

ADHEZNÍ SPOJ A ADHEZIVNÍ SYSTÉMY

II. ČÁST: KLINICKÁ DOPORUČENÍ PRO APLIKACI ADHEZIV

Přehledové sdělení

Michal Dudek, Pavla Sommerová

*Ústav klinické a experimentální stomatologie, 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy,
Všeobecná fakultní nemocnice, Praha*

O AUTOROVI



MUDr. Michal Dudek, Ph.D., (*1981) absolvoval v r. 2005 obor stomatologie na 1. lékařské fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Od ukončení studia pracuje v Ústavu klinické a experimentální stomatologie 1. LF UK a VFN Praha, kde se specializuje zejména na konzervační stomatologii s využitím operačního mikroskopu a diagnostiku pomocí CBCT. V rámci doktorského studia, které dokončil v r. 2013, se věnoval odolnosti adhezivních spojů kompozitních výplní pomocí měření pevnosti vazby a elektronové mikroskopie.

Kontakt: dudek@vus.cz
Ústav klinické a experimentální
stomatologie
1. LF UK a VFN Praha
Karlovo náměstí 32
121 11 Praha 2

SOUHRN: Rozšiřující se indikace pro využití adhezivních systémů ve stomatologii vedou v poslední době k jejich častějšímu používání v zubních ordinacích. Reakcí výrobců na jejich spotřebu je vývoj stále nových produktů a vyznat se mezi jednotlivými typy není jednoduché. Následující text přináší přehled současných adheziv, upozorňuje na možné chyby při jejich použití a nabízí různá doporučení pro jejich aplikaci v klinické praxi.

Klíčová slova: adheziva, adhezivní spoj, adhezivní systémy, klinická doporučení.

ADHESIVE JOINT AND DENTAL ADHESIVE SYSTEMS PART TWO: CLINICAL RECOMMENDATIONS FOR USE OF DENTAL ADHESIVE SYSTEMS

Review article

SUMMARY: Adhesive joint is nowadays profusely used for fixation of modern reconstruction materials to damaged hard dental tissues and thus plays irreplaceable role in dental offices. Orientation in different types of adhesive systems is not easy as there are new products announced constantly. This text brings review of present dental adhesive systems, shows some difficulties in their usage and brings various clinical recommendations for their application in dental office.

Key words: adhesives, adhesive joint, adhesive systems, clinical recommendations.

LKS, 2013, 23(12): 264–270

ÚVOD

Sdělení navazuje na I. část, která byla publikována v minulém vydání časopisu LKS, viz LKS, 2013, 23(11): 234–244. Obecné shrnutí poznatků o různých typech adhezivních systémů (**obr. 5**) doplňuje tato II. část klinickými doporučeními pro aplikaci adheziv.

4. KLINICKÁ DOPORUČENÍ PRO APLIKACI ADHEZIV

Pečlivým dodržením pracovního protokolu v kombinaci s preventivními hygienickými postupy péče o chrup lze dosáhnout dlouhodobé životnosti adhezivně rekonstruovaných zubů (67). Následující klinická doporučení poskytují několik **tipů a triků** pro používání současných adhezivních systémů za účelem vytvoření co nejodolnějšího adhezivního spoje. Níže

popisované techniky nemusí ve speciálních případech platit. Při nejasnostech je proto hlavním kritériem dodržení doporučení výrobce konkrétního materiálu.

4.1 Očistění kavity

4.1.1 Airabrazo

Po preparaci rotačními nástroji mohou v kavitě zůstat různé částice nečistot (např. exogenní pigmenty na dně hlubokých fisur, korozní produkty po předchozí amalgámové výplni). Tyto částice je vhodné odstranit, neboť fyzicky brání ideálnímu vytvoření adhezivního spoje a navíc můžeme jejich přítomnost pod výplní s odstupem času chybně interpretovat jako selhání adhezivního spoje. Jejich odstranění běžnými rotačními nástroji

může však být příliš invazivní. Pro dočištění kavity proto lze s výhodou využít metodu pískování částicemi Al_2O_3 (tj. metoda airabraze), která je minimálně invazivní (68). Airabraze kromě vyčištění pigmentů zahlučuje v kavitě ostré úhly, pomáhá odstranit oslabená sklovinná prizmata na okraji kavity a dále dokáže ztenčit tloušťku smear layer (69). Proto může přispívat ke zvýšení pevnosti vazby pro SEA adheziva s $\text{pH} \geq 2$. Klinicky po airabrazí vidíme sametově matný povrch kavity.

