

Arzu Tezvergil-Mutluay och Leo Tjäderhane

## Aktuella tendenser inom dental adhesion

Adhesiva tekniker har förbättrats väsentligt under de senaste årtiondena och används nu vid de flesta tandrestaureringar. Men det är inte alltid lätt att få en god försegling på grund av emaljens och dentinets olika egenskaper. Emaljbindning, gjord efter syraetsning med fosforsyra, har visat sig vara tillfredsställande och stabilt över tid [1]. Det beror på frånvaron av kollagen och på det höga mineralinnehållet (96 viktprocent hydroxylapatit) i emalj och på att emalj är torrare än dentin. Å andra sidan har det varit svårt och mindre hållbart att fästa till dentin [2–4]. Dentin innehåller en betydande mängd vatten och organiskt material, huvudsakligen typ I-kollagen [5]. Den här fuktiga och organiska beskaffenheten hos dentin försvårar bonding.

**K**avitetspreparation resulterar i att ett löst sittande 1–5 µm tjockt lager slipdebrisskikt, smear layer, bildas på tandytan [6]. Eftersom smear layer bildar en instabil barriär kan den tas bort med syraetsning. Den kan också stabiliseras med adhesiv som kan tränga igenom skiktet så att man får en mer stabil bindning. I den konventionella adhesionsstrategin tar ets-och-skölj(etch-and-rinse)-adhesiver bort smear layer och ytlig hydroxylapatit genom separat etsning och bygger på mikromekanisk retention. *I den andra strategin gör självetsande adhesiv smear layer genomträngligt utan att skiktet avlägsnas (tabell 1).* Den mekaniska kopplingen är ytligare än för konventionella adhesiver, och dessutom är några av dem kemiskt interaktiva med kvarvarande hydroxylapatit, ungefär som glasjonomerer. En tredje strategi är material med inneboende

kapacitet att binda till tandstrukturer, som glasjonomercement och de nyligen utvecklade adhesiva cementen [7].

### Ets-och-skölj-adhesiver

*Ets-och-skölj-adhesiver är de vanligast använda bindnings-systemen.* De omfattar tre eller två appliceringssteg (figur 1, tabell 1). Dentin och emalj behandlas först med en syragel för att ta bort smear layer och för att demineralisera de ytliga hydroxylapatitkristallerna. Syran sköljs sedan bort med vatten.

### Ets-steg

Både tre- och två-stegs ets-och-skölj-adhesiver bygger på en liknande adhesionsmekanism. Emaljetsning med 32–37% fosforsyra löser apatitkristallerna och bildar mikroporositeter, ökar ytstorleken och också ytenergin, utan att ändra ytans kemiska sammansättning [8, 9]. I dentin tar syrabehandlingen bort smear layer och demineraliserar 5–8 µm intertubulär dentinyta och exponerar underliggande kollagen. Men dentin är i demineraliserad form mycket känsligt för uttorkning och när kollagenet kollapsar hindrar det adhesiva från att infiltrera och därmed skapa en effektiv bonding. [10]. Därför har det visat sig att en något fuktig miljö ökar bindingskvaliteten och definierades som «wet-bonding»-teknik.

### Priming-steget

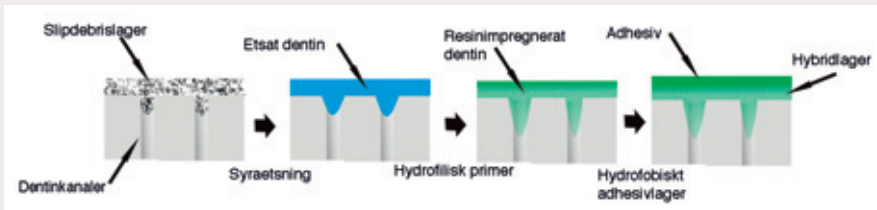
Konventionella primers i ets-och-skölj-systemen består av polymeriserbara monomerer i en organisk lösning som etanol eller acetone [11]. De innehåller vatten och lösningar som är rika på hydroxyetylmetakrylat (HEMA) för att få en expansion av den demineraliserade kollagenmatrisen och väta kollagenet med hydrofiliska monomerer. För att få en bra bindning är det viktigt att återexpandera kollagenmatrisen om den efter syraetsning och sköljning kollapsat av lufttorkning [12]. Primerns funktion är att fukta kollagenfibrer och att tränga undan vatten ända ner till det fulla djupet av demineraliseringen.

