

Adhezijski sustavi - prošlost, sadašnjost, budućnost

Horvat, Marta

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:127:501999>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-12**



Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

Stomatološki fakultet

Marta Horvat

**ADHEZIJSKI SUSTAVI – PROŠLOST,
SADAŠNJOST, BUDUĆNOST**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Rad je ostvaren u: Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju, Stomatološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Mentor rada: prof.dr.sc. Zrinka Tarle, Zavod za endodonciju i restaurativnu stomatologiju, Stomatološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: Doris Babić, mag. educ. philol. croat.

Lektor engleskog jezika: Lucija Subašić, mag. educ. philol. angl

Sastav Povjerenstva za obranu diplomskog rada:

1. _____
2. _____
3. _____

Datum obrane rada: _____

Rad sadrži: 34 stranica

0 tablica

0 slika

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

Zahvaljujem svojoj dragoj mentorici prof. dr. sc. Zrinki Tarle na svesrdnoj pomoći i korisnim savjetima tijekom izrade diplomskog rada, ali i susretljivosti i podršci tijekom cijelog studija.

Hvala mojoj velikoj obitelji na beskrajnoj podršci i brizi, posebno u teškim trenucima. Vi ste moj vjetar u leđa.

Svojim divnim prijateljicama i prijateljima zahvaljujem za svaku riječ utjehe i motivacije. Vaše prijateljstvo mi neizmjereno puno znači.

Posebno hvala mom Grgi što je uz mene uvijek. Bez tebe ništa ne bi imalo smisla.

Sažetak

ADHEZIJSKI SUSTAVI – PROŠLOST, SADAŠNJOST, BUDUĆNOST

Adhezijski sustavi posreduju u vezanju kompozitnih materijala na tvrda zubna tkiva. Sastavljeni su od *primera* odnosno temeljnog premaza koji sadrži monomere hidrofilnih svojstava te *bonda* ili završnog premaza koji sadrži hidrofobnu smolu koja se polimerizira. Prije njihove primjene obvezna je priprema površine tvrdih zubnih tkiva aplikacijom kiseline koju nazivamo jetkanjem. Njihova primjena temelji se na adheziji koju definiramo kao spajanje dvaju različitih materijala privlačenjem atoma i molekula. Osnovni princip adhezije je uklanjanje minerala tvrdih zubnih tkiva jetkanjem i njihova izmjena s monomerom koji se mikromehanički veže u novonastalim porama. Ona se različito ostvaruje u caklini i dentinu s obzirom na njihove razlike u građi i reakciji na jetkanje. Adhezivi se mikromehanički uklješćuju u jetkane pore na caklinskim prizmama, dok u dentinske kanaliće difundiraju te infiltriraju ogoljela kolagena vlakna stvarajući i kemijsku vezu. Koncept adhezijskih sustava počinje se razvijati 1955. godine zaslugom Michaela G. Buonocore koji koristi fosfornu kiselinu za pripremu površine cakline prije aplikacije polimetil-metakrilatne smole. Vrlo važnim događajem u razvoju adhezijskih sustava smatra se i definicija hibridnog sloja 1982. godine. Nakabayashi, Kojima i Masuhara opisuju ga kao sloj smole, kolagenskih vlakana i djelomično demineraliziranog dentina koji nastaje infiltracijom i polimerizacijom metakrilatnih monomera u jetkani dentin. Razvojem tijekom godina adhezijski sustavi poprimali su sve bolja fizičko-mehanička svojstva te se pojednostavila njihova uporaba spajanjem tri koraka adhezijskog postupka – jetkanja, *priminga* i *bondinga* – u dvokomponentne i jednokomponentne sustave. Primjena adhezijskih sustava neizostavan je dio većine grana stomatologije, a posebno restaurativne dentalne medicine, endodoncije i fiksne protetike. Iz tog razloga, adhezijski se sustavi ubrzano razvijaju i u budućnosti se očekuje njihovo unapređenje, kao i razvoj novih svojstava poput bioaktivnih i antibakterijskih.

Ključne riječi: adhezija, adhezijski sustavi, *bonding*, hibridni sloj, jetkanje, *primer*

Summary

ADHESIVE SYSTEMS – PAST, PRESENT, FUTURE

Adhesive systems mediate in bonding composite materials to dental hard tissues. They consist of a primer, basic coating which contains hydrophilic monomers, and a bond which is a final coating of polymerizing hydrophobic resin. Before the application of adhesives, it is required to prepare the surface of hard dental tissues by using organic acid which is called etching. Their use is based on adhesion which is defined as binding two different materials by attracting atoms and molecules. The primary principle of adhesion is the removal of minerals from hard dental tissues by etching and their exchange with monomers which bind micro-mechanically in the newly formed pores. The adhesion is differently achieved in enamel and dentin due to their differences in structure and reactions to etching. Adhesives are micro-mechanically connected to etched pores in enamel prisms while they diffuse in the dentin tubules and infiltrate collagen fibrils creating a chemical bond. The concept of adhesive systems starts to develop in 1955 thanks to Michael G. Buonocore who uses phosphoric acid to prepare the surface of enamel before the application of polymethyl-methacrylate resin. The definition of the hybrid layer in 1982 is also considered an important event in the development of the adhesive systems. Nakabayashi, Kojima and Masuhara describe it as a layer of resin, collagen fibrils and partly demineralized dentin which is formed by the infiltration and polymerization of methacrylate monomers in etched dentin. Over the years, physical and mechanical features of adhesives have improved, and their use is simplified by merging three procedural steps – etching, priming and bonding – into single-component and two-component systems. The use of adhesive systems plays an important role in almost every part of dentistry, especially in restorative dentistry, endodontics and fixed prosthodontics. Consequently, adhesive systems are developing rapidly and their improvement is expected in the future, as well as the development of new properties such as bioactive and antibacterial properties.

Keywords: adhesion, adhesive systems, bonding, etching, hybrid layer, primer

SADRŽAJ

1. UVOD	2
2. PRINCIPI ADHEZIJE	3
2.1 Adhezija u caklini	4
2.2 Adhezija u dentinu	5
3. POVIJEST ADHEZIJSKIH SUSTAVA	7
4. ADHEZIJSKI SUSTAVI DANAS	10
4.1 Sastav adhezijskih sustava	11
4.2 Svojstva adhezijskih sustava	12
4.3 Podjele adhezijskih sustava	13
4.3.1 Podjela prema generacijama	13
4.3.2 Podjela prema tipu otapala	15
4.3.3 Podjela prema interakciji sa zubnim tkivom	16
4.3.4 Podjela prema broju kliničkih faza rada	18
5. KLINIČKA PRIMJENA ADHEZIJSKIH SUSTAVA	20
6. BUDUĆNOST ADHEZIJSKIH SUSTAVA	24
7. RASPRAVA	26
8. ZAKLJUČAK	28
9. POPIS LITERATURE	30
10. ŽIVOTOPIS	33