4.1.2 Airpolishing

Před zhotovením krčkových výplní se v klinické praxi často odstraňují exogenní pigmenty z povrchu zubů pomocí profylaktických pískovaček (tj. metoda airpolishing), v mnoha případech se následně tvrdé zubní tkáně již jinak nepreparují a aplikuje se adhezivum a kompozitní materiál. Očištění profylaktickým pískováním částicemi CaCO_3 či NaHCO_3 však nelze před aplikací adheziva doporučit. Airpolishing částicemi CaCO_3 produkuje silnou vrstvu smear layer a pravděpodobně kvůli svému vysokému pH brání standardní hybridizaci, což se projevuje výrazným snížením pevnosti vazby na dentinu pro ERA i SEA adheziva (70). Částice NaHCO_3 mají negativní vliv na pevnost vazby na dentinu pouze pro SEA adheziva, nikoliv pro ERA (71, 72). Čištění profylaktickou metodou airpolishing lze používat pouze s glycinovým práškem nebo krystalickou celulózou, které také odstraní pigmentace, avšak nekompromitují vytvoření plnohodnotného adhezního spoje (70, 72). Airpolishing glycinovým práškem či krystalickou celulózou tak lze s výhodou použít i pro dočištění kavity od pigmentací po preparaci rotačními nástroji.

Pozn.: Zbytky částic, které po airabrazí či airpolishingu zůstávají v kavitě, je nutno dokonale odstranit, např. vysokým tlakem vodní spreje z přístroje na airpolishing s vyprázdněným zásobníkem pro prášek po dobu cca 20 sekund.

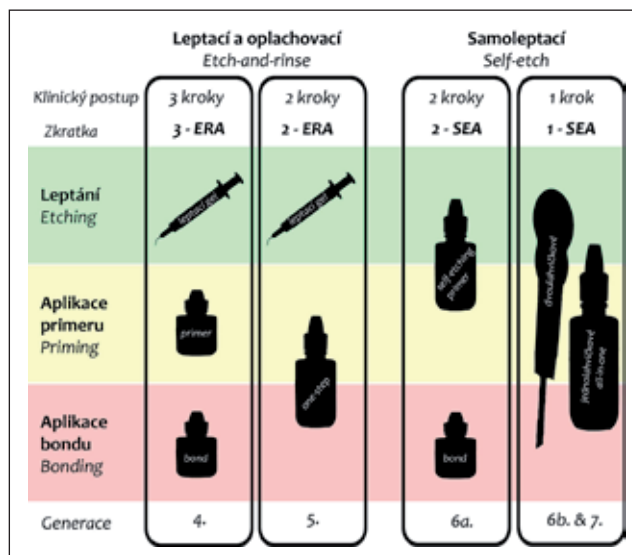
4.2 Příliš dlouhé leptání dentinu kyselinou fosforečnou vede k vytvoření nedostatečně odolného adhezního spoje

Leptání dentinu gelem 37% kyseliny fosforečné po dobu více než 15 sekund vede k obnažení kolagenních vláken v intaktním dentinu do příliš velké hloubky, do které nemohou proniknout monomery adheziva (73). Pod hybridní vrstvou tak zůstává mechanicky málo odolný demineralizovaný dentin, kde jsou kolagenní vlákna holá, a tudíž náchylná k hydrolýze vodou a proteolýze matrixovými metaloproteinázami. Z důvodu prevence přeleptání dentinu proto někteří autoři doporučují zkrátit dobu působení kyseliny pod 15 sekund (74).