Primerlösningen är en viktig faktor som påverkar hanterin-

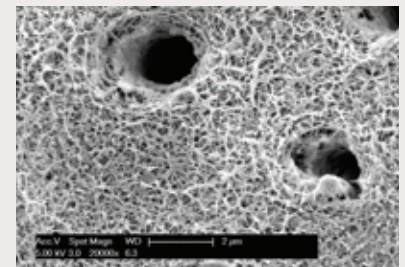
### Forfattare

Arzu Tezvergil-Mutluay, Academy research fellow, adjunct professor, prosthodontics. Department of Prosthetic Dentistry and Turku Clinical Biomaterial Center, Institute of Dentistry, University of Turku, Turku, Finland

Leo Tjäderhane, professor, Department of Pedodontics, Cariology and Endodontology, Institute of Dentistry, University of Oulu, Oulu, Finland



Figur 1. I tre-steps ets-och-skölj-adhesivsystem används syra för att avlägsna smear layer från dentinet och för att avlägsna peritubulärt dentin så att kanaldiametern ökar. Den etsade ytan primerbehandlas sedan med metakrylatmonomerer i en lösning för att expandera och förbehandla dentinmatris. Därefter appliceras ett lösningsfritt, hydrofobt adhesivlager som sprids in i den primade ytan och ner i tubuli och ljushärdas.



Figur 2. Bild tagen med ett svepelektronmikroskop (SEM) visar de öppna dentinkanalen och exponerade kollagenfibrer efter syraetsning. Denna kollagenmatrix fungerar som substrat för bildandet av hybridlagret (Foto: Dr Franklin R. Tay, med tillstånd).

gen av [13] och prestandan hos [12] adhesiver. Vattenbaserade adhesiver anses vara mest förlåtande avseende hanteringsfel, som exempelvis variationer i dentinets fuktighet. Men det kan vara svårt att kontrollera fuktigheten djupt nere i dentinet med vidöppna tubuli [14], och även vatten som finns kvar i limfogen [15] kan äventyra hållbarheten. Därför kräver vatten eller vatten/etanolbaserade primers noggrann avdunstning av lösningsmedel [14]. Acetonbaserade adhesiver saknar vatten men kräver däremot en utmanande wet-bonding teknik. På grund av acetonets höga ångtryck riskerar det att avdunsta alltför snabbt och därmed inte dehydrera matrisen.

#### Adhesiv-steget

I tre-steps ets-och-skölj-bondingsystem är bindingsresinet normalt fritt från lösningsmedel. Det relativt hydrofoba adhesivskiktet täcker primerbehandlat dentin och kapslar in de exponerade kollagenfibrerna (figur 2) vilket resulterar i det så kallade hybridlagret. Lösningsfritt adhesiv har värden för vattensorption och vattenlöslighet som är mindre än hälften av vad man ser hos två-steps ets-och-skölj-adhesiver [16, 17]. I två-steps ets-och-skölj-bondingsystem är primer och adhesivt resin kombinerade i samma vätska som därför också innehåller lösta hydrofoba och hydrofila monomerer.

#### Problem med ets-och-skölj-bondingsystem

Trots framgångarna för ets-och-skölj-adhesivsystem för bindning till emalj, ledde *teknikkänsligheten* med dentinbindning och oregelbundenheter vid inkapslingen av kollagenet i hela den demineraliserade zonen fram till utvecklingen av självetsande adhesivsystem. Trots detta anses bruk av tre-steps, ets-och-skölj-adhesiver ännu i dag vara «gylene standard».

#### Självetsande adhesivsystem

Självetsande adhesiver utvecklades för att minska antalet appliceringssteg och öka användarvänligheten (figur 3, tabell 1). De avser att eliminera risken för alltför mycket etsning och torkning. Självetsande adhesiver kräver inte separat etsning och sköljning

eftersom de består av en vattenblandning av syramonomerer (som fosforsyra eller karboxylsyrastrar) som samtidigt etsar och tränger in i emalj och dentin [11]. Resultatet blir att det upplösta smear layer och lösningsprodukter inte sköljs bort utan införlivas i hybridlagren [18, 19].

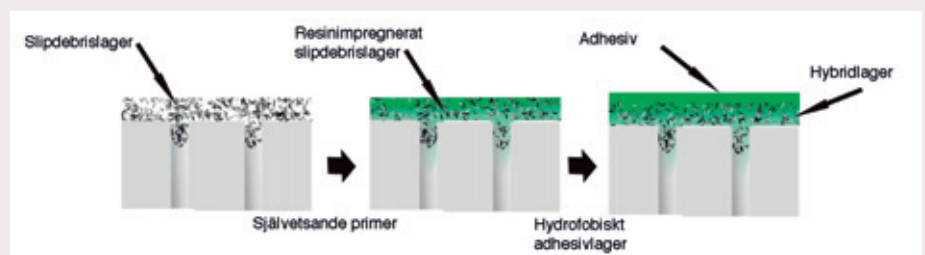
#### Två-steps självetsande adhesivsystem

I det första steget i två-steps självetsande adhesiv ingår surgjorda hydrofila monomerer som samtidigt etsar och primerbehandlar det exponerade kollagenätverket. Det andra steget innehåller ett mer hydrofobt bindningsresin. Detta steg gör kopplingen mer vattenavstötande och förseglar bindningen mer effektivt.

