

ИСТРАЖИВАЊА ОДНОСА И ЈАЧИНЕ ВЕЗЕ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРИЈАЛА И ТВРДИХ ЗУБНИХ ТКИВА

Зоран Р. Вулићевић

*Клиника за дечју и превентивну стоматологију,
Стоматолошки факултет, Универзитет у Београду, Београд*

Сажетак

Један од великих доприноса естетској рестауративној стоматологији дао је *Vioposoge* средином прошлог века. Његово откриће припреме површине глеђи нагризањем ортофосфорном киселином се користи у свакодневној стоматолошкој пракси. На овај начин проблем везивања композита за глеђ је у потпуности размотрен и решен, пажња истраживача је преусмерена на изналажење поступка који ће обезбедити јаку и трајну везу између композита и дентина. Дентинвезујућа средства се на основу адхезивног приступа могу поделити на: (1) адхезивна средства која се користе након потпуног нагризања глеђи и дентина и (2) самонагризајућа адхезивна средства. У зависности од врсте растварача у адхезиву, разликују се "*wet bonding*" и "*dry bonding*" адхезиви.

На јачину везе дентина и композита утиче више фактора. Осим метода мерења и врсте дентина, јачина везе зависи и од врсте зуба (хумани или говеђи), удаљености од глеђно-дентинске границе, времена протеклог између вађења зуба и лабораторијског испитивања, присуства каријеса на зубима, као и од температурних разлика термо циклуса који се примењују ради симулације старења материјала. Присуство размазног слоја такође утиче на јачину везе композита и дентина. На јачину везе композита и дентина утичу и величина, дубина и геометрија кавитета, као и угао који заклапа површина глеђи са зидовима кавитета. Због свих ових чинилаца који утичу на везу композита и зубног ткива, неопходно је направити протокол за

испитивање јачине везе који би прецизирао услове чувања узорака, методологију и површину зубног ткива за коју ће се везати композит.

Предмет истраживања било је и испитивање појединих фактора који могу утицати на успешност цементирања композитних кочића ојачаних влакнима, као што су припрема површине кочића, врста композитног цемента за цементирање кочића и светлосна проводљивост кочића. Истраживања која су уследила бавила су се темом збрињавања ендодонтски лечених зуба са аспекта избора материјала за цементирање композитних кочића ојачаних влакнима, као и биомеханичког понашања ендодонтски лечених зуба збринутих композитним кочићима. Правилан избор материјала за цементирање композитних кочића у значајној мери утиче на понашање и прогнозу третираних зуба. Посебну пажњу треба посветити разумевању фактора који утичу на биомеханичко понашање девитализованих зуба, како би се обезбедио дугорочан успех лечења.

Такође, упркос различитим резултатима о јачини везе оствареној на глеђи и дентину млечних и сталних зуба, утврђено је да не постоји статистички значајна разлика између различитих адхезивних система како на глеђи тако и на дентину млечних и сталних зуба.

Кључне речи: адхезија, глеђ, дентин, јачина везе, дентин везујућа средства.

Ретенција и адхезија

Израз „ретенција“ потиче од латинске речи *retentio* што значи задржавање, ускраћивање или одбијање од себе. Такође, још једно од тумачења овог појма је и специфичан процес задржавања. У медицинским наукама, овај појам се дефинише као задржавање или заустављање.

Појам ретенције у стоматологији означава моћ/капацитет задржавања односно својство надокнаде да задржи своју позицију без померања и под стресом. Ретенција представља резултат добре и блиске адаптације надокнаде, обично уз помоћ дентин везујућег средства и/или цемента. Проблем ретенције у стоматолошкој пракси се јавља још од почетка примене рестауративних материјала. Највећи проблем представља везивање материјала за надокнаду зубне супстанце са дентином.

Под појмом адхезија подразумева се припој два материјала са међуслојем између њих. Овај међуслој се назива адхезив. Веза два материјала може бити механичка или хемијска. Механичка веза у

стоматологији се одликује припојем материјала било његовим микро или макроскопским сједињавањем са подминирајућим просторима (композит или амалгам). Хемијска веза се карактерише припојем материјала на молекуларном нивоу уз успостављање јачих (примарних) или слабијих (секундарних) веза. За разлику од примарних веза (металне, јонске и ковалентне силе), секундарне везе (водоничне и *Van Der Waals*-ове) нису у могућности да се одупру силама које се јављају унутар усне дупље. Ипак, управо разноликост врста веза омогућава изналажење различитих начина везивања материјала за тврда зубна ткива.

Примена композитних материјала у стоматологији довела је до револуције у начину препарације кавитета, као и до настанка „естетске стоматологије“, идеје која је почела као нови тренд, а данас представља једну од главних тежњи у свакодневној пракси како пацијената, тако и стоматолога. Развој композитних материјала кроз протекле деценије омогућио је њихову широку примену у свакој грани стоматологије. Током година ови материјали су напредовали и решен је велики број њихових недостатака (отпуштање резидуа, ослобађање топлоте приликом процеса везивања, непостојаност облика и структуре). Ипак, и данас остаје проблем појаве микропростора приликом везивања за тврда зубна ткива. Бројна истраживања су рађена у циљу његовог решавања попут промене састава честица пунила (макро, микро, хибридни и нано), различитих комбинација органских смола, промене начина полимеризације (хемијска, УВ, светлосна, ласер), као и примена различитих система адхезивних средстава. Нажалост, ниједно истраживање није успело да у потпуности реши проблем појаве микропростора.

До појаве микропростора долази услед димензионе контракције композита приликом његове полимеризације. Појава ових микропростора зависи и од тврдог зубног ткива за које се композитни материјал везује. Везивање композита за gleђ зуба решено је кондиционирањем површине gleђи киселином и накнадном апликацијом танког слоја бонда (непуњене смоле) и том приликом долази до стварања микромеханичке везе gleђ-композит (систем микроретенције). За разлику од везивања композита за gleђ зуба, проблем њиховог везивања за дентин још увек није решен.