Popis skraćenica

Bis-GMA – bisfenol-A-glicidil-metakrilat

BPDM – bifenil dimetakrilat

CDS – caklinsko-dentinsko spojište

D3MA – dekandiol-dimetakrilat

EDTA – etilendiamintetraoctena kiselina

HEMA – 2-hidroksietil-metakrilat

JI – jetkajuće-ispirućí

MDP – metakriloiloksidecil-dihidrogenfosfat

NaOCl – natrijev hipoklorit

NTG-GMA – N-toliglicin-glicidil-metakrilat

PENTA – dipentaeritritol-pentaakrilat-monofosfat

PMMA – polimetil-metakrilatna smola

SJ – samojetkajućí

TEGDMA – trietilenglikol-dimetakrilat

UDMA – uretan-dimetakrilat

UV – ultraljubičasto

Suvremena restaurativna dentalna medicina bila bi nezamisliva bez adhezijskog postupka. Upravo razvojem adhezijskih sustava, zajedno s razvojem kompozitnih materijala i svjetlosne polimerizacije, dolazi do mogućnosti minimalno invazivnih preparacija i napuštanja načela uklanjanja zdravog zubnog tkiva u svrhu mehaničke retencije. Također, uz njihovu pomoć, kompozitni materijali mogu postići visoko estetske i funkcionalne rezultate u nadoknadi izgubljenog tvrdog zubnog tkiva. Osim u restaurativnoj dentalnoj medicini, adhezivi su vrlo važni materijali u endodonciji i fiksnoj protetici, kao i u ortodonciji i parodontologiji. Adheziju definiramo kao spajanje dviju neovisnih površina, u ovom slučaju kompozitnog materijala i površinu zuba, čiji se kontakt održava bez pomoći vanjskih sila. Adhezijski sustavi pomiruju hidrofilna svojstva cakline i dentina i hidrofobnost kompozitnih smola, stvarajući dostatnu mikromehaničku, ali i kemijsku vezu. Glavni izazov u primjeni adhezijskih sustava je kako ostvariti jednako jaku vezu u caklini i dentinu koji se razlikuju u svojoj građi i funkciji. Primjena adheziva odvija se u tri temeljna proceduralna koraka: jetkanje ili kondicioniranje, *priming* ili prvo, temeljno premazivanje i *bonding* odnosno vezanje ili završno premazivanje (1). S obzirom na osjetljivost postupka, svi koraci moraju biti provedeni ispravno kako bi se izbjegle pogreške i posljedično odvajanje ispuna, postoperativna preosjetljivost, rubno propuštanje, itd. S ciljem olakšavanja postupka i poboljšanja njihovih svojstava, adhezivi se ubrzano razvijaju od polovine prošlog stoljeća. Današnja primjena adheziva temelji se na dva principa: jetkajuće-ispirajući (*etch-and-rinse*) ili samojetkajući (*self-etch*) pristup koji se prilično razlikuju u djelovanju prema tvrdom zubnom tkivu, ali su oba pristupa pokazala uspješne rezultate u laboratorijskom i kliničkom istraživanju (2). Tehnologija adhezijskih sustava svakim danom napreduje, a posebno se radi na olakšavanju kliničkog postupka i proširenju mogućnosti primjene adhezijskih sustava u većini grana dentalne medicine.

Svrha ovog rada je opisati razvoj adhezijskih sustava od pedesetih godina prošlog stoljeća sve do danas. Opisat će se svojstva i sastav adheziva koje danas koristimo te navesti njihove podjele. Naglasak će biti na njihovom različitom djelovanju na caklinu i dentin i kako ono utječe na njihovu kliničku primjenu. U svrhu ovog rada ubraja se i rasprava o budućnosti adhezijskih sustava kao i njihova široka klinička primjena bez koje je nemoguć svakodnevni rad doktora dentalne medicine.

2. PRINCIPI ADHEZIJE

Caklina i dentin su različite građe i kemijskog sastava zbog čega se i adhezija u njima ostvaruje različitim mehanizmima te ih je potrebno različito pripremiti. Građa cakline je uglavnom homogena, s većinskom udjelom kristala hidroksiapatita uz male količine organske tvari i vode. Ona se sastoji od caklinskih prizama promjera oko 5 μm kojih ima 20000 - 30000 po milimetru kvadratnom. Dentin je građen od 69 % hidroksiapatita uz 18 % organske tvari koju čini uglavnom kolagen tipa I te od 13 % vode što čini njegovu građu heterogenom. Sastoji se od gusto složenih dentinskih kanalića u kojima se nalaze produžeci odontoblasta, proteinska intratubulusna tekućina, mehanoreceptori živčanih završetaka te depoziti kolagena, minerala i organske tvari. Dentinskih tubulusa ima od 15000/ mm^2 uz caklinsko-dentinsko spojište (CDS) sve do 65000/ mm^2 neposredno uz pulpu, a promjer im varira od 0,9 μm uz CDS do 2,5 μm uz pulpu (3).

Temeljni mehanizam adhezije u caklini i dentinu bazira se na procesu izmjene u kojem se minerali uklanjaju iz tvrdih zubnih tkiva i zamjenjuju se monomerima smole koji se polimerizacijom mikromehanički vežu u nastalim porama (4). Taj proces je u dentinu nazvan hibridizacijom, a podrazumijeva stvaranje hibridnog sloja, tj. interdifuzijskog područja smole, kolagenskih vlakana i djelomično demineraliziranog intertubularnog i intratubularnog dentina (5). Sukladno tome, potrebno je pravilno pripremiti površine tvrdih zubnih tkiva jetkanjem kako bi adhezija na površinu tvrdih zubnih tkiva bila uspješna. Jetkanje podrazumijeva aplikaciju ortofosforne kiseline na caklinu i dentin koja otapa zaostatni sloj i površinu tvrdih zubnih tkiva. Zaostatni sloj je sastavljen od organskih čestica kalcificiranog tkiva, dijelova odontoblastičnih nastavaka, bakterija, krvi i slina, a rezultat je mehaničke obrade zuba. S obzirom da on smanjuje permeabilnost dentina, potrebno ga je ukloniti ili učiniti permeabilnim kako bi se omogućila interakcija između monomera i dentinske površine (6). Iznimno se kod primjene samojetkajućih adheziva dentin ne mora posebno jetkati jer oni sadrže kisele monomere koji istodobno jetkaju i infiltriraju zubno tkivo. U slučaju predugog jetkanja dentinske površine, dolazi do pretjerane demineralizacije i narušavanja arhitekture dentina. Monomeri smole ne mogu prodrijeti tako duboko pa ispod hibridnog sloja ostaju eksponirana kolagena vlakna u demineraliziranom području, a ta se struktura naziva hibridoidnim slojem (1).

2.1 Adhezija u caklini

Ortofosforna kiselina na caklinu djeluje tako da razara kristale hidroksiapatita, uklanja njenu kemijski zasićenu površinu, glikoproteinsku ovojniju i zaostatni sloj te povećava njenu

reaktivnu površinu. Rastapanjem caklinskih prizama dolazi do stvaranja makro- i mikroporoznosti u koje adheziv prodire kapilarnim privlačenjem. Polimerizacijom adheziva nastaju makrozupci na periferiji caklinskih prizama, a u srži svake prizme mikrozupci. Smatra se da su ta mikromehanička uklještenja u jetkanoj caklini najbolja moguća veza uz zubno tkivo. Uporabom novijih samojetkajućih (SJ) adheziva ne dolazi do zadovoljavajuće veze između adhezijske smole i caklinske površine zbog toga što kiseli monomeri u takvim adhezivima imaju višu pH vrijednost i sukladno tome manju mogućnost demineralizacije od ortofosforne kiseline. Iz tog razloga se prije njihove primjene preporuča tzv. selektivno jetkanje, tj. jetkanje samo caklinskog dijela kaviteta te nanošenje SJ adheziva u cijeli kavitet (7).

2.2 Adhezija u dentinu

Dentin se može jetkati i kondicionirati, ovisno o jačini kiseline i trajanju postupka. Jetkanjem se uklanja anorganski dio zuba, dok se kondicioniranjem samo proširuju dentinski kanalići, a anorganski dio zuba ostaje djelomično očuvan. Oba postupka rezultiraju otapanjem zaostatnog sloja i demineralizacijom površinskog dentina te ekspanzijom kolagenih vlakana. Nakon pripreme dentinske površine, nanosi se *primer* koji sadrži hidrofilne monomere otopljene u organskom otapalu odgovornom za vlaženje i reekspanziju kolagenske mreže, a zatim i *bond*, tj. hidrofobna smola koja infiltrira u dentinske kanaliće i prostore između kolagenih vlakana. Polimerizacijom smole nastaje hibridni sloj koji zajedno sa smolastim zupcima u dentinskim tubulusima osigurava mikromehaničku retenciju adheziva u dentinu (1). Taj proces nazivamo hibridizacijom, a sastavljen je od triju specifičnih morfoloških promjena: smolastih zubaca koji hermetički zatvaraju pulpo-dentinski kompleks, hibridizacije lateralnih dentinskih tubulusa i obloženih kolagenih vlakana poput „čupavog saga“ (3).

Takvu vrstu adhezije u dentinu dobit ćemo primjenom jetkajuće-ispirućih (JI) adhezijskih sustava, dok je kod primjene samojetkajućih adheziva moguće i ostvarenje dodatne kemijske veze. Kiseli monomeri koje oni sadrže rastapaju zaostatni sloj bez preduboke demineralizacije dentina, a uz očuvanje hidroksiapatitnih kristala oko kolagenih vlakana. To je posebno važno jer hidroksiapatit čuva kolagena vlakna osjetljiva na procese degradacije i hidrolize, ali isto tako osigurava kalcijeve ione za kemijsku vezu s funkcijskim monomerima SJ adheziva (8). Tako nastaju stabilne kalcij-karboksilatne i kalcij-fosfatne veze između SJ adheziva i preostalog hidroksiapatita. Osim što se njihovom primjenom može ostvariti kemijsko svezivanje, oni također drukčije utječu na stvaranje hibridnog sloja. Budući da se ne ispiru

nakon primjene, hibridni sloj sadržavat će i otopljeni zaostatni sloj kao i kristale hidroksiapatita. On će biti tanji od hibridnog sloja nastalog primjenom II adhezijskih sustava, ali će zbog jednakomjerne demineralizacije površinskog dentina i infiltracije smolom biti jednoličan (1).