#### En-steps självetsande adhesivsystem

I en-steps (så kallade allt-i-ett) adhesivsystem finns komponenterna för etsning, priming och resinbindning i samma blandning.

Vatten är en väsentlig komponent i självetsande adhesiver eftersom det behövs vid joniseringen av syramonomerer. Att helt ta bort vatten från hybridlagret är inte realistiskt [20], något som skapar oro kring polymerisationen av adhesivet. Detta gäller också för de höga koncentrationerna av lösningsmedel som kan orsaka sämre polymerisation vid ofullständig avdunstning [21]. Surheten hos de självetsande adhesivsystemen varierar mellan pH 0,9 och 2,5. De kan klassificeras som milda, moderata eller starka beroende på sur-



Figur 3. Användning av två-steps självetsande adhesivsystem. Den självetsande primern appliceras på den smear layer-täckta emalj- eller dentinytan. Primern etsar genom smear layer och in i toppen på smear-pluggar och lösningsmedlet avdunstar. Sedan lösningsmedlet avdunstat förseglas det primade dentinet med ett lager av hydrofobt adhesivt resin och ljushärdas.

Tabell 1. Exempel på i dag tillgängliga ets-och-skölj och självetsande adhesivsystem. Bindningsstrategier beskrivs generellt och olikheter kan förekomma, till exempel antal rekommenderade appliceringar av primer och/eller adhesivt resin.

Bindningsstrategi	Adhesivsystemets namn	Tillverkare
<b>Tre-steps ets-och-skölj-adhesivsystem</b> – Syraetsning med (vanligen) 37 % fosforsyra – Sköljning; torkning, efterlämnar ytan något fuktig (blank) – Applicering av primer – Avdunstning av lösningsmedel – Applicering av bindningsresin – Luftblästring av bindningsresin – Ljushärdning	Adper Scotchbond Multi-Purpose	3M ESPE, Seefeld, Tyskland
	All Bond 2/All Bond 3	Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA
	ProBond	Dentsply, Konstanz, Tyskland
	OptiBond/Optibond FL	Kerr, Orange, CA, USA
	Gluma Solid Bond	Heraeus Kulzer, Hanau, Tyskland
	Solobond Plus	VOCO, Cuxhaven, Tyskland
	Syntac	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein
	Clearfil Liner Bond	Kuraray Medical Inc., Tokyo, Japan
<b>Två-steps ets-och-skölj-adhesivsystem</b> – Syraetsning med (vanligen) 37 % fosforsyra – Sköljning; torkning, ytan lämnas något fuktig (blank) – Applicering av primer/adhesivt resin – Avdunstning av lösningsmedel – Ljushärdning	Adper Scotchbond 1XT (Single Bond Plus)	3M ESPE
	One Step/One Step Plus	Bisco
	Optibond Solo Plus/Optibond Solo Plus Dual Cure	Kerr
	Gluma Comfort Bond	Heraeus Kulzer
	Prime and Bond NT/Prime and Bond NT dual cure	Dentsply
	Solobond M	VOCO
	Clearfil New Bond	Kuraray
	HelioBond	Ivoclar
	Superbond C&T	Sun Medical Co., Shiga, Japan
<b>Två-steps självetsande adhesivsystem</b> – Applicering av en sur primer – Avdunstning av lösningsmedel – Applicering av bindningsresin – Avdunstning av lösningsmedel – Ljushärdning	Adper Scotchbond SE	3M ESPE
	All Bond SE	Bisco
	OptiBond Solo Plus self-etch	Kerr
	Clearfil SE Bond/Clearfil Protect Bond Clearfil Liner Bond 2	Kuraray
	Peak Self-etch	Ultradent Products, Inc., Salt Lake City, UT, USA
<b>En-steps självetsande adhesivsystem</b> – Applicering av sur primer/adhesiv resin – Avdunstning av lösningsmedel – Ljushärdning	Adper EASY Bond/ Adper Prompt L-Pop	3M ESPE
	Adhe SE One	Ivoclar Vivadent
	Optibond All-in-one	Kerr
	FuturaBond NR	VOCO
	iBond	Heraeus Kulzer
	Xeno V	Dentsply
Clearfil S3Bond	Kuraray	

heten [22]. Därför kan etsningseffektivitet och mönster hos dessa produkter variera kraftigt. Användning av starka (surare) självetsande adhesiv är gynnsamt för bindning till emalj. Milda etsningssystem ger bättre bindning till dentin, men demineraliserar emalj mindre effektivt än traditionell fosforsyra. För några av de milda självetsande adhesivsystemen rekommenderar också tillverkarna selektiv etsning av emaljen med fosforsyra innan applicering av adhesiven.