На квалитет ретенције материјала испуна утиче тип дентина односно локализација дентина (да ли се ради о спољашњем, унутрашњем, круничном или коренском дентину), као и време формирања дентина (у зависности од тога да ли је реч о примарно створеном дентину или о дентину насталом као последица склерозе). Такође, ретенција је под утицајем квалитета дентина, као и количине дентина која учествује у контакту са материјалом за испун. Главни проблем лежи у саставу дентина. Дентин се састоји од тубула и матрикса. Дентински тубули чине 10% његове запремине [1]. Ови каналићи обезбеђују хидрауличку улогу приликом излагања дентина стресу односно притиску [2]. Дентински матрикс се састоји из кристала хидроксиапатита и влакана колагена. Ова влакна су уплетена, а пружају се нормално у односу на дентинске каналиће и паралелно са унутрашњом површином дентина. С обзиром на сложени састав дентина (присуство воде и протеина), његову структуру, биолошку активност и хидрофилна својства, веома је тешко успоставити добру везу дентина и хидрофобних материјала за испуне.

Решавање проблема појаве микропростора између дентина и композита покушава се на разне начине – сталним усавршавањем композитних материјала, развојем адхезивних система, развојем и применом амортизујућих подлога, као и развојем композита који су димензионо стабилни током процеса полимеризације. Иако је развој дентин везујућих средстава допринео успостављању изузетно чврстих веза дентин-композит, ипак проблем појаве микропростора није решен. Елиминацијом појаве микропростора побољшао би се квалитет и трајност композитних испуна.

Приликом испитивања везе дентин-композит мора се поменути размазни слој. Размазни слој представља структуру која се не налази на интактном дентину, већ се јавља приликом препарације кавитета и представља остатке дентинског ткива, делимично причвршћеног за дентин, а другим делом гради сплет различитих форми дебљине око 1 микрометар. Ове форме прекривају површину дентина и обтурирају дентинске каналиће. Размазни слој граде честице величине 0,05 до 1 μ m неправилног облика при чему веће честице леже на површини дентина. Састав размазног слоја је сличан саставу дентина из кога је проистекао са изузетком денатурације услед повећане температуре приликом препарације кавитета [3,4].

Уклањање овог слоја доводи до смањења јачине везе дентин-композит [5].

Захваљујући јакој и дуготрајној вези између композитних материјала и тврдих зубних ткива, у савременој стоматологији је могуће потпуно заобилажење чувених Блекових принципа препарације кавитета, односно очување здравог зубног ткива (минимална препарација) и отклањање појаве микропростора између испуна и зубног ткива.

Један од великих доприноса естетској рестауративној стоматологији дао је *Вуоносоре* средином прошлог века. Његово откриће припреме површине глеђи нагризањем ортофосфорном киселином, потом испирањем водом и посушивањем млазом ваздуха користи се и данас у свакодневной стоматолошкој пракси [6]. Овај начин припреме глеђи омогућава настаanak микромеханичке везе адекватне јачине која ће током даљег развоја заменити у пракси дотадашње макрофизичке методе везивања (подминирање, косина и др). Ипак, његова даља истраживања показала су да овај вид припреме површине дентина омогућава стварање хемијске везе композит-дентин чија јачина је далеко слабија од јачине везе настале микромеханичким ужлебљавањем композита и глеђи [7]. Упркос овим значајним налазима *Вуоносоре-а*, тек 20-ак година касније метода припреме глеђи нагризањем усвојена је као неопходни поступак пре постављања композитних материјала [8]. С обзиром да је на овај начин проблем решавања везивања композита за глеђ у потпуности размотрен и решен, пажња истраживача је преусмерена на изналажење поступка који ће обезбедити јаку и трајну везу између композита и дентина. У том тренутку прешло се на развој и усавршавање дентин везујућих средстава која су у почетку остваривала само хемијску везу, а касније и физичку везу дентин-композит.

Дентин везујућа средства

Савремени композитни материјали и даље трпе значајне димензионе промене односно контракцију приликом полимеризације услед чега настају микропростори у којима се веома брзо настањују бактерије из оралне флоре компромитујући цело

испун [9]. Да би се овај проблем избегао, користе се дентин везујућа средства која би морала задовољити више захтева. Она би требало да буду биокompatibilна с обзиром на близак однос са виталним зубним ткивима и њихов продор у дентинске тубуле, а све у циљу очувања виталитета зуба. Затим, пожељно је да се ова средства везују истовремено и за глећ и за дентин, како из разлога што је тешко тачно разлучити где престаје глећ, а почиње дентин, тако и због поједностављивања целокупног поступка припреме глећи и дентина. Већ је поменут значај да се коришћењем дентин везујућих средстава спречи настанак микропростора око постављених композитних испуна. Такође, узимајући у обзир да у *in vivo* условима није могуће постићи идеално суву површину дентина приликом постављања композитног испуна, ова средства би требало да буду хидрофилна. Пожељно је да ова средства обезбеђују потребну јачину везе у што краћем року, као и да могу да повежу различите материјале.

Подела дентин везујућих средстава

Од почетка примене па до данас, дентин везујућа средства су претрпела бројне промене у циљу свог усавршавања и достизања јачине везе приближне оној између глећи и композита [10]. С обзиром на ове промене, првобитна подела дентин везујућих средстава на генерације базирана је на редоследу њихове појаве односно на хронологији развоја [11].

Прву генерацију чиниле су обичне непуњене смоле које нису успеле да успоставе хемијску везу са дентином. Веза се базирала на микромеханичком ујљебљавању са нагриженом површином глећи. Примери ове врсте су *Helio Bond (Vivadent)* и *Enamel Bond (3M)* (врло брзо повучен из употребе).

Другој генерацији, поред непуњених смола, додати су адитиви или супстанце које су градиле слабу молекуларну везу са дентином. Њихови представници су *Bondlite (Kerr)*, *Dentin Adhesit (Vivadent)*, *Prisma Universal Bond (Caulk)* и *Scotchbond (3M)*.

Трећој генерацији припадају материјали који хемијском припремом дентина омогућавају добру хемијску везу између композита и дентина. Припрема се најчешће врши киселим

растворима („primer“ или „conditioner“). Прајмер улази у дентинске тубуле и на тај начин доводи до појачавања везе са дентином. Недостатак ових материјала се огледа у пребојавању ивица испуна. Представници ове генерације су *Gluma (Bayer)*, *Scotchbond 2 (3M)* и *Superlux Universal Bond 2 (DMG)*.

