne kvantitativna metoda, koja se koristi za karakterizaciju površinskih struktura tkiva i materijala. OMS je u dosadašnjim istraživanjima u laboratoriji NanoLab, Mašinskog fakulteta u Beogradu, pokazala visoku specifičnost. Upotrebom ove metode na različitim uzorcima tkiva moguće je utvrditi dinamiku para- i dijamagnetizma. Uređaj je na bazi optomagnetizma i sastoji se od jedne kamere i određenog broja LED dioda koje emituju 4 svetlosti: plavu, ultraljubičastu, belu i belu pod Brusterovim uglom (od koje će nastati reflektovana polarizovana svetlost).



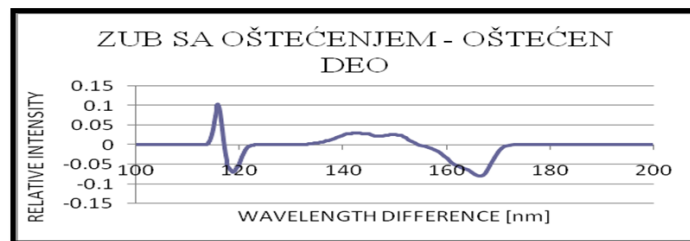
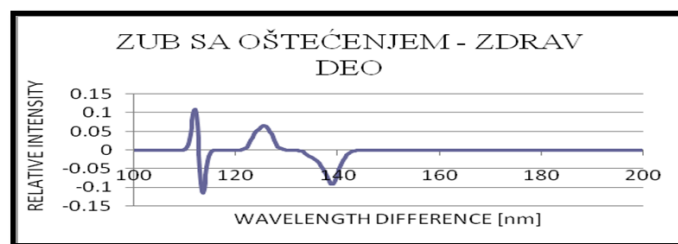
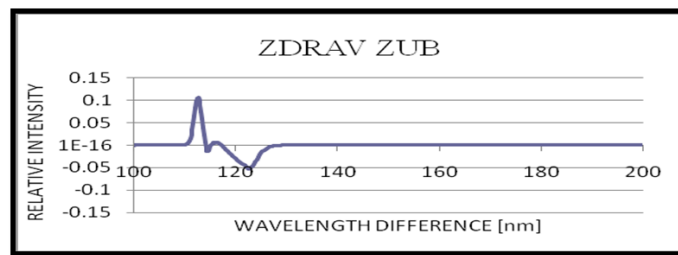
„Aladin“, aparat na bazi optomagnetizma (MySkin Inc.)

Posebna kamera snima polje prečnika 25mm sa rastojanja od nekoliko cm u plavoj, ultraljubičastoj, (fiziološki) beloj i polarizovanoj (fiziološki) beloj svetlosti. Za snimanja u stomatologiji, potrebna je samo bela i polarizovana svetlost. Preko USB kabla se poveže sa kompjuterom i odmah može da se slika. Poželjno je napraviti što više fotografija, kako bi dijagnoza bila što preciznija. Digitalna slika snima se standardnom digitalnom kamerom koja koristi specijalno konstruisan dodatak ispred objekta sa sistemom dioda koje ostvaruju željeno osvetljenje. Prečnik vidnog polja može biti po želji, ali trenutno je realizovano jedno rešenje sa 25 mm. Digitalna fotografija uzorka predstavlja krug prečnika 25 mm. Zumiranjem može da se smanji vidno polje na samo trećinu, a ako se želi ispitivanje pojedinog dela, onda se „kropuje“ odn. iseče deo slike i obradi u „Photoshop“-u.