Två-steps och några en-steps självetsande adhesivsystem har relativt högre pH vilket resulterar i grundare emaljdemineralisering jämfört med fosforsyra. Men både uppruggning av emalj för att ta bort aprismatisk emalj eller en separat emaljetsning med fosforsyra förbättrar förmågan hos självetsande adhesiver att binda till emalj [23]. Om bindningen till emalj kan vara ett problem med milda preparat, har bindning till dentin med två-steps självetsande adhesivsystem gett resultat som liknar dem man fått med den «gylle

standarden», tre-steps ets-och-skölj-adhesiver. En del två-steps självetsande adhesiv visar sig även ha en kemisk interaktion mellan karboxyl/fosfatgrupper av funktionella monomerer och hydroxylapatit [24]. Det har rapporterats goda kliniska resultat för några två-steps självetsande adhesiv [25, 26]. Generellt har selektiv emalj etsning följt av normal applicering av ett två-steps självetsande adhesiv rekommenderats för bästa resultat [26]. Förutom pH-värdet hos den självetsande lösningen, påverkar andra faktorer som agitering under applicering, viskositet, smear layers tjocklek och vätningsegenskaper det erhållna demineraliseringsdjupet och infiltrationen för självetsande adhesiver [27, 28].

#### *Problem i samband med förenklade ets-och-skölj och självetsande adhesiv*

Trots användarvänligheten och låg teknikkänslighet har förenklade adhesivsystem (två-steps ets-och-skölj och en-steps självetsande) resulterat i låg bindningsstyrka in vitro [25, 29] och inte helt optimala kliniska resultat [26]. På grund av dess hydrofila egenskaper och avsaknaden av ett skyddande hydrofobt resinskikt kan det härdade adhesivskiktet fungera som ett genomträngligt membran [30] och tillåta vattenrörelser när det appliceras på fuktigt dentin. Retikulära mönster från *nanoläckage* (så kallade 'water trees') har hittats inne i adhesivlagret hos förenklade adhesiver. De anses representera platser där vatten inte har avlägsnats fullständigt med efterföljande bristande polymerisation av resin. Detta leder till lägre bindningsstyrka och mindre hållbarhet [30].

Blandningar som innehåller HEMA har en benägenhet för hög vattenabsorption och vid polymerisation bildar HEMA-vattenblandningar en hydrogel. Å andra sidan har HEMA-fria lösningar en tendens till fasseparation. Detta kan leda till låg bindningsstyrka på grund av formering av resindroppar och bristande bildning av så kallade resin-tags och resulterar ofta kliniskt i postoperativ känslighet. Dessutom gör de komplexa blandningarna av hydrofiliska och hydrofobiska monomerer och lösningsmedel i förenklade adhesiv, huvudsakligen allt-i-ett-adhesiv, dem mer teknikkänsliga. Lufttorkning är viktigt för att avlägsna så mycket som möjligt av vatten och lösningsmedel [31, 32]. Det kan dock resultera i överförtunning av adhesivlagren på några ställen i kaviteten och överskott av adhesiv på andra ställen [33]. Det resulterar i varierande skikt-tjocklek och mycket tunna områden som tenderar med bristande polymerisation på grund av den snabba syrehämningen [33]. När fyllningsmaterial appliceras ovanpå detta lager kan det tränga undan adhesiven och kompositen kommer då i direkt kontakt med hybridlagret. Det är viktigt att ha ett skikt med härdad adhesiv mellan fyllningsmaterial och hybridlager för att undvika problemen med tunna syreinhärdade skikten. En annan konsekvens av de komplexa monomerblandningarna är degradering av monomer i flaskan på grund av hydrolys av estergrupper i resin [34], vilket begränsar lagringstiden. För att komma till rätta med detta problem använder en del tillverkare två-komponent en-stepsadhesiv för att separera vatten från de funktionella monomererna tills de ska appliceras. Dessa produkter kräver således att två komponenter blandas omedelbart före applicering (till exempel Adper Prompt-L-Pop, 3M ESPE, Futurabond NR, Voco).