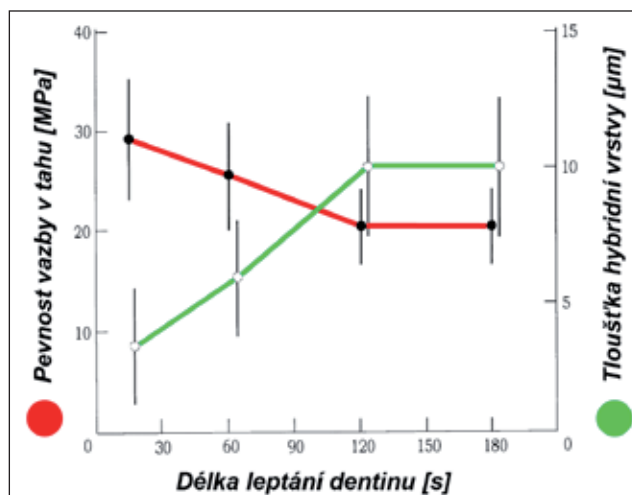
Tlustší hybridní vrstva, jejíž vznik je umožněn delším působením kyseliny na dentin, nepřináší zvýšení, ale naopak pokles pevnosti vazby (obr. 18). Tento jev lze vysvětlit např. tím, že nejslabší místo adhezního spoje je v horní části dentinové hybridní vrstvy (obr. 11). Adhezivum zde přechází z podoby solidní vrstvy do podoby tenoučkových výběžků polymeru mezi spleti kolagenních vláken, přičemž koncentrace polymeru je v této mezifázi nejnižší, a je to tudíž místo nejmenší odolnosti.

Naproti tomu na sklovině je možné leptat 15–60 sekund bez významnějších rozdílů v pevnosti vazby. Proto je v klinické praxi vhodné nejdříve postupně nanést gel kyseliny fosforečné na sklovinné okraje a potom náraz vyplnit celý objem kavity větším množstvím leptacího gelu a měřit výrobcem doporučený čas až od tohoto okamžiku.

Pro vyloučení rizika přeleptání dentinu lze v praxi používat mírně kyselé 2-SEA adheziva. Spolehlivost některých mírně kyselých 2-SEA produktů je vysoká a v kombinaci se selektiv-

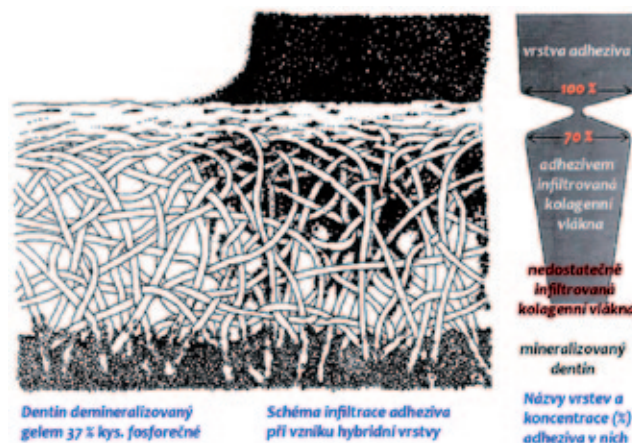


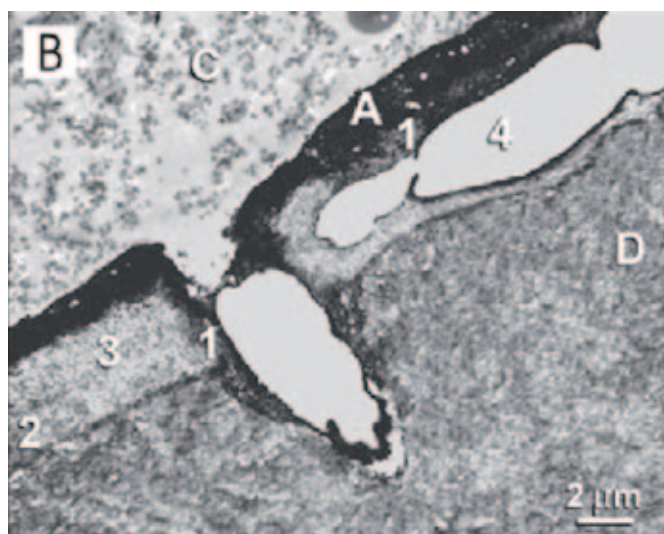
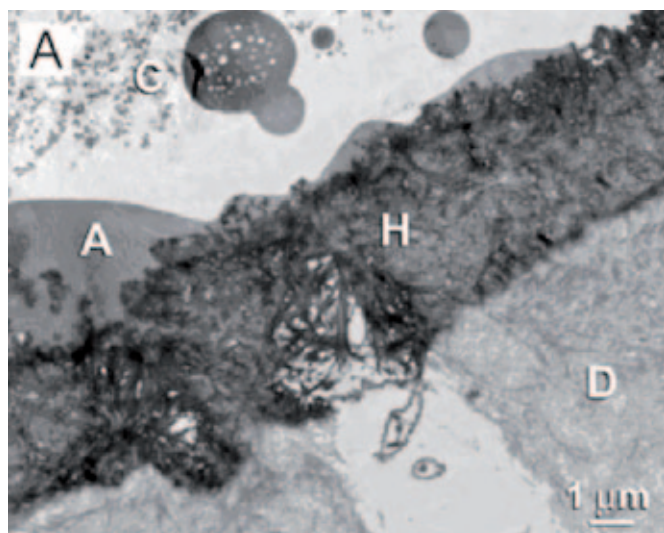
Obr. 5 (viz též LKS 11/2013): Dělení dentálních adheziv dle klinického postupu a strategie tvorby adhezního spoje. Ve spodní části je pro srovnání chronologické dělení dle generací. Schéma dle Van Meerbeeka (15). V obrázku jsou uvedeny názvy jednotlivých komponent adheziv užívané v literatuře a praxi.