Четвртој генерацији припадају дентин везујућа средства која хемијском припремом дентина стварају хибридни слој који чине колагена влакна натопљена смолом. На овај начин обезбеђује се веза изузетне јачине, приближна јачини везе композит-глеђ. Процес започиње уклањањем размазног слоја након наношења и испирања ортофосфорне киселине са површине дентина. На овај начин долази до отварања дентинских каналића и деминерализације површинских слојева интертубуларног дентина дебљине 3-5 μm . Колагена влакна интертубуларног дентина се скоро у потпуности одвајају од хидрокси апатита и стварају мрежу у коју продиру мономери адхезивног средства, заједно чинећи хибридни слој [12]. Адхезив продира и у дентинске тубуле формирајући смолине продужетке. Након полимеризације хибридног слоја долази до стварања микромеханичке везе између композита и дентина. Примери четврте генерације су *All Bond 2 (Bisco)*, *OptiBond (Kerr)*, *Superlux Prep (DMG)* и *Scotchbond Multi Purpose (3M)*.

У петој генерацији спојени су у једну бочицу и прајмер и адхезив ради упрошћавања саме апликације при чему је добра и постојана јачина везе задржана. Петој генерацији припадају *OptiBond Solo Plus (Kerr)*, *Single Bond Plus (3M)*, *One-step Plus (Bisco)* и *XP Bond (Dentsply)*.

Шеста генерација користи самонагризајући прајмер. Овај прајмер остаје на зубном ткиву након деловања, а потом се наноси адхезив. Иако зуби након употребе ових адхезива показују смањену осетљивост, јачина њихове везе са глеђи је слабија у односу на адхезиве претходне две генерације (Слика 1). Примери шесте генерације су *Clearfil SE Bond (Kuraray)* и *Simplicity (Apex Dental)*.

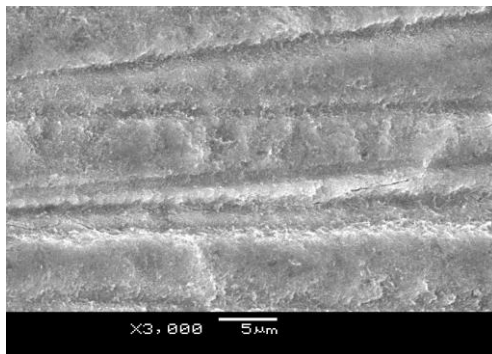
Слика 1.

Утицај самонагризајућих
прајмера на глеђ

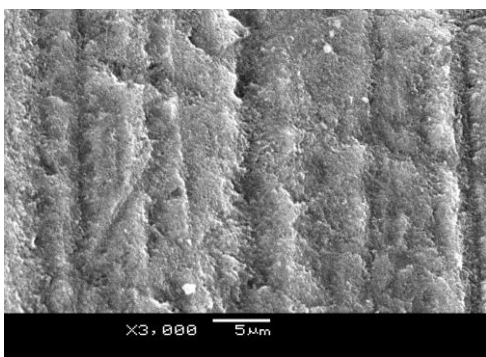
А. AdheSE (Ivoclar Vivadent)

Б. Contax (DMG)

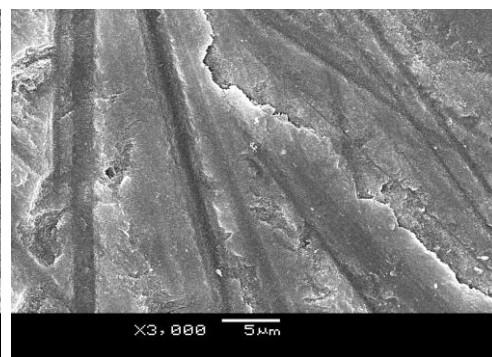
В. G-Bond (GC)



А



Б



В

Седму генерацију чине тзв. „све у једном“ адхезиви у којима се киселина, прајмер и бонд налазе у једном раствору, а представљају их *I-bond* (Heraeus), *Xeno IV* (Dentsply), *G-Bond* (GC) и *Opti Bond All-in-one* (Kerr).

Ипак, последњих година ова подела је доста критикована, па је у употреби и нова подела која се заснива на основном механизму адхезије. Основни механизам адхезије представља замену неорганског садржаја дела зубног ткива са мономерима смоле адхезивног средства који улазе у нагризањем створене микропросторе [11]. Дентин везујућа средства се на основу адхезивног приступа и јачине процеса ове замене могу поделити на:

- Адхезивна средства која се користе након потпуног нагризања глеђи и дентина (“*total-etch*” техника)

- Самонагризајућа адхезивна средства (“self-etch” техника).

Адхезивна средства која се користе након потпуног нагризања глеђи и дентина могу бити двофазна (сврстана у пету генерацију) и трофазна (сврстана у четврту генерацију). Прва фаза је иста код свих и представља припрему глеђи и дентина 30-40% раствором ортофосфорне киселине, а потом се киселина испира. Двофазна средства садрже комбинацију бонда и прајмера у једној бочици и наносе се у другој фази чиме је знатно олакшана употреба ових средстава. Код трофазних средстава, прајмер се наноси у другој фази, након чега се приступа наношењу адхезива (бонда). Ипак, без обзира на једноставнији поступак примене двофазних средстава, трофазна средства са потпуним нагризањем представљају „златни стандард“.

У зависности од врсте растварача у адхезиву, разликујемо “wet bonding” и “dry bonding” адхезиве. Код примене “wet bonding” адхезива, дентин се не посушује у потпуности већ остаје делимично влажан с циљем да вода да потпору колагеним влакнима деминерализованог дентина. Ова средства користе ацетон као растварач јер у додиру са површином зуба ацетон истискује воду и на тај начин омогућава инфилтрацију мономера у дентин. “Dry bonding” адхезиви користе алкохол (дентин се пре њихове апликације суши благо) или воду (дентин се пре њихове апликације суши интензивније) као растварач.

Захваљујући киселим мономерима који се налазеу самонагризајућим адхезивима, процес деминерализације тврдих зубних ткива и инфилтрације мономера смоле се одвија истовремено. Ова средства користе прајмер који се не испира. Самонагризајући адхезиви могу бити двофазни (смештени у шесту генерацију) и једнофазни (смештени у седму генерацију). Код двофазних адхезива у првој фази се наноси прајмер са киселим мономерима који се не испира, а у другој фази се апликује адхезив. Представници ових адхезива су *AdheSE (Ivoclar Vivadent)*, *Contax (DMG)*, *Clearfil SE Bond (Kuraray)*, *Opti Bond Solo plus self-etch system (Kerr)* и *Unifil Bond (GC)*. Једнофазни самонагризајући адхезиви су повезали у једну фазу нагризање зубног ткива, апликавање прајмера и адхезива. Ови адхезиви могу бити двокомпонентни попут *Adper Prompt L-Pop (3M)*, *Prompt L-Pop 2 (3M)*, *Futurabond NR*

(VOCO) (две компоненте се мешају непосредно пре апликације) и такозвани “all-in-one” адхезиви попут *I-bond (Heraeus)*, *G-bond(GC)*, *AdheSE One (Ivoclar Vivadent)* (две компоненте се налазе у једној бочици).