## **Material med bindningsegenskaper**

### *Restaureringsmaterial*

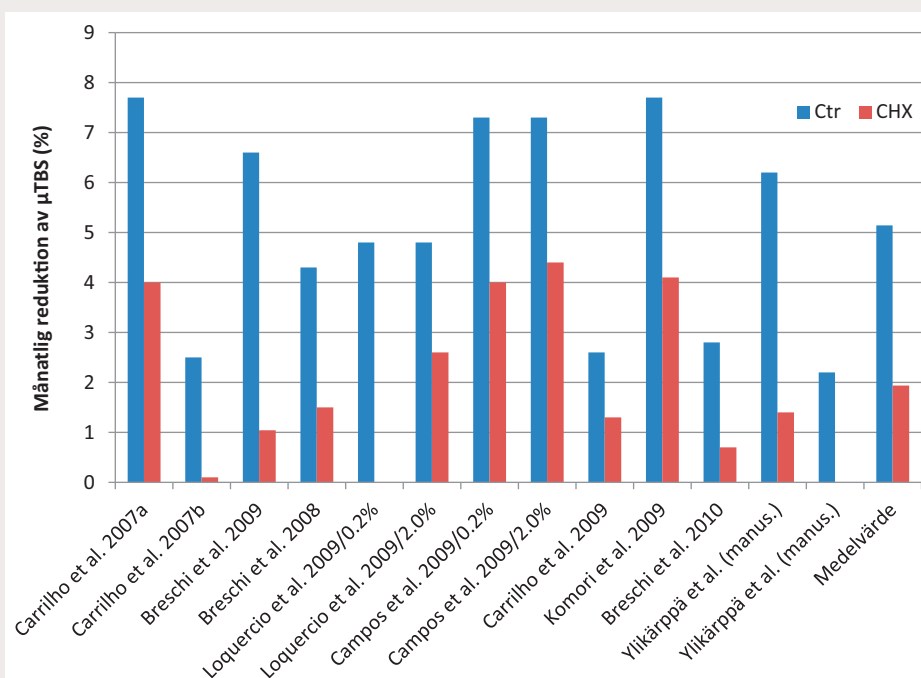
Glasjonomerer eller resinmodifierade glasjonomerer binder till tandstruktur genom en specifik kemisk reaktion kombinerad med submikron hybridisering [26]. Glasjonomerer är syra-basreaktionscement som innehåller en reaktiv glasbas som lakar ur joner och en vattenlösning av polykarboxylsyra, vanligen polyakrylsyra. För att förbättra egenskaperna utvecklades resinmodifierade glasjonomerer genom att man tillförde resinkomponenter till glasjonomercement. Bindning av glasjonomer till tandstrukturen bygger huvudsakligen på kemisk interaktion genom jonbyte. Den resinmodifierade versionen ger en ytterligare mikromekanisk koppling av cementet till dentinkanaler. Adhesionen är beroende av både en begränsad demineralisering av emalj och dentin genom polykarboxylsyra och infiltration, och på en kemisk adhesion mellan kalcium i hydroxylapatit och polykarboxylsyra. Detta resulterar i formering av ett tunt hybridlager (0,5–1 µm) [7, 26]. Applicering av polyakrylsyra för att konditionera kaviteten förbättrar bindningen genom att den avlägsnar smear layer, demineraliserar tandhårdvävnaden och också genom kemisk bindning till resterande hydroxylapatit [35]. Frisättning, upptag och åter frisättning av fluorid anses vara viktiga karieskyddande egenskaper hos glasjonomerer genom att hindra demineralisering och medverka till remineralisering. Hittills har studier visat på över 90 % retentionsvärde för upp till fem år i kariesfria cervikala fyllningar [36] och till och med över 75 % överlevnad i kaviteter av belastningsklass II [37].

### *Cement*

Nyligen introducerade cement med adhesiva egenskaper betraktas som «självadhesiva material» [26]. Cement med adhesiva egenskaper är relativt nya och information om deras sammansättning och adhesiva egenskaper är begränsad. De har multifunktionella monomerer och fosforsyragrupper för att åstadkomma en samtidig demineralisering och infiltration av dentin och emalj. På samma sätt som reaktionerna i glasjonomercement reagerar fosforsyragrupper med alkaliska fillerpartiklar vilket resulterar i ett stelmat material [38]. Men samverkan med dentinet är yttlig och något hybridiskt kan inte observeras [39]. Medan bindningen till dentin tycks vara acceptabel verkar adhesionen till emalj vara mycket lägre än för konventionella system [38].

### **Degradering av resin bundet till dentin**

Den begränsade hållbarheten hos resin-dentinbindningar orsakas delvis av hydrolys av hydrofiliska resin-komponenter som ett resultat av vattenupptag och svällning, och möjliga attacker från esteras i saliv [17, 40], och delvis genom degraderingen av exponerade kollagenfibrer genom endogena matrixmetalloproteinaser (MMP) som härstammar från demineraliserat dentin [41, 42]. MMP är en grupp enzymer som kollektivt kan bryta ned extracellulära proteiner, däribland kollagen, och dentin innehåller flera medlemmar av MMP-familjen [43–45]. De är normalt inaktiva i den mineraliserade dentinmatrixen men syraetsning eller applicering av självetsande adhesivsystem frilägger och aktiverar MMP [41, 46]. Både *in vitro*- och *in vivo*-studier har antytt att MMP-hämning i hybridla-