Zdrav zub snimljen optomagnetonom metodom uz pomoć bele svetlosti i isečen deo za dijagrame



Zub sa karijesom snimljen optomagnetonom metodom uz pomoć bele svetlosti i isečen deo za dijagrame



Početak dijagrama je približno jednak kod sva tri dijagrama. Razlika u talasnim dužinama je veća kod bolesnog zuba, nego kod zdravog. Srednja vrednost maksimalnog intenziteta je najveća kod zdravog dela oštećenog zuba 0.11064133, a srednja vrednost minimalnog intenziteta je najmanja kod zdravog zuba - 0.0549566. Ispostavilo se detaljnom analizom algoritmom razvijenih drugih dijagrama da upravo odgovor na pitanje o razlici zdravog i bolesnog zuba sadrže amplitude polarizovane (i nepolarizovane) svetlosti i položaj maksimuma, odn. minimuma u konvolucionim dijagramima.

Prednost uređaja :

otkriva početak nastanka karijesa, mesta demineralizacije gleđi, prisustvo mikropukotina u okviru zuba, stepen mineralizacije gleđi, kao i boju gleđi, da proverava navike u oralnoj higijeni određivanjem nivoa čistoće gleđi, bolesti desni, kao što su gingivitis, zatim oticanje desni, prisustvo rana u ustima, itd. Pacijent može sam sebi da priušti ovaj aparat, kako bi otkrio neke promene u ustima i obavestio stomatologa. Nema štetnog zračenja, pošto je u pitanju svetlost, za razliku od snimanja zuba rendgenom. Kako je vreme osvetljavanja veoma kratko, apsorbovana energija u uzorku je izuzetno mala i ne može izazvati štetne posledice, što omogućava primenu na živim organizmima u svrhu kontrole zdravlja. Kako je vreme osvetljavanja veoma kratko, apsorbovana energija u uzorku je izuzetno mala i ne može izazvati štetne posledice, što omogućava primenu na živim organizmima u svrhu kontrole zdravlja.

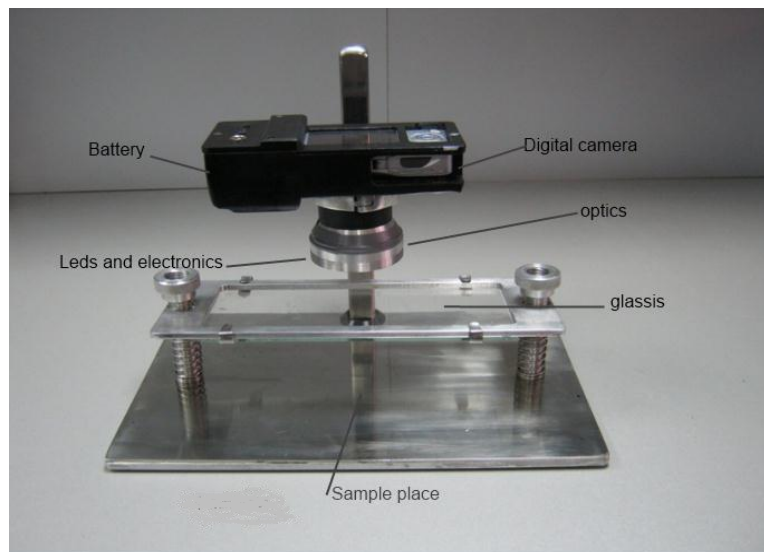
Mana uređaja:

Može vršiti samo površinsko snimanje zuba, zbog malog prodiranja svetlosti u zub.