Самонагризајући адхезиви се могу поделити и на основу своје *pH* вредности на:

- Самонагризајуће адхезиве благе киселости: *pH* око 2 (*Clearfil SE Bond (Kuraray)*, *G-bond (GC)*)
- Самонагризајуће адхезиве средње киселости: *pH* око 1,5 (*AdheSE (Vivadent)*, *Futurabond NR (VOCO)*)
- Самонагризајуће адхезиве изражене киселости; *pH* око 1 (*Adper Prompt L-Pop (3M)*, *Prompt L-Pop 2 (3M)*).

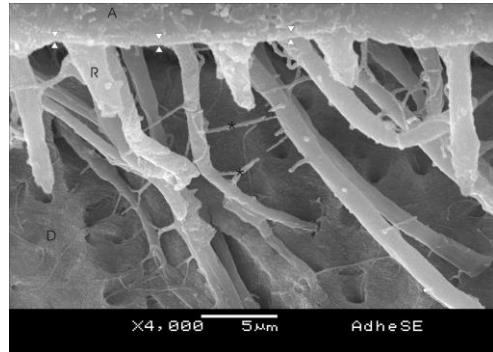
Смањивање *pH* вредности доводи до повећања интензитета реакције са зубним ткивом, као и дебљег хибридног слоја. Захваљујући томе, самонагризајући адхезиви изражене киселости остварују са зубним ткивом везу која по својим морфолошким карактеристикама подсећа на везу која се ствара између адхезива и зубног ткива након потпуног нагризања глеђи и дентина.

Испитивање јачине везе композит-дентин

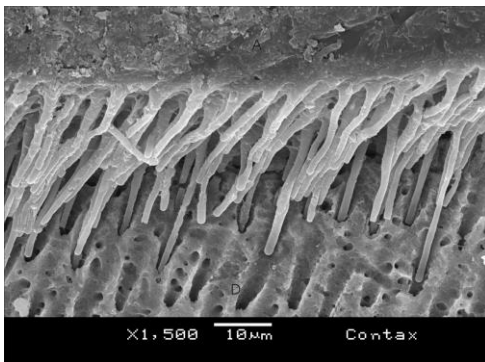
Скенинг електронском микроскопијом утврђено је да је степен интеракције са дентином такође био у складу са *pH* вредностима самонагризајућих прајмера/адхезива. Однос самонагризајућих система средње киселости – *Contax (DMG)*, *AdheSE (Vivadent)* и *Futurabond NR (VOCO)* са дентином био је сличан када је реч о формирању продужетака смоле, док се ширина хибридног слоја кретала од 0 до 2 μm . Однос самонагризајућег адхезива благе киселости – *G-Bond (GC)* са зубним ткивом разликовао се од осталих експерименталних група (Слика 2). Хибридни слој није уочен, уз минимално присуство смолиних продужетака. У контролној групи, где је коришћен адхезивни систем са потпуним нагризањем, уочен је најшири хибридни слој и највећи број смолиних продужетака [13].

Слика2.

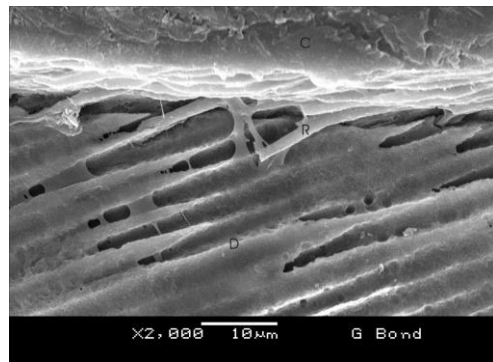
Однос самоагризајућих
прајмера и дентина
А. *AdheSE (Vivadent)*,
Б. *Contax (DMG)*,
В. *G-Bond (GC)*



А



Б



В

Јачина и однос везе композит-дентин може се испитивати *in vivo* на зубном ткиву, смицањем комплекса композит-дентин или истезањем слепљених фрагмената (ортогонално на површину слоја). Резултати мерења се разликују у зависности од коришћеног метода, али може се приметити тенденција раста јачине везе током протеклих деценија. Упркос томе што су истраживања обављена *in vivo* на зубима адекватнија и боља, због ограничених могућности ових истраживања, углавном се прибегава *in vitro* мерењима.

Већ је поменуто да на јачину везе дентина и композита утиче више фактора. Осим метода мерења и врсте дентина, јачина везе зависи и од врсте зуба (хумани или говеђи), удаљености од глеђно-дентинске границе [14], времена протеклог између вађења зуба и

лабораторијског испитивања, присуства каријеса на зубима, као и од температурних разлика термо циклуса који се примењују ради симулације старења материјала [15].

Код коришћења извађених хуманих зуба, неопходно би било увести протокол њиховог чувања и припреме за истаживање. Хумани зуби се обично чувају у растворима формалина од 4 до 10%, обичној води, физиолошком раствору или вештачкој пљувачки. Варира и температура на којој се чувају узорци – од +4°C па све до собне температуре. Такође, испитивања се спроводе на хуманим зубима од 30 минута, па и до 5 година након екстракције [16, 17]. Након наношења композита на дентин разликује се и период и начин његовог чувања пре истраживања. Док неки истраживачи нису открили значајне разлике у дужини овог периода [18, 19] *Aquilino* и сарадници су закључили да јачина везе слаби за скоро половину вредности у периоду од 11 месеци након постављања композитних материјала [20]. Симулација услова у устима, односно наизменично потапање у хладне (4 до 8 °C) и топле купке (50 до 55 °C) просечно 120 пута у току 24 сата показало је незнатно смањење јачине везе [21]. Јачина везе је под утицајем начина сушења узорка – јача веза се ствара након сушења топлим ваздухом, као и код сушења ваздухом уопште, за разлику од спонтаног испаравања површине дентина [22]. Због свих ових разлика, потребно је стандардизовати начин чувања као и припреме хуманих зуба ради могућности поређења добијених резултата. Различита припрема зуба за истраживања подразумева заравњивање површине дентина абразивним материјалима од карборундум ваљака, силикон карбидног папира, дијамантских дискова, дијамантских тестера, алуминијум оксидних ваљака, карбидних сврдала [16], па све до финијих и грубљих дијамантских сврдала [23]. Што се апарата тиче, приликом заравњивања дентина се користе микротоми, суви или влажни тримери [16]. У истраживањима се користе и различите површине зуба (оклузална, букална, апроксимална) што може довести до појаве различите јачине силе у истраживањима [17, 24].