Figur 4. Effekten av klorhexidin (CHX) på draghållfasthet ( $\mu$ TBS) i studier med jämförbar design. I tio *in vitro*-studier och en *in vivo*-studie på människa [49] användes samma adhesiv (Adper™ Scotch-bond™ 1, 3M ESPE) och liknande CHX-behandling (0,2 % eller 2,0 % KHX-lösning applicerad på syraetsade kaviteter före applicering av adhesiv). Resultaten av dessa två studier med både 0,2 % och 2,0 % CHX-koncentrationer presenteras separat. Staplarna visar procentsatsen för förlust av bindningsstyrka per månad under studien (från sex till 24 månader) för kontrollgrupper (CTR) och CHX-behandlade prover. Medelvärdena visar den genomsnittliga månatliga förlusten av bindningsstyrka hos kontrollgrupperna (5,1 %) och CHX-behandlade prover (1,9 %).

gret med klorhexidin (KHX) är ett lovande försök att förbättra resin-dentinbindningens hållbarhet hos ets-och-skölj-adhesiver [47–49]. Kliniska data över effekten av dessa behandlingar på restaurationer är emellertid inte tillgängliga. För närvarande finns endast begränsad information tillgänglig om långtidseffekten av KHX. Studier av syraetsad dentin i 30–60 s med 0,2 till 2 % klorhexidin visar emellertid på omkring 1,9 % förlust i bindningsstyrka jämfört med 5 % förlust i obehandlade grupper (figur 4). KHX har också kunnat eliminera minskningen i bindningsstyrka *in vivo*: efter 14 månader i klinisk behandling minskade bindningsstyrkan hos KHX-behandlade kompositfyllningar med endast 1,5 % medan minskningen i kontrollgruppen var 35 % [49]. Klorhexidin används redan kliniskt medan andra åtgärder för att hämma MMP i dentin också har studerats med lovande resultat [50, 51].

### Kliniska rekommendationer

Bindning till emalj görs fortfarande bäst med ets-och-skölj-förfarandet. *In situ*-polymerisationen av adhesivt resin i den av etsning skapade mikroreliefen skapar en hållbar mikromekanisk retention. Emaljbindningen inte bara försluter restaureringskanten effektivt utan skyddar också den ömtåliga dentinbindningen mot nedbrytning. Bindning till emalj med ets-och-skölj-system är stark och hållbar tack vare en effektiv förmåga att väta och impregnera etsad emalj.

I ets-och-skölj-adhesiva system är avdunstning av lösningsmedel ett kritiskt steg. Etanol-vattenbaserade primers applicerade på lätt fuktat dentin, följt av ordentlig avdunstning av lösningsmedlet kan vara det säkraste sättet.

Både tre-stegs ets-och-skölj-adhesivsystem och milda två-stegs självetsande adhesivsystem uppvisar kliniskt tillförlitlig bindning till dentin. Kliniskt fungerar tre-stegs ets-och-skölj adhesiva system bättre än två-stegssystem och två-stegs självetsande adhesivsystem är bättre än en-stegs (allt-i-ett) självetsande system. En-stegs (allt-i-ett) självetsande adhesivsystem är ofta kliniskt ineffektiva.

### English abstract

Tezvergil-Mutluay A, Tjäderhane L.

### Current concepts in dental adhesion

Nor Tannlegeforen Tid 2011; 121: 26–32.

The use of restorative materials along with adhesive techniques has become routine in today's dental practice. However, the longevity of the adhesive restorations mainly depends on good bonding between restorative material and tooth structure, which should be achieved *in situ*, within minutes. While bonding to enamel is reliable through micromechanical retention, bonding to dentin presents challenges due to the moist structure of dentin. Contemporary adhesive techniques are based on the removal of the smear layer (etch-and-rinse adhesive systems) or incorporation of smear layer (self-etch adhesive systems) into the bonded interface. There are also restorative materials with adhesive properties as glass-ionomer as well as newly introduced luting cements. Attempts to simplify the number of steps in adhesive systems have resulted in compromises in terms of bonding effectiveness, mechanical properties and shelf-life. Good resin encapsulation of the etched dentin is essential to minimize degradation. Additional therapeutic agents such as chlorhexidine might increase the durability of resin-dentin bonds *in vitro*.