3. POVIJEST ADHEZIJSKIH SUSTAVA

Povijesni razvoj koncepta adhezije počinje 1951. godine kada švicarski kemičar Oskar Hagggar razvija tehniku kiselinskog jetkanja kao pripremu za vezanje smole na tvrda zubna tkiva. Ipak se glavnim začetnikom adhezijskog koncepta smatra Michael G. Buonocore koji 1955. godine koristi fosfornu kiselinu za pripremu površine cakline prije aplikacije polimetilmetakrilatne smole (PMMA). Koristeći 85-postotnu fosfornu kiselinu za jetkanje cakline, Buonocore je postigao povećanje reaktivne površine te povećanje osjetljivosti cakline na adheziv što je dovelo do jačanja veze između smole i cakline. Također je 1963. godine istraživao razlike u vezanju na caklinu i dentin te je istaknuo kako je adhezija na dentin zahtjevnija zbog njegova sastava, sadržaja vode i zaostatnog sloja (1). Njegov student John Gwinnett, stručnjak za elektronsko mikroskopiranje, otkrio je 1967. godine da adhezijska smola penetrira u mikroporoznosti jetkane cakline i obuhvaća kristale hidroksiapatita čineći ih acidorezistentnima (9). Buonocore je 1970. godine nakon razvitka prvog bisfenol-A-glicidilmetakrilat (Bis-GMA) kompozitnog materijala upozoravao na njegovu aktivaciju ultraljubičastim (UV) svjetlom, a Caulk je 1971. godine izumio UV svjetlosno aktivirajući „*NUVA system*“ koji je prvi uključivao predtretman cakline kiselinom radi postizanja bolje veze kompozita i cakline (1). U Japanu se zatim zaslugom Fusuyame razvio revolucionarni koncept totalnog jetkanja, odnosno simultanog jetkanja cakline i dentina kojim se uklanjao zaostatni sloj i demineraliziralo 3-5 mikrona površine dentina kako bi se eksponirala kolagenska mreža. Ubrzo nakon toga, 1978. godine je na tržište izašao prvi jetkajuće-ispirajući adhezijski sustav unutar kojeg je koristila 40 % fosforna kiselina za potpuno jetkanje (10). Nedugo nakon početka njegove primjene, otkriveni su njegovi štetni utjecaji na pulpu zbog korištenja tzv. „*dry bonding*“ pristupa, odnosno pretjeranog sušenja stijenki kaviteta nakon jetkanja što je uzrokovalo kolaps eksponiranih kolagenih vlakana. Iz tog razloga, snaga veze između adheziva i dentina bila je nedostatna da prevlada snagu polimerizacijskog skupljanja ispuna te je došlo do rubnog propuštanja i posljedično iritacija pulpe (11). Nekoliko godina poslije, Kanca je predstavio tzv. „*wet bonding*“, odnosno tehniku nanošenja adhezijskog sustava na vlažnu površinu dentina što je rezultiralo povećanjem snage veze između smole i dentina, ali isto tako i smanjenjem poslije-operativne boli (12). Vrlo važnim događajem u razvoju adhezije na tvrda zubna tkiva smatra se i definicija hibridnog sloja 1982. godine. Nakabayashi, Kojima i Masuhara opisuju ga kao sloj smole, kolagenskih vlakana i djelomično demineraliziranog dentina koji nastaje infiltracijom i polimerizacijom metakrilatnih monomera u jetkani dentin (13).

Od pedesetih godina 20. stoljeća, razvilo se osam generacija adhezijskih sustava. Buonocore je 1956. godine razvio prvu generaciju adheziva koji su sadržavali glicerofosforični kiseli dimetakrilat i vezali se za jetkani dentin, a nisu zahtijevali uklanjanje zaostatnog sloja. Druga generacija adheziva pojavljuje se 1970-ih godina i njihova se adhezija temeljila na interakciji kalcijevih iona iz zaostatnog sloja i tvrdog zubnog tkiva s polimerizirajućim fosfatima dodanim Bis-GMA smoli. Početkom osamdesetih godina pojavljuje se treća generacija kod koje je bilo potrebno ukloniti ili modificirati zaostatni sloj, a s njom je počeo razvoj adhezijskih sustava kakve danas poznajemo. Primjena treće generacije adheziva uključuje jetkanje cakline i kondicioniranje dentina aplikacijom otopine neke od organskih kiselina, zatim nanošenje *primera* koji osigurava vlaženje i prodor monomera u dentinske kanaliće i na kraju primjena *bondinga*, hidrofobnog premaza koji se polimerizira. U osamdesetim i devedesetim godinama prošlog stoljeća razvija se četvrta generacija koja obuhvaća tehniku potpunog jetkanja, uklanjanje zaostatnog sloja i hibridizaciju dentina, a njena specifičnost je u kompatibilnosti sa svim kompozitnim materijalima, keramikom i kovinama. Peta generacija nastala je devedesetih godina i danas se uvelike koristi, a posebna je po tome što se *primer* i *bond* nalaze u istoj bočici, dok je jetkanje zasebno. Početkom 2000-ih godina pojavljuje se šesta generacija adhezijskih sustava koja je ujedno i prva generacija samojetkajućih adheziva. Kiseli samojetkajući *primer* služi za jetkanje cakline i dentina nakon čega se zasebno nanosi hidrofobni *bond*. Godine 2002. razvija se sedma generacija u koju spadaju jednokomponentni samojetkajući adhezijski sustavi što znači da se kiseli *primer* i *bond* nanose zajedno. Osma generacija nastaje 2010. godine dodavanjem nanočestica punila u samojetkajući adhezijski sustav čime se poboljšavaju čvrstoća i trajanje adhezijske veze (1).

Razvoj adhezijskih sustava traje i danas konstantnim poboljšavanjem njihovih fizičko-mehaničkih svojstava i pojednostavljivanjem njihove upotrebe. Također se uvelike radi na dodavanju novih sastojaka adhezijskim sustavima koji bi osigurali antibakterijska svojstva, bioaktivna svojstva te produljeno trajanje veze između ispuna i tvrdog zubnog tkiva, a posljedično tome i smanjenje poslije-operativnih komplikacija.

4. ADHEZIJSKI SUSTAVI DANAS

4.1 Sastav adhezijskih sustava

Sastav današnjih adhezijskih sustava temelji se na tri osnovna koraka njihove primjene: priprema zubnog supstrata jetkanjem/kondicioniranjem, prožimanje supstrata *primerom*, tj. promotorom adhezije i završno premazivanje *bondom*/adhezivom koji se polimerizira. Oni se mogu provoditi zasebno ili biti spojeni u jednokomponentne ili dvokomponentne sustave. Jetkajuća/kondicionirajuća otopina sastoji se od otopine organske kiseline, a to je najčešće 37 % ortofosforna kiselina čija je pH vrijednost oko 0,9. Temeljni premaz, tj. *primer* sadrži monomere hidrofilnih svojstava otopljene u organskom otapalu alkoholu, acetonu ili vodi, a to su najčešće: 2-hidroksietil-metakrilat (HEMA), bifenil dimetakrilat (BPDM), dipentaeritritol-pentaakrilat-monofosfat (PENTA), Bis-GMA, itd. Uloga otapala je vlaženje i reekspanzija kolagenske mreže, odnosno istiskivanje vode s površine dentina i priprema kolagenih vlakana na infiltraciju smolom. Završni premaz, tj. *bond* ili adheziv u užem smislu riječi, sastoji se od hidrofobne smole koja penetrira u jetkanu površinu tvrdog zubnog tkiva i svojom polimerizacijom sudjeluje u nastanku hibridnog sloja. U njegov sastav spadaju hidrofobni monomeri (Bis-GMA, HEMA, uretan-dimetakrilat (UDMA), trietilenglikol-dimetakrilat (TEGDMA) itd.), kao i inicijatori svjetlosne polimerizacije (najčešće kamforkinon), stabilizatori, silicijev dioksid itd. (1).