Primena optomagnetne spektroskopije u stomatološkoj dijagnostici

oralna sluzokoža

Materijal i metod



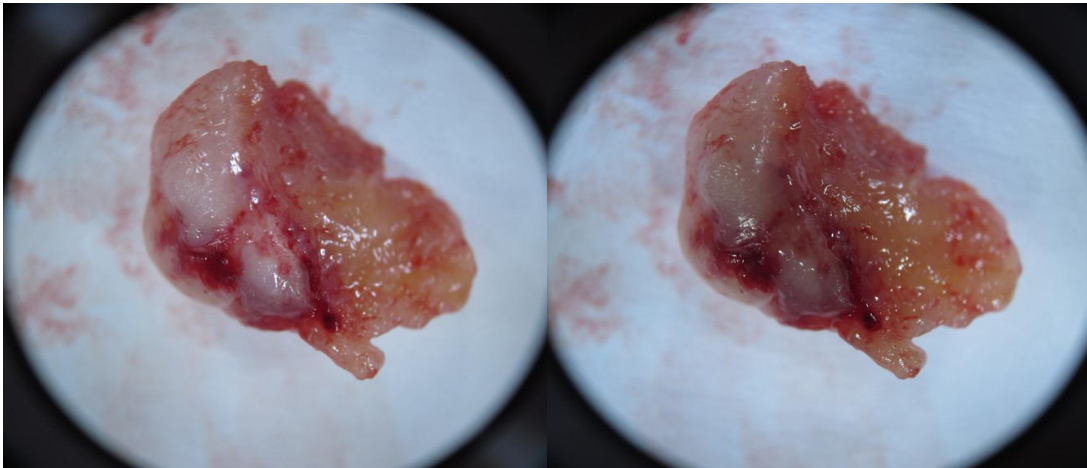
B53 uređaj (NanoLab, MF) za snimanje uzoraka (zdravog i kancerom zahvaćenog tkiva) u in vitro uslovima

Istraživanje je sprovedeno na Klinici za maksilofacijalnu hirurgiju, Stomatološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu. Uzet je uzorak maligno promenjene sluzokože jezika, zajedno sa pojasom zdrave sluzokože. Uzorak tkiva je fotografisan 20 puta, pod belom svetlošću (Slika 5.7), i 10 puta pod polarizovanom svetlošću (Slika 5.8). Digitalne fotografije su zatim obrađene korišćenjem konvolucionog algoritma u programskom paketu Matlab.

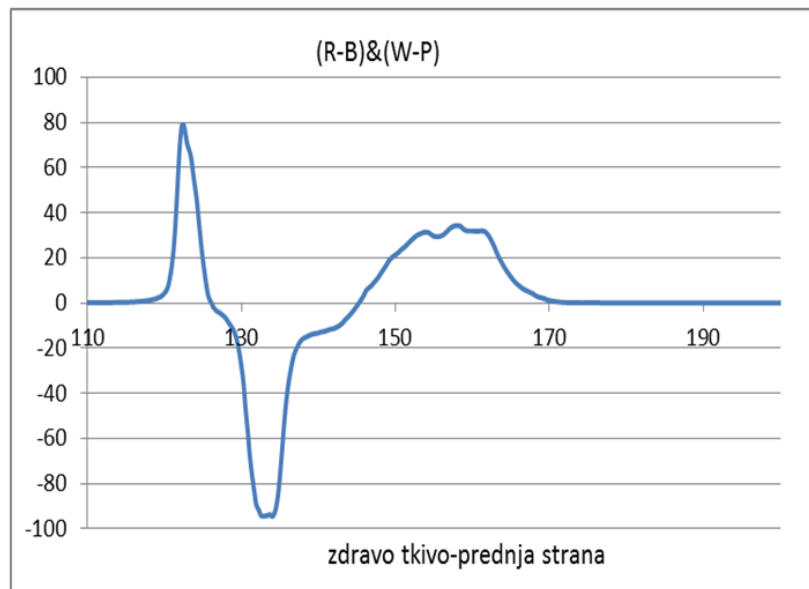
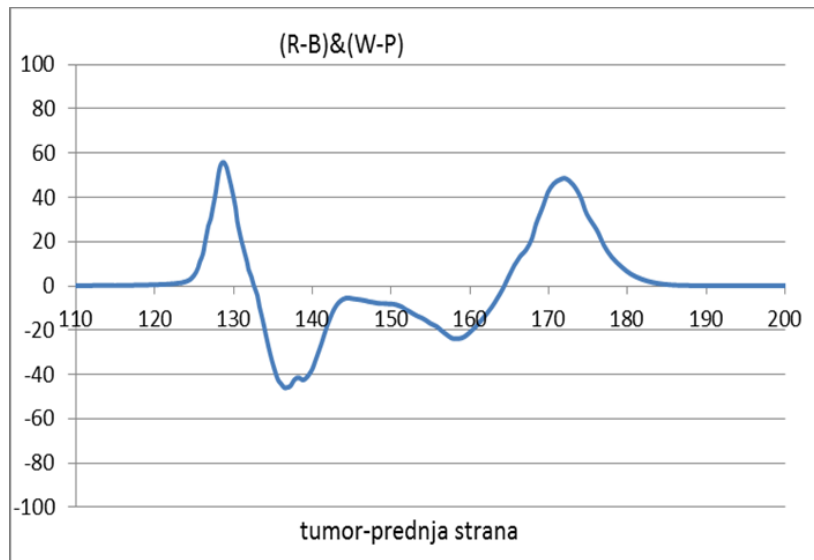
Uređaj NL-B53 baziran na OMF metodi, se sastoji od digitalnog fotoaparata (Canon, model IKSUS 105, 12,1 MP) i izvora bele svetlosti (6 LED) (Slika 5.6). Kamera i izvor svetlosti su integrisani u uređaj koji uključuje kutiju u kojoj je uzorak pozicioniran i zaklonjen od spoljnih uticaja. Postupak se sastoji od:

1)Difuzno osvetljavanje uzorka belim svetlom. 2)Dobijanje prve digitalne slike. 3) Difuzno osvetljenje uzorka belim svetlom pod uglom -Brusterov ugao . 4)Dobijanje druge digitalne slike. 5)Obrada slike u Photoshopu. 6)Obrada u MATLAB i razvoj spektara.

Rezultati



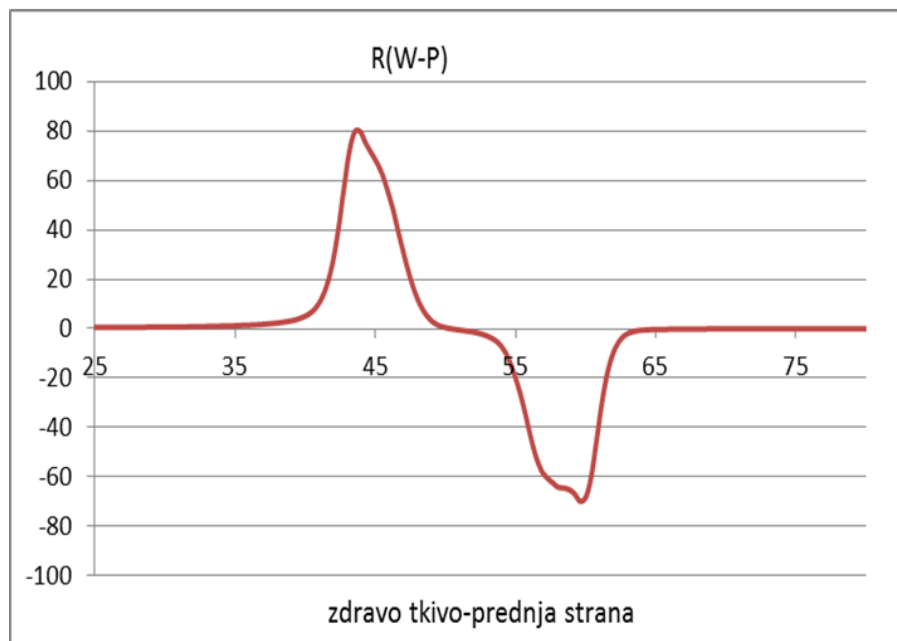
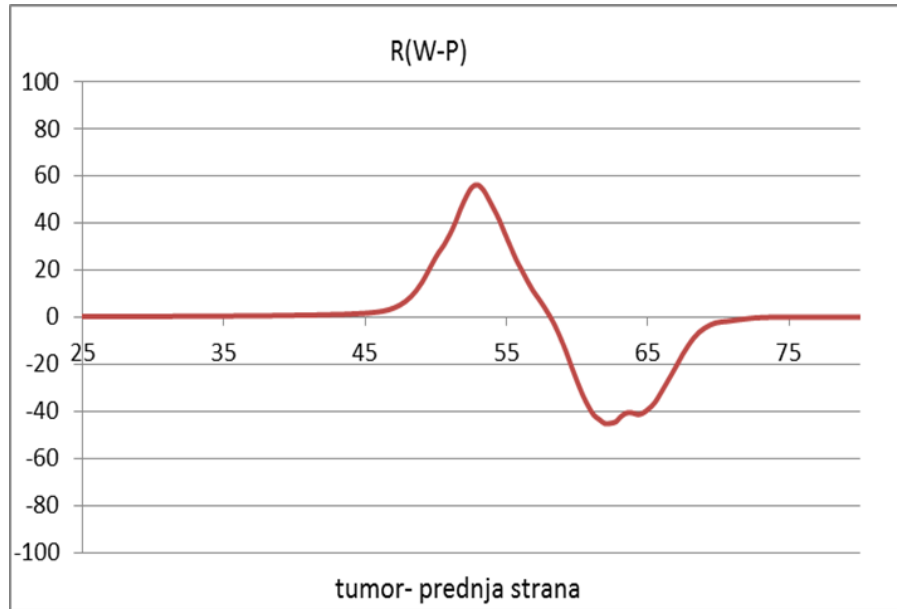
Uzorak tkiva slikan belom svetlošću (desno) i uzorak tkiva slikan polarizovanom svetlošću (levo)