Присуство размазног слоја такође утиче на јачину везе композита и дентина. Док у *in vitro* студијама уклањање овог слоја ојачава везу између дентин и композита, *in vivo* истраживања показују да уклањање размазног слоја води проблему са влажењем површине дентина дентинском течносту из тубула под крвним притиском

пулпе, као и повећаној могућности контаминације дентина бактеријама. Дакле, размазни слој представља неку врсту баријере на отворима дентинских тубула, а смањење влажења површине дентина дентинском течностима побољшава везу композита и дентина.

На јачину везе композита и дентина утичу и величина, дубина и геометрија кавитета, као и угао који заклапа површина глеђи са зидовима кавитета [25]. Због скупљања композита током полимеризације, неопходно је да дентин везујућа средства могу брзо успоставити очекивану јачину везе након наношења да би дочекала спремна напон истежања током полимеризације композита.

Због свих ових чинилаца који утичу на везу композита и зубног ткива, неопходно је направити протокол за испитивање јачине везе који би прецизирао услове чувања узорака, методологију и површину зубног ткива за коју ће се везати композит. Нажалост, овакав протокол још увек не постоји.

Испитивање јачине везе композит-радикуларни дентин

Предмет неколико истраживања био је испитивање појединих фактора који могу утицати на успешност цементирања композитних кочића ојачаних влакнима, као што су припрема површине кочића, врста композитног цемента за цементирање кочића и светлосна проводљивост кочића. Истражена су основна својства композитних кочића, као што су састав, еластичност и естетика, а описане су и клиничке погодности које ова својства пружају. Наведене су индикације у којима композитни кочићи могу у потпуности испољити свој потенцијал, укључујући и посебне предности које примена ових кочића доноси у дечјој стоматологији и трауматологији. Иако се сви композитни кочићи састоје од истих основних компоненти, њихова механичка својства и квалитет у клиничким условима могу значајно да варирају у зависности од произвођача. Због тога су испитивана нека од својстава која могу да утичу на избор кочића [26, 27]. Испитиван је утицај експерименталне фабричке припреме и различитих ординацијских начина припреме површине кочића са матриksom од епокси смоле на јачину везе са композитним цементима. Експерименталну фабричку припрему чинило је два корака: наношење слоја

цирконијум оксида дебљине 1 μm , а затим силанизација 3-(триметоксилил) пропил метакрилатом. Према тврдњи произвођача, оваквом припремом обезбеђује се микромеханичка ретенција, као и хемијска веза између силана и адхезива или цемента. Ординацијски поступци припреме кочића који су испитивани у овом раду обухватили су наношење силана и наношење адхезива, док у контролној групи површина кочића није третирана. Микроскопски су посматране површине третираних и нетретираних кочића, као и адхезивни спојеви цемент-кочић (CEM). Површина фабрички припремљених кочића такође је испитивана помоћу EDAX анализе (*Energy Dispersive Analysis by X-ray*) у скенинг електронском микроскопу [28].

Посебна пажња посвећена је самоадхезивним композитним цементима, који чине најновију и најмање испитивану категорију композитних цемената. Преглед литературе имао је за циљ да пружи информације о самоадхезивним композитним цементима на основу оригиналних научних радова објављених у рецензираним часописима који су индексирани у бази *PubMed* [29]. Резултати су класификовани у следеће категорије: адхезија са зубним ткивима (глеб, дентин, дентин канала корена), адхезија са рестауративним материјалима (ендодонтски кочићи, керамика, титанијум), маргинална адаптација, микропропустљивост, механичка својства, биокомпатибилност, хемијска адхезија и отпуштање флуорида и оцена квалитета током клиничке употребе.

На основу испитивања различитих фактора цементирања композитних кочића изведени су одређени закључци. Фабрички третман може поједноставити клинички поступак цементирања. Цементирање композитних кочића са матриksom од епокси смоле без припреме површине кочића се не препоручује. Самоадхезивни композитни цементни могли би да понуде обећавајући нови приступ у индиректним рестауративним поступцима, укључујући цементирање композитних кочића. Међутим, највећи број података из литературе о овим цементима потиче из лабораторијских истраживања само једног од више цемената који су тренутно на располагању клиничарима. Неопходне су дуготрајне клиничке студије како би се могла дати генерална препорука за употребу самоадхезивних цемената у цементирању кочића.

Истраживања која су уследила бавила су се темом збрињавања ендодонтски лечених зуба са аспекта избора материјала за цементирање композитних кочића ојачаних влакнима, као и биомеханичког понашања ендодонтски лечених зуба збринутих композитним кочићима. Правилан избор материјала за цементирање композитних кочића у значајној мери утиче на понашање и прогнозу третираних зуба. Такође, посебну пажњу треба посветити разумевању фактора који утичу на биомеханичко понашање девитализованих зуба, како би се обезбедио дугорочан успех лечења. Резултати релевантне литературе која се бавила истраживањем различитих аспеката ферул ефекта објављени су у прегледном чланку [29]. Сви резултати су класификовани у три главне категорије: лабораторијска истраживања, метода коначних елемената и клиничке студије. Резултати лабораторијских студија су даље класификовани у следеће подкатеорије, на основу главног аспекта истраживања којим се студија бавила: висина/дизајн ферула, врста кочића и надоканде круничног дела, врста дефинитивне надокнаде, дужина кочића, техника цементирања и продужење клиничке круне или ортодонтско извлачење. На основу резултата добијених у студијама које су представљене у овом чланку, могу се извести следећи закључци: већина доступне литературе указује на то да се може очекивати већа отпорност на прелом и повољнији тип прелома ендодонтски лечених зуба уколико постоји ферул ефекат. Непотпун ферул који није присутан целим обимом зуба, повољније утиче на прогнозу у односу на потпуно одсуство ферула. Присуство ферул ефекта смањује утицај врсте кочића, материјала за цементирање и дефинитивне надокнаде на понашање ендодонтски лечених зуба. Код зуба са потпуним недостатком клиничке круне, предност треба дати ортодонтском извлачењу зуба, у односу на хируршко продужење клиничке круне. Када је реч о биомеханичком понашању структурно компромитованих ендодонтски лечених зуба, неколико значајних аспеката ферул ефекта још увек није довољно испитано. Дебљина ферула, као и положај преосталих зидова крунице зуба, пре него број зидова, представљају област од значаја за даља истраживања. Такође, већина лабораторијских студија и студија које користе методу коначних елемената су испитивале утицај ферул ефекта на једнокореним зубима. Међутим, врсту зуба и латерално оптерећење