Dodavanjem različitih aktivnih sastojaka adhezijskim sustavima poboljšava se njihova sposobnost vezanja na tvrdo zubno tkivo, duljina trajanja veze ispuna i zuba te mogućnost sjedinjenja pojedinih faza. Tako se mogućnost sjedinjenja faza jetkanja i *priminga* u SJ adhezivima temelji na kiselim monomerima koji sadrže jednu ili više karboksilnih i kiselih fosfatnih skupina. SJ adhezivi mogu sadržavati fosfatne monomere (PENTA, HEMA fosfat, metakriloiloksidecil-dihidrogenfosfat (MDP) itd.), polikarboksilne monomere i organske kiseline (maleična, itakonična, metakrilatna polialkenoična kiselina itd.) (1). Funkcijski monomer MDP je značajan i zbog svoje mogućnosti kemijskog vezanja na kalcij iz preostalog hidroksiapatita i stvaranja netopljivih ionskih soli. Taj fenomen naziva se „*nano-layering*“, a smatra se odgovornim za otpornost veze između smole i dentina i njenu povećanu izdržljivost. Istraživanja su pokazala kako je moguće ostvarenje vodikovih veza između amidnih i karboksilnih skupina funkcijskih monomera i kolagenskih peptida, kao i postizanje adhezije preko van der Waalsovih sila i elektromagnetske interakcije između monomera i kolagenih vlakana. Funkcijski monomeri tako direktno utječu na snagu adhezije i rubno brtvljenje ispuna (14). Klorheksidin se također pokazao korisnim sastojkom adhezijskih sustava jer svojom

aktivnošću sprječava degradaciju hibridnog sloja. Naime, on inhibira proteinaze koje aktivirane jetkanjem postupno razgrađuju kolagena vlakna i narušavaju strukturu hibridnog sloja (15).

4.2 Svojstva adhezijskih sustava

Trajnost restauracije, osim ispravnog kliničkog postupka, određuju i fizičko-mehanička svojstva adhezijskih sustava, a to su: čvrstoća veze, vlačna i smicajna čvrstoća veze, elastičnost, tvrdoća, polimerizacijsko skupljanje, hidropska i termička ekspanzija. Bitno svojstvo adheziva je također i vlaženje površine koje određuje snagu veze između adheziva i adherenda. Adheziv zato mora imati sposobnost u potpunosti navlažiti površinu adherenda i imati svojstva slična zubnom tkivu. Kako bi vlaženje bilo optimalno, površinska napetost krute podloge mora biti veća od napetosti adheziva, a međumolekularne sile između adheziva i adherenda moraju biti manje od kohezijskih sila tih dviju tvari. To se izražava pomoću sigma-kuta koji čine tangenta na površinu kapi tekućine i glatka površina krutog adherenda. Što je sigma-kut manji, to će vlaženje i adhezijska sposobnost adheziva biti veći (1). Svakako je važna i zadovoljavajuća polimerizacija adheziva, odnosno konverzija monomera u polimerne lance potaknuta svjetlom koja pridonosi stabilnosti adhezijske veze i otpornosti polimera na degradaciju. Današnji adhezijski sustavi mogu imati i antibakterijska svojstva koja se postižu dodavanjem antibakterijskih spojeva u njihov sastav. Jedan od tih spojeva je metakriloil-oksi-dodecil-piridinium-bromid (MDPB) koji inhibira rast bakterija i tako reducira nastanak sekundarnog karijesa (16).

Negativna svojstva adhezijskih sustava su: apsorpcija vode, pojačana topljivost i postupno slabljenje veze između adheziva i dentina koja najčešće nastaje zbog hidrolize polimera unutar hibridnog sloja ili degradacije kolagenih vlakana. Zbog toga može doći do nastanka rubne pukotine, odnosno mikropropuštanja i nanopropuštanja. Kako bi se što više umanjio negativni utjecaj tih svojstava na estetiku i funkciju restauracije, potrebno je pravilno provoditi postupak njihove primjene (1).

4.3 Podjele adhezijskih sustava

4.3.1 Podjela prema generacijama

Prvu generaciju adhezijskih sustava razvio je Buonocore 1956. godine, a sastojala se od preparata glicerofosfatne kiseline, dimetakrilata i cijanometakrilata. Nije bilo potrebno uklanjanje zaostatnog sloja kako bi se adhezivi vezali, a mehanizam vezanja je bilo stvaranje kelatnih spojeva s kalcijevim ionima na površini putem komonomera. Glicerofosfati stvaraju kemijske veze s hidroksilapatitom procesom kelacije, cijanometakrilati se vežu za dentin polarizacijom na dvostruku vezu putem elektronegativne karbonitrilne skupine, a dimetakrilati stvaraju vezu s dentinom putem polipeptidnih lanaca. Danas se adhezivi prve generacije više ne upotrebljavaju zbog niske snage veze i hidrolitičkog raspada (1, 17).

Druga generacija adhezijskih sustava nastaje dvadesetak godina kasnije, a temeljena je na preparatima fosfatnih i halofosfornih estera Bis-GMA te poliuretana koji reagiraju s poliolskim skupinama iz hidroksilapatita i kolagena dentina. Njihova adhezija temelji se na interakciji kalcijevih iona iz zaostatnog sloja i tvrdog zubnog tkiva s polimerizirajućim fosfatima dodanih Bis-GMA smoli. Veza koju ostvaruju nije dovoljna za trajnu stabilnost ispuna zbog čega se više ne rabe (1, 18).

Nekoliko godina kasnije pojavljuje se i treća generacija adhezijskih sustava koja je ujedno i prva generacija koja zahtijeva modifikaciju ili djelomično uklanjanje zaostatnog sloja. Adhezivi treće generacije su temelj današnjih adheziva, a u njihovoj primjeni razlikujemo jetkanje cakline i kondicioniranje dentina otopinom organske kiseline te vlaženje i infiltraciju pripremljene zubne površine adhezijskom smolom. *Primer* kao temeljno sredstvo osigurava dobro vlaženje i otapanje zaostatnog sloja te difuziju monomera u dentinske kanaliće, a može sadržavati: otopinu maleične kiseline, HEMA, fosforirani ester dimetakrilata u alkoholu, PENTA u HEMA otopini i alkoholu te hidrofilni metakrilat u otapalu, itd. *Bond* je hidrofobna smola, odnosno vezujuće sredstvo koje infiltrira u dentinske kanaliće i polimerizacijom sudjeluje u stvaranju hibridnog sloja, a u sastavu su mu najčešće: N-toliglicin-glicidilmetakrilat (NTG-GMA), Bis-GMA, HEMA, TEGDMA, glutaraldehid, hidrofilni dimetakrilat, voda (1, 18).

Osamdesetih i devedesetih godina 20. stoljeća uvodi se četvrta generacija adhezijskih sustava, a specifična je po tome što se može koristiti sa svim vrstama kompozitnih materijala, keramikom i kovinama. Ti se adhezijski sustavi smatraju današnjim „zlatnim standardom“, a obuhvaćaju tri zasebna koraka adhezijskog postupka. Prvi su sustavi pomoću kojih je moguće

potpuno uklanjanje zaostalog sloja i ispiranje njegovih ostataka primjenom 35 do 37-postotne ortofosforne kiseline na caklini i dentinu. Zahtijevaju tzv. „*wet bonding*“, odnosno vezanje u vlažnom dentinu kako bi ogoljela kolagena vlakna ostala uspravna, a adheziv mogao istisnuti vodu i povući monomer u prostore između njih. *Primer* najčešće sadrži: etanol, NTG-GMA, Bis-GMA, HEMA, BPDM, a *bond* uključuje: Bis-GMA, UDMA, TEGDMA i stakleno punilo. Četvrta generacija adheziva ostvaruje vrlo dobru adheziju sa znatno manjim brojem rubnih propuštanja u usporedbi s ranijim generacijama. Kada se pravilno koriste, vrlo su učinkoviti i dugoročno pokazuju dobre rezultate (1, 18).

Peta generacija adhezijskih sustava pojavljuje se u devedesetim godinama prošlog stoljeća, a karakterizirana je zasebnim jetkanjem 35 do 37-postotnom ortofosfornom kiselinom te zajedničkim korakom *priminga* i *bondinga*. Primjena ovih adheziva je pojednostavljena i skraćena spajanjem dvaju koraka i njome se ostvaruje visoka vrijednost adhezijske veze. Oni mogu uključivati: HEMA, UDMA, modificiranu poliakrilnu kiselinu, dimetrakrilat, silicijev dioksid, fotoinicijatore, natrijev flourid u alkoholu, stabilizatore, aceton itd. Ova vrsta adheziva pokazuje smanjenu osjetljivost na degradaciju kroz vrijeme naspram adheziva četvrte generacije zbog hidrofilnih svojstava *primera*, ali za razliku od njih nisu kompatibilni sa svim vrstama restaurativnih materijala (1, 18).