## Referenser

1. Frankenberger R, Tay FR. Self-etch versus etch-and-rinse adhesives: effect of thermo-mechanical fatigue loading on marginal quality of bonded resin composite restorations. *Dent Mater.* 2005; 21: 397–412.
2. Spencer P, Wang Y. Adhesive phase separation at the dentin interface under wet bonding conditions. *J Biomed Mater Res.* 2002; 62: 447–56.
3. Dijken van JWV. Durability of three simplified adhesive systems in Class V non-carious cervical dentin lesions. *Am J Dent.* 2004; 17: 27–32.
4. Van Meerbeek B, Van Landuyt K, De Munck J, Hashimoto M, Peumans M, Lambrechts P et al. Technique sensitivity of contemporary adhesives. *Dent Mater J.* 2005; 24: 1–13.
5. Torneck CD. Dentin-Pulp Complex. In: Ten Cate AR, ed. *Oral Histology: Development, Structure and Function*, 5th ed. Mosby Inc., 1998: 150–96.
6. Bowen RL, Eick JD, Henderson DA, Anderson DW. Smear layer: removal and bonding considerations. *Oper Dent Suppl.* 1984; 3: 30–4.
7. 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.
8. Fusuyama T. *New Concepts in Operative Dentistry*. Chicago III: Quintessence Publishing Co. Inc; 1980.
9. Perdigão J. New developments in dental adhesion. *Dent Clin N Am.* 2007; 51: 333–57.
10. Kanca J. Improved bond strength through acid etching of dentin and bonding to wet dentin surfaces. *J Am Dent Assoc.* 1996; 123: 35–43.
11. Vaidyanathan TK, Vaidyanathan J. Recent advances in the theory and mechanism of adhesive resin bonding to dentin: a critical review. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2009; 2: 558–78.
12. Carvalho RM, Mendonça JS, Santiago SL, Silveira RR, Garcia FC, Tay FR, et al. Effect of HEMA/solvent combinations on bond strength of dentin. *J Dent Res.* 2003; 82: 597–601.
13. Tay FR, Gwinnett AJ, Wei SHY. Micromorphological spectrum from overdrying to overwetting acid-conditioned dentin in water-free, acetone based single bottle primers/adhesives. *Dent Mater.* 1996; 12: 236–44.
14. Spencer P, Ye Q, Park J, Topp EM, Misra A, Marangos O et al. Adhesive/dentin interface: the weak link in the composite restoration. *Ann Biomed Eng.* 2010; 38: 1989–2003.
15. Pashley DH, Ciucchi B, Sano H. Permeability of dentin to adhesive agents. *Quintessence Int.* 1993; 24: 618–31.
16. Fabre HSC, Fabre S, Cefaly DFG, de Oliveira Carrilho MR, Garcia FC et al. Water sorption and solubility of dentin bonding agents light-cured with different light sources. *J Dent.* 2007; 35: 253–8.
17. Ito S, Hashimoto M, Wadgaonkar B, Svizero N, Carvalho RM, Yiu C et al. Effects of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity. *Biomaterials.* 2005; 26: 6449–59.
18. Tay FR, Carvalho R, Sano H, Pashley DH. Effect of smear layers on the bonding of a self-etch primer to dentin. *J Adhes Dent.* 2000; 2: 99–116.
19. Tay FR, Sano H, Carvalho R, Pashley EL, Pashley DH. An ultrastructural study of the influence of acidity of self-etching primers and smear layer thickness on bonding to intact dentin. *J Adhes Dent.* 2000; 2: 83–98.
20. Ikeda T, De Munck J, Shirai K, Pashley EL, Pashley DH et al. Effect of evaporation of primer components on ultimate tensile strengths of primer-adhesive mixtures. *Dent Mater.* 2005; 21: 1051–8.
21. Cadenaro M, Breschi L, Rueggeberg FA, Suchko M, Grodin E, Agee K et al. Effects of residual ethanol on the rate and degree of conversion of five experimental resins. *Dent Mater.* 2009; 25: 621–8.
22. Pashley DH, Tay FR. Aggressiveness of contemporary self-etching adhesives Part II: etching effects on unground enamel. *Dent Mater.* 2001; 17: 430–4.
23. Frankenberger R, Lohbauer U, Roggendorf MJ, Naumann M, Taschner M. Selective enamel etch reconsidered better than etch-and-rinse and self-etch? *J Adhes Dent.* 2008; 10: 338–44.
24. Yoshida Y, Nagakane K, Fukuda R, Nakayama Y, Okazaki M, Shintani H et al. Comparative study on adhesive performance of functional monomers. *J Dent Res.* 2004; 83: 454–8.
25. Peumans M, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: A systematic review of current clinical trials. *Dent Mater.* 2005; 21: 864–81.
26. Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, Van Ende A, Neves A, De Munck J. Relationship between bond strength tests and clinical outcomes. *Dent Mater.* 2010; 26: 100–21.
27. Oliveira SS, Marshall SJ, Hilton JF, Marshall GW. Etching kinetics of a self-etching primer. *Biomaterials.* 2002; 23: 4105–12.
28. Toledano M, Osorio R, de Leonardi G, Rosales-Leal JI, Ceballos L, Cabrerizo-Vilchez MA. Influence of self-etching primer on the resin adhesion to enamel and dentin. *Am J Dent.* 2001; 14: 205–10.
29. De Munck J, Shirai K, Yoshida Y, Inoue S, Van Landuyt K, Lambrechts P et al. Effect of water storage on the bonding effectiveness of 6 adhesives to Class I cavity dentin. *Oper Dent.* 2006; 31: 456–65.
30. Tay FR, Frankenberger R, Krejci I, Bouillaguet S, Pashley DH, Carvalho RM, Lai CN. Single-bottle adhesives behave as permeable membranes after polymerization. I. In vivo evidence. *J Dent.* 2004; 32: 611–21.
31. Hashimoto M, Tay FR, Ito S, Sano H, Kaga M, Pashley DH. Permeability of adhesive resin films. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2005; 74: 699–705.
32. Hashimoto M, Tay FR, Svizero NR et al. The effects of common errors on sealing ability of total-etch adhesives. *Dent Mater.* 2006; 22: 560–8.
33. Van Meerbeek B, Inoue S, Perdigão J et al. Enamel and dentin adhesion. In: *Fundamentals in Operative Dentistry. A contemporary approach*. Quintessence Publishing Co, Inc, Carol Stream, IL, USA: pp. 178–235.
34. Salz U, Zimmermann J, Zeuner F, Moszner N. Hydrolytic stability of self-etching adhesive systems. *J Adhes Dent.* 2005; 7: 107–16.
35. Tyas MJ. Milestones in adhesion: glass ionomer cements. *J Adhes Dent.* 2003; 5: 259–66.
36. Tyas MJ, Burrow MF. Clinical evaluation of a resin-modified glass ionomer system: results at five years. *Oper Dent.* 2002; 27: 438–41.
37. Scholtanus JD, Huysmans MC. Clinical failure of class-II restorations of a highly viscous glass-ionomer material over a 6-year period: A retrospective study. *J Dent.* 2007; 35: 156–62.
38. Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Self-adhesive cements: a literature review. *J Adhes Dent.* 2008; 10: 251–8.
39. Goracci C, Cury AH, Cantoro A. Microtensile bond strength and interfacial properties of self-etching and self-adhesive resin cements used to lute composite onlays under different seating force. *J Adhes Dent.* 2006; 8: 327–35.
40. Liu BA, Jaffer F, Duff MD, Tang YW, Santerre JP. Identifying enzyme activities with human saliva which are relevant to dental resin composite biodegradation. *Biomaterials.* 2005; 26: 4259–64.
41. Pashley DH, Tay FR, Yiu C, Hashimoto M, Breschi L, Carvalho RM, Ito S. Collagen degradation by host-derived enzymes during aging. *J Dent Res.* 2004; 83: 216–21.
42. Carrilho MR, Tay FR, Donnelly AM, Agee KA, Tjäderhane L, Mazzoni A et al. Host-derived loss of dentin matrix stiffness associated with solubilization of collagen. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2009; 90: 373–80.
43. Martin-de Las Heras S, Valenzuela A, Overall CM. The matrix metalloproteinase gelatinase A in human dentin. *Arch Oral Biol.* 2000; 45: 757–65.