којем су зуби изложени треба такође узети у обзир. Стога, корисно би било вршити даља истраживања на премоларима и моларима. Коначно, неопходне су дуготрајне, рандомизоване, контролисане студије са прецизно утврђеним степеном губитка тврдих зубних ткива и оклузалним детерминантама, као што су тип оклузије и тип оклузалног вођења, како би се усвојиле униформне клиничке препоруке за збрињавање ендодонтски лечених зуба.

Истраживања која су у току баве се испитивањем разлике у отпорности на фрактуру, као и врсте фрактуре између ендодонтски лечених зуба са незавршеним растом корена рестаурираних композитним испуном и зуба рестаурираних композитним кочићем са композитним испуном. Зубе са незавршеним растом корена одликују кратки коренови, танки зидови коренских канала и широки апикални отвор, а након ендодонтске терапије овакви зуби подложнији су фрактурама у поређењу са зубима чији је корен завршио раст [31]. Прелиминарни резултати показали су да се отпорност на фрактуру није статистички значајно разликовала код ендодонтски лечених зуба са незавршеним растом корена рестаурираних композитним испуном у поређењу са зубима који су рестаурирани композитним кочићем и композитним испуном. Такође, врста прелома није се статистички разликовала између две испитиване групе. Потребна су даља истраживања са већим бројем узорака како би се донели поуздани закључци.

Поређење јачине везе композита и тврдих зубних ткива млечних и сталних зуба

У свакодневној стоматолошкој пракси, дечји стоматолози имају прилику да се срећу са млечним и сталним зубима. Врста надокнаде која ће се урадити у устима детета зависи од много фактора као што су нпр. узраст и ниво сарадње. Глас јономер цементи представљају златни стандард у дечјој стоматологији за испуне на млечним зубима захваљујући својим особинама од којих се посебно издваја отпуштање флуорида. Ипак, савремени композитни материјали такође могу бити материјал избора у неким ситуацијама. Због разлике у саставу млечних и сталних зуба поставља се питање да ли адхезивна процедура треба да буде иста на млечним и сталним

зубима [32–34]. Резултати досадашњих истраживања разлике у јачини везе између сталних и млечних зуба су контраверзни без обзира да ли се ради о истраживањима на глеђи или дентину [35–39].

Зуби млечне дентиције су морфолошки слични зубима сталне дентиције али се разликују по броју, облику, величини, боји и другим карактеристикама. Глеђ представља најтврђе биолошко ткиво у људском организму. Неорганске материје чине 92-96%, 1-2% органске материје, а 3-4% заузима вода. Глеђ обе дентиције је изграђена од кристала хидроксиапатита распоређених у глеђне призме. Свака глеђна призма је састављена из густо распоређених кристала хидроксиапатита између којих се налазе интеркристални простори попуњени органском материјом и водом. На глеђи млечних зуба се уочава разлика у минерализацији. Наиме, светлија боја глеђи говори о бољој минерализацији и представља део глеђи изграђен интраутерино док тамнија нијанса представља слабије минерализовани део створен постнатално који је богат инкрементним линијама. Граница која раздваја ова два дела се назива Retzius-ова линија или неонатални прстен. За разлику од зуба сталне дентиције, глеђне призме млечних зуба у цервикалном делу су увек усмерене ка оклузално.

Дентин обе дентиције се састоји од 70% неорганске, 20% органске материје и 10% воде. Неоргански део чине кристали хидроксиапатита док органски део чини колаген. Дентин представља део зубног ткива који се ствара константно а основну структуру му чине дентински тубули и дентинска маса. Дентински тубули имају правац пружања од пулпе ка глеђно дентинској граници и више их је у круничном него у коренском делу. На дентину млечних зуба се такође уочава разлика између добро минерализованог – пренаталног и слабије минерализованог – постнаталног дентина. Дентински каналићи млечних зуба су шири, неправилнији и налазе се у мањем броју у односу на зубе сталне дентиције. Цемент млечних зуба је слабије минерализован и танак док је пулпа зуба млечне дентиције волуминознија, изражених рогова на бочним зубима. Као и код сталних зуба, пулпа млечних зуба ствара секундарни дентин али је он неправилније грађе [40].

Клиничка истраживања пружају најрелевантније доказе о стоматолошким материјалима али захтевају дугачак период

праћења резултата. Периодични контролни прегледи су неопходни а резултати истраживања су валидни тек након периода од неколико месеци или чак година. Недостатак клиничких истраживања представља управо време трајања истраживања јер се технологија стоматолошких материјала развија брзо што може довести до проблема застаривања материјала у тренутку завршетка истраживања. Са друге стране лабораторијска истраживања имају могућност да дају корисне и брзо добијене резултате о ефикасности савремених материјала. Лабораторијска истраживања стоматолошких материјала су процедурално мање захтевна а добијени резултати пружају увид у понашање испитиваних материјала у устима пацијента. Важно је нагласити да је неопходно да сви стоматолошки материјали морају проћи кроз фазу лабораторијских истраживања пре клиничких истраживања тј. примене материјала у устима пацијента. Најчешће коришћени лабораторијски тестови су отпорност на истезање и смицање [41].

У току је израда једне докторске дисертације на Клиници за дечју и превентивну стоматологију која има за циљ: 1. Испитивање јачине везе различитих адхезивних система са дентином и глеђи млечних и сталних зуба методом микроистезања; 2. Испитивање односа зуб/адхезивни систем/композитни материјал методом скенинг електрон микроскопије.