Krajem 1990-ih i početkom 2000-ih godina pojavila se prva generacija samojetkajućih adheziva, odnosno šesta generacija adhezijskih sustava. Primjenjuju se u dva koraka: nanošenje kiselog *primera* na caklinu i dentin nakon preparacije te premazivanje hidrofobnim *bondom*. Oni se mogu podijeliti u dvije skupine: 6a i 6b. Neposredno prije aplikacije hidrofilni *primer* i hidrofobni *bond* mogu se pomiješati i primijeniti kao jedna komponenta što obilježava skupinu 6b adheziva šeste generacije, dok se prije primjene skupine 6a to ne radi. Najveća prednost ovih sustava je što njihova učinkovitost ne ovisi toliko o vlažnosti dentina, kao što je to slučaj kod prijašnjih generacija. Njihov nedostatak je svakako slabija veza s caklinom zbog nemogućnosti kiselih monomera da dostatno jetkaju caklinsku površinu. Iz tog razloga se prije njihove primjene preporuča tzv. selektivno jetkanje (1, 18).

„*All in one*“ samojetkajući adhezivi uvode se 2002. godine kao sedma generacija adhezijskih sustava. Kao što im ime govori, sva tri koraka adhezijskog postupka nalazimo u istoj bočici, tj. kiselu *primer* i *bond* nalaze se u istoj bočici spojeni u jednokomponentni sustav. Najčešće ne sadržavaju 2-hidroksietil-metakrilat pa su nazvani „*HEMA-free*“ adhezijskim sustavima. Njihovom primjenom nastaje tzv. nanointerakcijska zona, odnosno dodatna

kemijska veza koju čine kolagena vlakna prekrivena molekulama hidroksiapatita. S obzirom na to da u svom sastavu imaju značajnu količinu vode, sklone su hidrolitičkom raspadu. Također, mnogo su hidrofilniji od dvokomponentnih SJ sustava što dovodi do povećane apsorpcije vode i posljedično smanjenje dubine infiltracije smolastog monomera u dentin. Ipak, zbog svoje jednostavne i brze primjene, danas su vrlo popularni (1, 18).

Osmo generacija adhezijskih sustava nastala je 2010. godine, a specifični su po tome što sadrže nanočestice punila veličine oko 12 nm. Nanočestice su inkorporirane u adhezijski sustav na način da određuju viskoznost adheziva i sposobnost penetracije smolastog monomera u prostore kolagenih vlakana. One mogu smanjiti dimenzijske promjene i povećati debljinu hibridnog sloja što pridonosi boljem vezanju adheziva uz caklinu i dentin, povećanoj apsorpciji stresa i duljem trajanju. Ti adhezivi sadrže kisele hidrofilne monomere, ali se mogu primjenjivati i na jetkanoj caklini ukoliko dođe do kontaminacije slinom ili vlagom (1, 18).

4.3.2 Podjela prema tipu otapala

Otapalo u adhezijskom sustavu ima važnu ulogu prijenosnog sredstva za monomere *primera* jer smanjuje viskoznost, a pojačava vlaženje i prodiranje monomera. Kako bi došlo do svezivanja na demineralizirani dentin, mora doći do infiltracije vodom popunjenih prostora između kolagenih vlakana hidrofilnim monomerom i zamjene te vode polimerizirajućom organskom matricom nakon što otapalo ishlapi. Vrsta otapala u adhezijskom sustavu odredit će nanosi li se on na suh ili vlažan dentin. Vlažan dentin ostaje nakon blagog ispuhivanja zrakom ili sušenja sterilnom vaticom, sjajne je površine i bez vidljive vode. Suh dentin nema sjajnu površinu i dobiva se ispuhivanjem zrakom. Vrlo je važno ne presušiti površinu dentina niti ju ostaviti pretjerano vlažnom jer to dovodi do nanopropuštanja, mikropopuštanja, preosjetljivosti i ugrožavanja adhezije (3).

Podjela prema otapalu temelji se na različitoj koncentraciji i vrsti otapala, a danas se kao otapala koriste aceton, alkohol ili voda u koncentraciji od 8 % do 49 %. Aceton se mora nanositi na vlažan dentin jer nema sposobnost reekspanzije kolabirane i presušene kolagenske mreže. On lako prodire kroz ekspanziranu kolagenu mrežu istiskujući vodu, hlapeći i ostavljajući monomere u tim prostorima. Suprotno acetonu, voda ima odličnu sposobnost vlaženja presušanih kolagenih vlakana pa se adhezivi otopljeni u vodi nanose na suhi dentin. Kada bi se koristili na vlažnom dentinu, došlo bi do nemogućnosti evaporacije otapala i razrjeđenja monomera koji bi nedovoljno infiltrirao demineralizirani dentin (1). Taj fenomen

naziva se „nanopropuštanjem“, a karakteriziran je zaostalim molekulama vode (engl. *water-rich zones*) u strukturi hibridnog sloja koje ga čine propusnim i oslabljenim (18). Alkohol kao otapalo funkcionira u vlažnom i u suhom dentinu, uz razliku u postupku primjene. Adheziv otopljen u alkoholu se na vlažni dentin mora nanositi u nekoliko slojeva, a na suhi dentin s produženim kontaktnim vremenom kako bi uspio dovoljno duboko prodrijeti u demineralizirani dentin (1, 3).

4.3.3 Podjela prema interakciji sa zubnim tkivom

Adhezijski sustavi različito reagiraju s tvrdim zubnim tkivima i zaostatnim slojem koji nastaje kao rezultat preparacije kaviteta. S obzirom na vrstu interakcije koju ostvaruju sa površinom zuba razlikujemo: jetkajuće-ispiruće adhezijske sustave, samojetkajuće adhezijske sustave, univerzalne adhezijske sustave i staklenoionomerne adhezijske sustave.

Jetkajuće-ispirujući adhezijski sustavi temelje se na predtretmanu cakline i dentina 35 - 37-postotnom otopinom ortofosforne kiseline koja se ispire nakon 15 do 30 sekundi primjene te na primjeni hidrofilnog *primera* i hidrofobnog *bonda*. Jetkanje rezultira uklanjanjem zaostatnog sloja i selektivnim rastapanjem caklinskih prizmi te demineralizacijom površinskog dentina. Ortofosforna kiselina u caklini stvara makro- i mikroporoznosti, a u dentinu eksponira kolagena vlakna i otapa stijenke dentinskih tubulusa. Zbog svoje niske pH vrijednosti (0,1 – 0,4) djeluje baktericidno na preostale bakterije u kavitetu, a u svrhu pojačavanja antibakterijskih svojstava, često joj se dodaju sredstva poput klorheksidina i benzalkonijevog klorida. Ona također smanjuje aktivnost matriksnih proteinaza koje u dentinu razgrađuju kolagena vlakna i time usporava raspadanje hibridnog sloja (11). Nakon jetkanja, nanosi se temeljni premaz (*primer*) čiji hidrofilni monomeri otopljeni u organskom otapalu vlaže i reekspandiraju ogoljelu kolagenu mrežu. Završni premaz (*bonding*) nanosi se nakon ispuhivanja *primera* kako bi njegovo otapalo ishlapilo, a hidrofobna smola uspjela infiltrirati u međukolagenske prostore i dentinske kanaliće. Polimerizacijom adheziva stvara se hibridni sloj i posljedično mikromehanička retencija kompozitnih restauracija. Prema broju faza rada mogu biti i dvokomponentni, odnosno sadržavati spojenu fazu *primera* i *bonda* u jednoj otopini. Prednosti II sustava očituju se u izvrsnom vezanju na caklinu, zadovoljavajućoj vezi s dentinom i idealnoj debljini hibridnog sloja. Nedostatak im je svakako osjetljivost procedure zbog čega može doći do pogrešaka u primjeni i posljedičnog neuspjeha restauracije (1).

Samojetkajući adhezijski sustavi su kao šesta i sedma generacija predstavili revolucionarni pristup vezanja adheziva uz površinu tvrdih zubnih tkiva. Oni sadrže neispiruće samojetkajuće *primere* koji istovremeno kondicioniraju i infiltriraju površinu zuba, a temeljeni su na fosfatnim ili polikarboksilatnim monomerima i kiselinama. Zaostatni sloj rastapaju i čine ga permeabilnim za monomere, a s obzirom na to da se ne ispiru, otopljeni zaostatni sloj i kristali hidroksiapatita ugrađuju se u jednolični hibridni sloj. Zbog ostataka bakterija u zaostatnom sloju, danas se u SJ adhezijske sustave nastoje inkorporirati antibakterijska sredstva poput MDPB-a. Oni se mogu podijeliti na jedno- i dvokomponentne sustave s obzirom na broj faza primjene, a prema kiselosti dijele se na: krajnje blage (pH > 2,5), blage (pH oko 2), umjereno jake (pH između 1 i 2) i jake (pH ≤ 1). Što je njihova pH vrijednost niža, to je debljina hibridnog sloja veća. Proces hibridizacije dentina temelji se na difuziji monomera, ali je primjenom blagih do umjerenih SJ adheziva moguće i ostvarivanje kemijske veze. Naime, blagom demineralizacijom površinskog dentina, dio kristala hidroksiapatita oko kolagenskih fibrila ostaje očuvan i daje kalcijeve ione za uspostavu stabilnih kalcij-karboksilatnih i kalcij-fosfatnih veza s funkcijskim monomerima SJ adheziva. Nedostatak blagih SJ adheziva je nedostatan jetkanje cakline i sklerotičnog dentina zbog čega se preporuča tehnika selektivnog jetkanja cakline i zatim primjena SJ adheziva. Glavna prednost SJ adhezijskih sustava je njihova jednostavna primjena i manja tehnička osjetljivost što dovodi do smanjenja broja pogrešaka u kliničkom radu i postoperativne preosjetljivosti. Nedostatak im je svakako smanjena snaga vezanja na caklinu (1, 2).