Optomagnetični spektrogrami uzoraka tumorskega i zdravega tkiva-celokupan spektar

Posmatrajući rezultate kancerogenog tkiva i zdravega tkiva sluzokože uočava se velika razlika u aktivnosti tkiva u paramagnetnoj i diamagnetnoj oblasti. Kancerogeno tkivo pokazuje dva karakteristična vrha na talasnim dužinama 130nm i 175nm u paramagnetnoj zoni, a intenziteta oko 50 *n.a.u* (normalizovana arbitrana jedinica). U poređenju sa zdravim sluznicom, možemo reći da se u zoni talasne dužine 130nm takođe uočava karakterističan pik, ali u dijamagnetnoj zoni, a prethodi mu pik u paramagnetnoj zoni, u oblasti 120nm, intenziteta 80 *n.a.u* (normalizovana arbitrana jedinica). Naredni pik koji se pojavljuje u paramagnetnoj zoni je znatno manjeg intenziteta, oko 30 *n.a.u* (normalizovana arbitrana jedinica).

Rezultati koji porede čitav spektar (RB) & (VP) sa crvenim kanalom R (VP) pokazuju razliku u intenzitetu i talasnu dužinu na kojoj se javljaju . Njihova velika sličnost ogleda se u karakterističnim dijagrama i načinu prezentacije.



Optomagnetni spektrogrami tumorskog i zdravog tkiva- crveni kanal

Pomoću uređaja Aladina, dobijene su prve in vivo fotografije leukoplakije usne duplje.

Diskusija

Rano otkrivanje i skrining patoloških promena još uvek je imperativ u borbi protiv malignih bolesti. Važno je da se promena otkrije u ranoj ili asimptomatskoj fazi, jer se taj način postiže dramatično poboljšanje u pogledu efikasnosti i efektivnosti lečenja. Akcenat treba staviti na uočavanje premalignih lezija, evaluaciju njihovog stadijuma i tendenciju da maligno alterišu. Ovo su preliminarni zaključci, za dobijanje tačnijih rezultata neophodna je šira studija.