Испитивање је вршено под хипотезом да врста адхезивног система и разлика у саставу млечних и сталних зуба неће утицати на јачину везе и однос зуб/адхезивни систем/композитни материјал током тестирања. Зуби су подељени у две групе: млечни и стални зуби, који су додатно распоређени у три подгрупе према адхезивном приступу који се користио: 1. Приступ потпуног нагризања глеђи и дентина (*Opti Bond FL (KERR)*, *Opti Bond Solo Plus (KERR)*, *Adhese Universal (Ivoclar Vivadent)*, *Scotchbond Universal Adhesive (3M ESPE)*, *Single Bonding (DMP)*); 2. Приступ самонагризања (*Opti Bond XTR (KERR)*, *Opti Bond All-in-one (KERR)*, *Adhese Universal (Ivoclar Vivadent)*, *Evetric Bond (Ivoclar Vivadent)*, *Scotchbond Universal Adhesive (3M ESPE)*); 3. Приступ селективног нагризања (*Opti Bond All-in-one (KERR)*, *Adhese Universal (Ivoclar Vivadent)*, *Evetric Bond (Ivoclar Vivadent)*, *Scotchbond Universal Adhesive (3M ESPE)*).

Узевши у обзир ограничења лабораторијских истраживања, а на основу резултата овог истраживања могу се извести закључци. На

глеђи млечних зуба адхезивни системи *Opti Bond FL (KERR)* и *Opti Bond FL (KERR)* (системи са потпуним нагризањем) су остварили најјачу снагу везе током теста микроистезања. На глеђи сталних зуба адхезивни системи *Opti Bond XTR (KERR)* и *Scotchbond Universal Adhesive (3M ESPE)*, оба са додатком нагризања глеђи киселином су остварили најјачу снагу везе током теста микроистезања. На дентину млечних зуба адхезивни систем *Opti Bond XTR (KERR)* је остварио најјачу везу током теста микроистезања. На дентину сталних зуба адхезивни систем *Opti Bond XTR (KERR)* је остварио најјачу везу током теста микроистезања. *Opti Bond All-in-one (KERR)* је остварио најслабију везу у односу на остале материјале како на глеђи тако и на дентину млечних и сталних зуба. Упркос разноликој јачини везе оствареној на глеђи и дентину млечних и сталних зуба, анализом добијених резултата утврђено је да не постоји статистички значајна разлика између испитиваних адхезивних система како на глеђи тако и на дентину млечних и сталних зуба. Упркос различитој структури млечних и сталних зуба утврђено је да нема разлога за продуженим нагризањем глеђи млечних зуба у односу на глеђ сталних зуба. Селективно нагризање може побољшати јачину везе између испитиваних адхезивних система и глеђи сталних зуба. Свакако због ограничења могућности лабораторијских истраживања а у сврху испитивања дуготрајности њихове клиничке употребе, мора се нагласити да су неопходна даља лабораторијска и клиничка истраживања испитиваних адхезивних система.

Литература

1. Garberoglio R, Brännström M. Scanning electron microscopic investigation of human dentinal tubules. Arch Oral Biol 1976;21(6):355-62.
2. Pashley DH. Mechanisms of dentin sensitivity. Dent Clin North Am 1990;34(3):449-73.
3. Pashley DH. Dentin: a dynamic substrate--a review. Scanning Microsc 1989;3(1):161-74.
4. Eick JD, Wilko RA, Anderson CH, Sorensen SE. Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. J Dent Res 1970;49(6):Suppl:1359-68.

5. Umino A, Nikaido T, Sultana S, Ogata M, Tagami J. Effects of smear layer and surface moisture on dentin bond strength of a waterless all-in-one adhesive. *Dent Mater J* 2006;25(2):332-8.
6. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955;34(6):849-53.
7. Brudevold F, Buonocore M, Wileman W. A report on a resin composition capable of bonding to human dentin surfaces. *J Dent Res* 1956;35(6):846-51.
8. Silverstone LM, Dogan IL. Proceedings of an international symposium on the acid etch technique. St. Paul, Minnesota: N. Central Publishing Co; 1975. p. 293.
9. Brännström M. Infection beneath composite resin restorations: can it be avoided? *Oper Dent* 1987;12(4):158-63.
10. Vulićević ZR. Jačina veze različitih dentin-vezujućih sredstava u kompozitnom sistemu. *Stomatološki glasnik Srbije* 1995;42 (4):205-13.
11. Radovic I, Krstanovic G. Kompozitni adhezivi. U: Zoran R. Vulićević, urednik. *Klinička primena materijala u dečjoj stomatologiji*. Beograd: Beo Book; 2010. ISBN 978-86-87027-25-1.
12. Nakabayashi N. Bonding of restorative materials to dentine: the present status in Japan. *Int Dent J* 1985;35(2):145-54.
13. Radovic I, Vulicevic ZR, Garcia Godoy F. Morphological evaluation of 2- and 1-step self-etching system interfaces with dentin. *Oper Dent* 2006;31(6):710-8.
14. Causton BE. Improved bonding of composite restorative to dentine. A study in vitro of the use of a commercial halogenated phosphate ester. *Br Dent J* 1984;156(3):93-5.
15. Causton BE, Johnson NW. Changes in the dentine of human teeth following extraction and their implication for in-vitro studies of adhesion to tooth substance. *Arch Oral Biol* 1979;24(3):229-32.
16. Mitchem JC, Gronas DG. Effects of time after extraction and depth of dentin on resin dentin adhesives. *J Am Dent Assoc* 1986;113(2):285-7.
17. Williams VD, Svare CW. The effect of five-year storage prior to bonding on enamel/composite bond strength. *J Dent Res* 1985;64(2):151-4.
18. Zidan O, et al. Stability and strength of the bond between resin and dentin mediated by dentin bonding agents. *J Dent Res* 1987;66: Abs No 1479.
19. Chan DC, Reinhardt JW, Boyer DB. Composites incompatibility and bond longevity of a dentin bonding agent. *J Dent Res* 1985;64(12):1402-4.
20. Aquilino SA, Williams VD, Leary N. The effect of storage time on dentinal adhesive bond strengths. *J Dent Res* 1987;66:292 (Abst. No 1483)
21. Nolden R. Bonding of restorative materials to dentine: the present status in the Federal Republic of Germany. *Int Dent J* 1985;35(2):166-72.