Univerzalni ili višenamjenski adhezijski sustavi (engl. *multi-mode, multi-purpose*) mogu vezati kompozite, cemente i sredstva za pečačenje na caklinu, dentin, stakleni ionomer kao i metale i različite vrste keramika koje se koriste za indirektno restauracije. Pripadaju najnovijoj tehnologiji adhezijskih sustava, a njihova primjena temelji se na najjednostavnijem pristupu, tj. na jednokomponentnom SJ i dvokomponentnom JI pristupu te optimalnom tretmanu svakog supstrata. Sastav im se temelji na kombinaciji hidrofilnog monomera HEMA, hidrofobnog dekandiol-dimetakrilata (D3MA) i Bis-GMA koji je između tih dvaju svojstava čime osiguravaju interakciju između hidrofilne zubne strukture i hidrofobne smole u restaurativnim materijalima. Vrlo važan sastojak univerzalnih adhezijskih sustava je i funkcijski kiseli monomer MDP blagih jetkajućih svojstava i izrazitog afiniteta na caklinu, dentin i metale. MDP djeluje samojetkajuće na dentin i stvara stabilne netopljive soli s kalcijevim ionima rezidualnog hidroksilapatita što smanjuje osjetljivost hibridnog sloja na biodegradaciju. Silansko spojno sredstvo u nekim univerzalnim adhezijskim sustavima

omogućuje adheziju na površini keramike, dok BPDM, PENTA i kopolimeri polialkenoične kiseline pojačavaju adheziju na površini zuba. Velika prednost ovih sustava je što se mogu koristiti kao samojetkajući ili jetkajuće-ispirujući adheziv te u kombinaciji sa selektivnim jetkanjem cakline, ovisno o kliničkom slučaju. Zbog svoje prilagodljivosti i široke primjene, vrlo su korisni u svakodnevnom kliničkom radu (1, 19).

Staklenoionomerni adhezijski sustavi jedini su materijali koji se na tvrdo zubno tkivo vežu primarno kemijski. Ne može ih se u potpunosti svrstati u adhezijske sustave, ali su im po načinu ostvarivanja veze prilično slični. U caklini ostvaruju vezu slično kao dvokomponentni, a u dentinu slično kao jednokomponentni SJ adhezijski sustavi. Prije njihove aplikacije, potrebno je površinu zuba kondicionirati otopinom slabe poliakrilne kiseline 10 do 20 sekundi te ju dobro isprati i posušiti. To će dovesti do uklanjanja zaostatnog sloja, djelomične demineralizacije hidroksiapatita i nastanka poroznosti dubine od 0,5 mikrona. Nanošenjem staklenoionomernog adheziva dolazi do hibridizacije demineraliziranog dentina, ali i ostvarivanja primarne ionske veze između karboksilne skupine poliakrilne kiseline i kalcijevih iona iz preostalog hidroksilapatita oko ogoljele kolagene mreže. Također, stvaraju se i teško topljive kalcijeve soli koje dodatno osiguravaju trajnost primarne kemijske veze (1).

4.3.4 Podjela prema broju kliničkih faza rada

S obzirom na broj koraka u adhezijskom postupku, odnosno prema broju komponenti, adhezijski sustavi mogu se podijeliti na četverokomponentne, trokomponentne, dvokomponentne i jednokomponentne sustave. Četverokomponentni sustavi se sastoje od jetkanja, *priminga*, adheziva i *bondinga*, ali se danas rijetko koriste. Zbog jednostavnosti kliničkog postupka i smanjenja pogrešaka u kliničkom radu, suvremeni adhezivi imaju spojene neke od ovih faza. Tako razlikujemo trokomponentne i dvokomponentne jetkajuće-ispirujuće sustave te dvokomponentne i jednokomponentne samojetkajuće sustave (1).

Trokomponentni II adhezijski sustavi sastoje se od triju zasebnih koraka: jetkanja, *priminga* i *bondinga*. Oni optimalno pripremaju caklinu te ostvaruju najjaču vezu s dentinom što im je prednost. Međutim, relativno su komplicirani za uporabu i troše se nejednoliko te svaki zaseban korak predstavlja mogućnost pogreške. Dvokomponentni II adhezijski sustavi podrazumijevaju zasebno jetkanje te *priming* i *bonding* u istoj bočici. Kako bi se njihovom primjenom stvorio jednoličan i stabilan hibridni sloj, poželjno ih je nanijeti u više slojeva, osobito ako sadrže nanopunilo ili aceton kao otapalo. Jednostavniji su za primjenu od

trokomponentnih i jetkanjem ostvaruju najbolju vezu uz caklinu, ali je često potrebna višestruka aplikacija kako bi se postigla optimalna čvrstoća veze (1, 11).

Dvokomponentni SJ adhezijski sustavi sadrže sredstva za jetkanje i *priming* u jednoj bočici, a *bond* u drugoj. S obzirom na to da je korak jetkanja izbjegnut, nema rizika od presušivanja ili pretjeranog vlaženja dentina. Brzo se apliciraju te ostvaruju dodatnu kemijsku vezu u dentinu stabilizirajući hibridni sloj. Nedostatak im je što u caklini ne ostvaruju dostatnu vezu pa je potrebno selektivno jetkati caklinu što može kompromitirati vezanje uz dentin. Najjednostavniju primjenu imaju jednokomponentni SJ adhezijski sustavi budući da su sva tri koraka sjedinjena u jednu fazu. Ipak, moraju se nanositi u više navrata i potrebno je prethodno jetkanje cakline da bi se uz nju mogli vezati. Nedostatak im je i što nisu kompatibilni s kemijski i dvojno polimerizirajućim kompozitnim materijalima (1, 2).

5. KLINIČKA PRIMJENA ADHEZIJSKIH SUSTAVA

Način na koji se upotrebljavaju i apliciraju suvremeni adhezijski sustavi određuju upute proizvođača pojedinih adheziva. Ipak, svim sustavima je zajedničko da se u zasebnim ili spojenim koracima odvijaju jetkanje, *priming* i *bonding*. Jetkanje predmnijeva primjenu 35 – 37-postotne ortofosforne kiseline, njeno ispiranje i pažljivo sušenje površine tvrdih zubnih tkiva. Razlikujemo dva načina jetkanja: selektivno jetkanje samo cakline u trajanju od maksimalno 15 sekundi te potpuno jetkanje cakline (15 – 30 sekundi) i dentina (najviše 15 sekundi). Selektivno jetkanje se najčešće koristi kod uporabe samojetkajućih adheziva s obzirom da oni nedovoljno jetkaju caklinsku strukturu, dok zadovoljavajuće djeluju na površinu dentina. Ovisno o vrsti otapala, *primer* se četkicom nanosi na suhu ili vlažnu površine tvrdog zubnog tkiva, a ovisno u uputama se može ili aktivno utrljavati oko 20 sekundi (kod SJ adheziva) ili ostaviti da djeluje oko 30 sekundi (kod JI adheziva). Zatim ga je potrebno posušiti ispuhivanjem zraka kako bi njegovo otapalo isparilo te kako bi kod SJ adheziva završila reakcija jetkanja. Nakon toga slijedi primjena *bonda* kojeg treba obilno utrljati četkicom, nekada i u više slojeva kako bi se dobio jednoličan sloj te blago ispuhati. Kao završni korak slijedi svjetlosna polimerizacija adheziva u trajanju od 10 – 20 sekundi prema uputama proizvođača. Svaki pojedini korak predstavlja mogućnost pogreške u kliničkom postupku koja će negativno utjecati na kvalitetu i trajanje adhezivne veze. To mogu biti: prejetkavanje dentina, nedostatno ispiranje jetkajuće kiseline, presušivanje ili ostavljanje pretjerano vlažne zubne površine, neodgovarajuća aplikacija *primera*, nepotpuno hlapljenje otapala, pretjerano sušenje adheziva i njegova nepravilna polimerizacija. Ove kliničke pogreške dovode do slabljenja veze između adhezijskog sustava i dentina te nastanka rubne pukotine što uzrokuje mikropropuštanje, bakterijsku kolonizaciju, sekundarni karijes i na kraju narušavanje estetike i funkcije same restauracije. Pacijenti zbog toga mogu osjećati bolne senzacije i preosjetljivost zuba (1, 14).