44. Mazzoni A, Mannello F, Tay FR, Tonti GA, Papa S, Mazzotti G et al. Zymographic analysis and characterization of MMP-2 and -9 forms in human sound dentin. *J Dent Res.* 2007; 86: 436–40.
45. Sulkala M, Tervahartiala T, Sorsa T, Larmas M, Salo T, Tjäderhane L. Matrix metalloproteinase-8 (MMP-8) is the major collagenase in human dentin. *Arch Oral Biol.* 2007; 52: 121–7.
46. Nishitani Y, Yoshiyama M, Wadgaonkar B, Breschi L, Mannello F, Mazzoni A et al. Activation of gelatinolytic/collagenolytic activity in dentin by self-etching adhesives. *Eur J Oral Sci.* 2006; 114: 160–6.
47. 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.
48. Carrilho MR, Carvalho RM, de Goes MF, di Hipólito V, Geraldeli S, Tay FR et al. Chlorhexidine preserves dentin bond in vitro. *J Dent Res.* 2007; 86: 90–4.
49. Carrilho MR, Geraldeli S, Tay F, de Goes MF, Carvalho RM, Tjäderhane L et al. In vivo preservation of the hybrid layer by chlorhexidine. *J Dent Res.* 2007; 86: 529–33.
50. Breschi L, Martin P, Mazzoni A, Nato F, Carrilho M, Tjäderhane L et al. Use of a specific MMP-inhibitor (galardin) for preservation of hybrid layer. *Dent Mater.* 2010; 26: 571–8.
51. Tezvergil-Mutluay A, Agee KA, Hoshida T, Tay FR, Pashley DH. The inhibitory effect of polyvinylphosphonic acid on functional MMP activities in human demineralized dentin. *Acta Biomater.* 2010; 6: 4136–42.

*Korrespondens: Arzu Tezvergil-Mutluay, Avdelningen för protetik och Åbo kliniska forskningscenter för biomaterial, Odontologiska fakulteten, Åbo universitet, Lemminkaiskatu 2, FI-20520, Finland.  
E-postadress: arztez@utu.fi*

Artikkelen har gjennomgått ekstern faglig vurdering. ■