22. Batchelder KF, Richter RS, Vaidyanathan TK. Clinical factors affecting the strength of composite resin to enamel bonds. *J Am Dent Assoc* 1987;114(2):203-5.
23. Pashley EL, Tao L, Mackert JR, Pashley DH. Comparison of in vivo vs. in vitro bonding of composite resin to the dentin of canine teeth. *J Dent Res* 1988;67(2):467-70.
24. Murray GA, Yates JL. A comparison of the bond strengths of composite resins and glass ionomer cements. *J Pedod* 1984;8(2):172-7.
25. Hansen EK, Asmussen E. Comparative study of dentin adhesives. *Scand J Dent Res* 1985;93(3):280-7.
26. Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Cury AH, Coniglio I, Vulicevic ZR, et al. The effect of sandblasting on adhesion of a dual-cured resin composite to methacrylic fiber posts: Microtensile bond strength and SEM evaluation. *J Dent* 2007;35(6): 496-502.
27. Radovic I, Monticelli F, Papacchini F, Magni E, Cury AH, Vulicevic ZR, Ferrari M. Accelerated aging of adhesive-mediated fiber postresin composite bonds: A modeling approach. *J Dent* 2007;35(8): 683-9.
28. Radovic I, Monticelli F, Cury AH, Bertelli E, Vulicevic ZR, Ferrari M. Coupling of composite resin cements to quartz fiber posts: a comparison of industrial and chairside treatments of the post surface. *J Adhes Dent* 2008;10(1):57-66.
29. Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari. Self-adhesive resin cements: a literature review. *J Adhes Dent* 2008;10(4):251-8.
30. Juloski J, Radović I, Goracci C, Vulićević ZR, Ferrari M. Ferrule effect: a literature review. *J Endod* 2012; 38(1):11-19.
31. Corbella S, Ferrara G, El Kabbaney A, Taschieri S. Apexification, apexogenesis and regenerative endodontic procedures: a review of the literature. *Minerva stomatol* 2014;63(11-12):375-89.
32. Beloica D, Vulović M, Gajić M, Stevanović R, Ivanović M, Carević M, Vulićević Z, Marković D. *Dečja stomatologija*. Beograd: Draslar partner; 2005.
33. Sumikawa DA, Marshall GW, Gee L, Marshall SJ. Microstructure of primary tooth dentin. *Pediatr Dent* 1999;21(7):439-44.
34. Angker L, Nockolds C, Swain MV, Kilpatrick N. Quantitative analysis of the mineral content of sound and carious primary dentine using BSE imaging. *Arch Oral Biol* 2004;49(2):99-107.
35. Lenzi TL, Soares FZ, Rocha Rde O. Degradation of resin-dentin bonds of etch-and-rinse adhesive system to primary and permanent teeth. *Braz Oral Res* 2012; 26(6): 511-5.
36. Ricci HA, Sanabe ME, Costa CA, Hebling J. Bond strength of two-step etch-and-rinse adhesive systems to the dentin of primary and permanent teeth. *J Clin Pediatr Dent* 2010;35(2):163-8.

37. Yaseen SM, Subba Reddy VV. Comparative evaluation of shear bond strength of two self-etching adhesives (sixth and seventh generation) on dentin of primary and permanent teeth: an in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 2009;27(1):33-8.
38. da Costa CC, Oshima HM, Costa Filho LC. Evaluation of shear bond strength and interfacial micromorphology of direct restorations in primary and permanent teeth--an in vitro study. *Gen Dent* 2008;56(1):85-93; quiz 94-5, 111-2.
39. Peutzfeldt A, Nielsen LA. Bond strength of a sealant to primary and permanent enamel: phosphoric acid versus self-etching adhesive. *Pediatr Dent* 2004;26(3):240-4.
40. Gajic M. Anatomohistološke karakteristike zuba. U: Beloica D, urednik. *Dečja stomatologija, drugo izmenjeno i dopunjeno izdanje*. 2005, Beograd: Draslar partner; 2005. p. 74-94.
41. Placido E, Meira JB, Lima RG, Muench A, de Souza RM, Ballester RY. Shear versus micro-shear bond strength test: a finite element stress analysis. *Dent Mater* 2007;23(9):1086-92.

RESEARCH ON THE RELATIONSHIP AND BOND STRENGTH BETWEEN COMPOSITE MATERIALS AND HARD DENTAL TISSUES

Zoran R. Vulićević

*Clinic for Pediatric Care and Preventive Dental Care
Faculty of Dentistry, University of Belgrade*

One of the great contributions to aesthetic restorative dentistry was given by Buonocore in the middle of the last century. His discovery of the treatment of the enamel surface with orthophosphoric acid is used in everyday dental practice. In this way, the problem of composite bonding for enamel has been fully considered and resolved, and the researchers' attention has been redirected to finding a method that will provide a strong and durable bond between the composite and the dentine. Based on the adhesive approach, the adhesive systems can be divided into: (1) adhesive systems based on total etch approach, and (2) self-etch adhesives. Depending on the type of solvent in the adhesive, "wet bonding" and "dry bonding" adhesives are distinguished.

The bond strength of composite to dentine is influenced by several factors. In addition to the methods of measurement and the type of dentine, the bond strength depends on the type of teeth (human or bovine), distance from the dentin-enamel junction, the time elapsed between tooth extraction and laboratory testing, the presence of caries on the teeth, as well as the temperature differences in the thermal cycle used to simulate the aging. The presence of a smear layer also affects the bond strength between the composite and the dentine. It is also influenced by the size, depth and geometry of the cavity, as well as the angle between the enamel surface and the cavity walls. Due to all of these factors affecting the bond between the composite and the dental tissue, it is necessary to make a protocol for testing the bond strength that would specify the conditions of the preservation of the samples, the methodology and surface of the dental tissue to which the composite will be bonded.

The matter of the research was also the examination of certain factors that could influence the performance of cementing composite fiber reinforced composite posts, such as the surface preparation of the post, the type of composite cement for post cementation and the light transmitting ability of the posts. The following studies dealt with the treatment of endodontically treated teeth from the aspect of selecting materials for cementing fiber reinforced composite posts, as well as the biomechanical behavior of endodontically treated teeth treated with fiber posts. The proper choice of materials for post-luting significantly affects the behavior and prognosis of the treated teeth. Particular

attention should be given to understanding the factors that influence the biomechanical behavior of devitalized teeth, in order to ensure the long-term success of the treatment.

Also, despite the different values of the bond strength of the composites to dentin of deciduous and permanent teeth, it was established that there is no statistically significant difference among different adhesive systems when bonded to deciduous and permanent teeth.

Keywords: adhesion, enamel, dentine, bond strength, dentin adhesive systems.

Проф. Др Зоран Р. Вулићевић
Стевана Јаковљевића 2
11000 Београд
zrvdent01@gmail.com