Iako su adhezijski sustavi nastali kao dio restaurativne dentalne medicine, svoju primjenu danas nalaze u brojnim granama dentalne medicine. Svakako se najčešće koriste pri postavljanju izravnih kompozitnih ispuna kao posrednici u njihovom svezivanju i retenciji na tvrda zubna tkiva. Kompatibilni su sa svim vrstama tekućih i čvrstih kompozitnih materijala, ali i s kompomerima (1). Samostalno se mogu koristiti u svrhu prekrivanja dentinske rane u plitkim i srednje dubokim kavitetima, kao i sredstvo terapije kod preosjetljivosti zubnih vratova. Neki autori preporučaju upotrebu adhezijskih sustava za direktno prekrivanje pulpe na temelju istraživanja njihovog utjecaja na cijeljenje eksponirane pulpe mladih trajnih zubi (20). Međutim, u smjernicama Europskog endodontskog udruženja o terapiji dubokih karijesnih

lezija i eksponirane pulpe iz 2019. godine navodi se da su adhezijski sustavi kontraindicirani zbog svoje citotoksičnosti, izostanka stvaranja dentinskog mosta i lošeg kliničkog ishoda (21).

Vrlo je značajna njihova primjena u endodonciji gdje se upotrebljavaju za postizanje adhezije s interradikularnim dentinom pri cementiranju intrakanalnih kolčića. U tu svrhu se mogu koristiti jetkajuće-ispirajući ili samojetkajući adhezijski sustavi. Kod primjene JI sustava, korijenski kanal ne smije se jetkati više od 15 sekundi te ga je potrebno dobro isprati i osušiti papirnatim štapićima. Adheziv se u korijenski kanal nanosi mikročetkicama, a višak odstranjuje papirnatim štapićima nakon čega se polimerizira. Kako bi adhezija bila uspješna, neki intrakanalni kolčići zahtijevaju predtretman jetkanjem, pjeskarenjem ili nanošenjem silana. Primjenu SJ adheziva u korijenskom kanalu je teže kontrolirati, ali su zbog jednostavnosti popularniji od JI sustava, iako još nije utvrđena njihova klinička dugotrajnost. S obzirom na negativan utjecaj eugenola na adheziju u dentinu, važno je prije adhezijskog cementiranja temeljito očistiti ostatke gutaperke i punila sa stijenki korijenskih kanala uz obilno ispiranje. Smatra se kako ispiranje korijenskih kanala natrijevim hipokloritom (NaOCl) i otopinom etilendiamintetraoctene kiseline (EDTA) pridonosi snazi adhezije jer se tako uklanja zaostatni sloj što poboljšava prodiranje smolastih zubaca u dentinske kanaliće duž korijenskog kanala. S druge strane, neka istraživanja pokazuju negativan utjecaj NaOCl-a na adhezijsku vezu te se preporuča ispiranje klorheksidinom (22).

Razvoj adhezijskih sustava doveo je do mogućnosti uporabe estetskih materijala u izradi fiksnoprotetskih nadomjestaka. Naime, oni se koriste kod primjene kompozitnih cemenata, tj. adhezijskog cementiranja nadomjestaka izrađenih od kompozita ili keramike: inleja, onleja, overleja, estetskih ljusti i krunica. Mogu se koristiti JI ili SI adhezijski sustavi te se ovisno o izboru sustava površine tvrdih zubnih tkiva moraju adekvatno pripremiti prema uputama proizvođača. Najčešće se caklina mora jetkati do 20 sekundi, a dentin najviše 10 sekundi otopinom ortofosforne kiseline. Sloj adheziva koji se nakon predtretmana nanosi na zub mora se blago ispuhati i, ovisno o vrsti adhezijskog sustava, polimerizirati odmah ili kasnije zajedno s kompozitnim cementom. Kompozitni fiksnoprotetski nadomjestci moraju se prije cementiranja pjeskariti i premazati adhezivom, a keramički nadomjestci tretirati fluorovodičnom kiselinom i silanom, uz poseban oprez jer pretjerano jetkanje sprječava adheziju nadomjestka. Adhezijski sustavi omogućavaju vrlo jaku adheziju fiksnoprotetskih nadomjestaka u caklini zbog čega se mogu raditi poštudne preparacije zuba i posljedično tanki estetski nadomjestci (23).

Svoju primjenu su adhezijski sustavi pronašli i u drugim stomatološkim disciplinama, npr. kod lijepljenja ortodontskih bravica ili kompozitnih splintova u parodontologiji. Daljnjim napretkom adhezijskih sustava, povećavat će se broj načina na koji se mogu primjenjivati u svakodnevnoj kliničkoj praksi.

6. BUDUĆNOST ADHEZIJSKIH SUSTAVA

Svakodnevni rad u stomatološkoj ordinaciji nezamisliv je bez uporabe adhezijskih sustava i njihovih brojnih mogućnosti primjene. Konstantnim unaprjeđivanjem adhezijskih sustava nastoji se proširiti spektar njihovih terapijskih mogućnosti, pojednostaviti njihovu kliničku primjenu i poboljšati njihove kliničke rezultate.

Vjeruje se da se budućnost adhezijskih sustava temelji na bioaktivnim/biomimetičkim svojstvima pomoću kojih adhezivi mogu poticati oštećeno zubno tkivo na reparaciju. Istraživanja su pokazala kako je moguće postići terapijsku remineralizaciju demineraliziranog dentina u sklopu hibridnog sloja ili karijesom razorenog dentina primjenom eksperimentalnih bioaktivnih adhezijskih sustava. Kako bi se potaknuli bioaktivni procesi unutar demineraliziranog dentina, specifični ioni poput kalcijevih i fosfatnih iona moraju infiltrirati u prostore veličine nekoliko nanometara između kolagenih vlakana. Pokazalo se kako je to moguće uporabom eksperimentalnih smolastih materijala koji otpuštaju amorfne kalcijeve fosfate u kombinaciji s *primerima* koji sadrže biomimetičke analoge fosfoproteina. Njihovom primjenom dolazi do izmjene vode u sklopu hibridnog sloja s kalcijevim i fosfatnim ionima što povećava njegovu čvrstoću. Također, otpuštanje tih iona uzrokuje povećanje čvrstoće remineraliziranog dentina, inaktivaciju kolagenskih proteaza i posljedično produljeno trajanje adhezijske veze. Ovaj reparativni proces nazvan je „*bottom-up*“ remineralizacijom (14, 24).

Istražuju se i prednosti flouridnih iona i antibakterijskih sredstava dodanih adhezijskim sustavima, naročito u smislu sprječavanja nastanka sekundarnog karijesa. Smatra se kako adhezijski sustavi koji otpuštaju flouridne ione mogu pojačati snagu adhezije prevencijom nastanka mikropropuštanja jer imaju mogućnost stvoriti zone otporne na djelovanje kiselina bakterija (25). Antibakterijska sredstva u adhezijskim sustavima djeluju baktericidno na rezidualne bakterije u dentinu, ali mogu djelovati kao inhibitori enzima koji postupno razgrađuju kolagena vlakna u sklopu hibridnog sloja. Ti se enzimi zovu metaloproteinaze i katepsini te su aktivirani jetkanjem, a svojom aktivnošću negativno djeluju na trajanje i jačinu adhezijske veze. Iz tog razloga intenzivno se istražuju sredstva koja ih inaktiviraju, a mogu biti dodana adhezijskim sustavima: klorheksidin, kvaterni amonijevi metakrilati, flouridi itd. (14).

Najnovije generacije samojetkajućih adhezijskih sustava predstavljaju naprednu tehnologiju koja uvelike pojednostavljuje klinički postupak. Ipak, radi se na njihovom unapređenju i smanjivanju njihovih nedostataka koji su uglavnom posljedica miješanja hidrofobnih i hidrofilnih komponenti u jednu bočicu (26).

Danas se od stomatologa očekuju prije svega estetska rješenja nadoknade tvrdih zubnih tkiva, kao i njihova funkcionalnost. To je moguće ostvariti primjenom adhezijskih sustava koji estetskim materijalima osiguravaju dugotrajno i uspješno vezivanje na tvrda zubna tkiva. Zbog svoje sposobnosti mikromehaničkog vezanja na caklinu i na dentin, ali i stvaranja kemijskih veza u dentinu, omogućavaju dobru adheziju i kod minimalno invazivnih preparacija. Zato se može reći da je pojava adhezijskog postupka jedno od najvećih postignuća dentalne medicine.

Adhezijski se sustavi intenzivno razvijaju od pedesetih godina prošlog stoljeća i do danas se nisu prestali razvijati. Potrebno ih je konstantno unaprjeđivati u smislu poboljšanja fizičko-mehaničkih svojstava i olakšavanja kliničkog postupka primjene. Primjena jetkajuće-ispirućih sustava koja se sastoji od tri temeljna koraka – jetkanja, nanošenja *primera* i premazivanja *bondom* iza kojeg slijedi svjetlosna polimerizacija – predstavlja nešto duži klinički postupak s povećanim rizikom od pogrešaka. Ipak, njime se postižu visoke vrijednosti adhezijske veze, posebice na caklini. Veliki napredak u razvoju adheziva predstavljaju samojetkajući adhezijski sustavi, osobito oni jednokomponentni, jer su brzi i učinkoviti za korištenje, što je svakom doktoru dentalne medicine, ali i pacijentu vrlo važno. Također, imaju sposobnost ostvarivanja kemijske veze između smole i dentina. Međutim, mana samojetkajućih sustava je u nedostatnoj vezi uz površinu cakline što zahtijeva njihov daljnji napredak.

Na smanjenju nedostataka adhezijskih sustava radi se svakodnevno, kao i na otkrivanju njihovih novih terapijskih mogućnosti. Posebno su važna istraživanja o njihovim bioaktivnim svojstvima i sposobnosti da na tvrdo zubno tkivo djeluju reparativno. Budućnost adhezijskih sustava leži u sredstvima koja će poboljšati njihovu sposobnost adhezije i smanjiti broj neuspješnih restauracija.

Razvojem adhezijske dentalne medicine, došlo je do mogućnosti uporabe visoko estetskih materijala koja svezivanje na tvrda zubna tkiva ostvaruju adhezijom. Adhezijski sustavi vrlo su značajni dentalni materijali jer se mogu koristiti u gotovo svim granama dentalne medicine: restaurativnoj dentalnoj medicini, endodonciji, dječjoj i preventivnoj dentalnoj medicini, fiksnoj protetici, ortodonticiji i parodontologiji. Upravo je zbog njihove široke primjene posebno važno da tehnologija adhezijskih sustava svakodnevno napreduje.

Svakom kliničaru od velike je važnosti njihova jednostavna primjena, ali i optimalna svojstva koja jamče dugotrajne i uspješne kliničke rezultate. Posebno je važno da doktor dentalne medicine prati upute proizvođača o postupku primjene pojedinog adhezijskog sustava jer će tako do izražaja doći njihove prednosti, a pogreške u proceduri biti svedene na minimum. Samim time će primjena adhezijskih sustava biti uspješna, a pacijent zadovoljan estetikom i funkcijom restauracije.

9. POPIS LITERATURE

1. Tarle Z. Adhezijski sustavi. U Tarle Z. i suradnici. Restaurativna dentalna medicina. Zagreb: Medicinska naklada; 2019. p. 211-26.
2. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. *Dental Materials*. 2011;27:17-28.
3. Tarle Z. Caklinsko-dentinski adhezijski sustavi. U Jerolimov V. i suradnici. Osnove stomatoloških materijala, Zagreb; 2005. p. 201-10.
4. Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent*. 2003;28:215-35.
5. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res*. 1982;16:265-73.
6. Pashley DH. Smear layer: overview of structure and function. *Proc Finn Dent Soc*. 1992;88(1):215-24.
7. Gregoire G, Ahmed Y. Evaluation of the enamel etching capacity of six contemporary self-etching adhesives. *J Dent*. 2007;35:388-97.
8. Van Landuyt KL, De Munck J, Mine A, Cardoso MV, Peumans M, Van Meerbeek B. Filler debonding and subhybrid-layer failures in self-etch adhesives. *J Dent Res*. 2010;89:1045-50.
9. Gwinnett AJ, Matsui A. A study of enamel adhesives: The physical relationship between enamel and adhesives. *Arch Oral Biol*. 1967;12(12):1615-9.
10. Fusuyama T. New concepts in operative dentistry. Tokyo: Quintessence Publishing Co., Inc.; 1980. p. 61-156.
11. Pashley DH, Tay FR, Breschi L, Tjäderhane L, Carvalho RM, Carrilho M, Tezvergil-Mutluay A. State of art etch-and-rinse adhesives. *Dental Materials*. 2011;27:1-16.
12. Kanca J. Improved bond strength through acid-etching of dentin and bonding to wet dentin surfaces. *J Am Dent Assoc*. 1992;123:35-43.
13. Nakabayashi N, Nakamura M, Yasuda N. Hybrid layer as a dentin-bonding mechanism. *Journal of esthetic and restorative dentistry*. 1991;3(4):133-8.
14. Miletic V, Sauro S. Bonding to tooth tissues. U Miletic V. *Dental composite materials for direct restorations*. Springer International Publishing; 2018. p. 199-218.
15. Hebling J, Pashley DH, Tjäderhane L, Tay FR. Chlorhexidine arrests subclinical degradation of dentin hybrid layers *in vivo*. *J Dent Res*. 2005;84:741-6.
16. Imazato S, Kuramoto A, Takahashi Y, Ebisu S, Peters MC. *In vitro* antibacterial effects of dentin primer of Clearfil Protect Bond. *Dent Mater*. 2006;22:527-32.

17. Šutalo J i suradnici. Patologija i terapija tvrdih zubnih tkiva. Zagreb: Naklada Zadro; 1994. p. 538.
18. Sofan E, Sofan A, Palaia G, Tenore G, Romeo U, Migliau G. Classification review of dental adhesive systems: from the IV generation to the universal type. *Ann Stomat.* 2017;8(1):1-17
19. Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, Horner JA, Matthews WG, Pashley DH. Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. *Oper Dent.* 1995;20:18-25.
20. Hanabusa M, Mine A, Kuboki T, Momoi Y, Van Ende A, Van Meerbeek B, De Munck J. Bonding effectiveness of a new „multi-mode“ adhesive to enamel and dentine. *J Dent.* 2012;40(6):475-84.
21. Schmalz G, Arenholt-Bindslev D. Biocompatibility of dental materials. Verlag Berlin Heidelberg: Springer; 2009. Chapter 5, Resin-based composites; p. 99-137.
22. Prskalo K. Zaštita pulpe. U Tarle Z. i suradnici. *Restaurativna dentalna medicina.* Zagreb: Medicinska naklada; 2019. p. 152-64.
23. Jakovac M, Knežević Čizmić A. Poslijeendodonska opskrba zuba. U Tarle Z. i suradnici. *Restaurativna dentalna medicina.* Zagreb: Medicinska naklada; 2019. p. 332-42.
24. Jakovac M. Neizravne restauracije. U Tarle Z. i suradnici. *Restaurativna dentalna medicina.* Zagreb: Medicinska naklada; 2019. p. 314-26.
25. Sauro S, Pashley DH. Strategies to stabilise dentin-bonded interfaces through remineralising operative approaches – state of art. *Int J Adhes Adhes.* 2016;69:39-57.
26. Shinohara MS, De Goes MF, Schneider LFJ, Ferracane JL, Peneira PNR, Di Hipolito V, Nikaido T. Flouride-containing adhesive: Durability on dentin bonding. *Dent Mater.* 2009;25(11):1383-91.
27. Nishiyama N, Suzuki K, Yoshida H, Teshima H, Nemoto K. Hydrolytic stability of methacrylamide in acidic aqueous solution. *Biomaterials.* 2004;25:965-9.

Marta Horvat rođena je 20. kolovoza 1995. godine u Zagrebu. Djetinjstvo provodi u Šenkovcu gdje pohađa Osnovnu školu Ivana Perkovca. Prirodoslovno-matematičku V. gimnaziju u Zagrebu završava 2014. godine te iste godine upisuje Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Članica je Pjevačkog zbora Stomatološkog fakulteta „Z(u)bor“ od njegova osnutka 2015. godine. U sklopu zbora je 2018. godine primila Rektorovu nagradu za društveno koristan rad u akademskoj i široj zajednici. Sudjeluje u organizaciji „Dentakla“ – spektakla studenata dentalne medicine 2018. i 2019. godine. Za vrijeme studija asistira u dvije privatne stomatološke ordinacije u Zagrebu.