Obr. 18: Graf pevnosti vazby v tahu mezi dentinem a kompozitem (červeně) a tloušťky hybridní vrstvy (zeleně) v závislosti na délce leptání dentinu 35% kyselinou fosforečnou. Body znázorňují průměry, od nich vycházející čáry nahoru a dolů znázorňují směrodatné odchylky. Převzato z Hashimoto (73).

Obr. 11 (viz též LKS 11/2013): Schéma vzniku dentinové hybridní vrstvy u ERA adheziv. Zúžení v podobě přesýpacích hodin v pravé části obrázku znázorňuje místo s nejmenší koncentrací monomerů adheziva v hybridní vrstvě, a tudíž místo s nejnižší odolností (viz text). Převzato z Pashley (106).





Obr. 19a, b: Řez hybridní vrstvou kompozitních výplní zhotovených *in vivo* v dutině ústní na kontralaterálních třetích molárech, které byly po 14 měsících extrahovány.

a) Vzorek z experimentální výplně, která byla zhotovena s použitím chlorhexidinu po leptání kyselinou fosforečnou. Hybridní vrstva (H) je dobře obarvena, což značí zachování integrity kolagenních vláken.

b) Vzorek z kontrolní výplně bez použití chlorhexidinu. Hybridní vrstva jeví různé stupně degradace: 1 – integrální zóna bez poškození, 2 – zóna parciální desintegrace kolagenních vláken, 3 – mikrofibrilární zóna, kde byla kolagenní vlákna (fibrily) „rozmotána“ na úroveň mikrovláken (mikrofibril), 4 – zóna kompletní desintegrace, kde kolagenní vlákna byla rozložena na nebarvitelné subjednotky, je vidět amorfní mikroskopický obraz. C = kompozitní výplňový materiál, D = intaktní laboratorně demineralizovaný dentin, A = vrstva adheziva.

Převzato z Carrilho (21).

ním leptáním skloviny gelem kyseliny fosforečné získáváme výhody z obou adhezivních strategií, tj. skvělou vazbu na sklovinu a spolehlivou vazbu na dentin bez rizika jeho přeleptání.

4.3 Leptání skloviny kyselinou fosforečnou zajistí vznik členitého mikroretenčního povrchu

Prvním krokem u ERA je naleptání povrchu kyselinou fosforečnou. Na sklovině je tak vytvořen ideální mikroretenční reliéf, na který se může adhezivum velmi pevně navázat (75).

U adheziv SEA je sklovina leptána kyselými monomery, které ve většině případů takto členitý reliéf vytvořit nedokážou, a proto je jejich vazba na sklovinu méně pevná. Tento hendikep může být plně kompenzován použitím selektivního leptání sklovinných okrajů kyselinou fosforečnou před aplikací SEA, čímž se zajistí pevnost vazby plně srovnatelná s ERA adhezivy. Je však velmi důležité aplikovat leptací gel striktně na sklovinu a nedopustit její aplikaci na dentin, neboť silné naleptání dentinu kyselinou fosforečnou před aplikací SEA vede ke zhoršení pevnosti vazby na něj (76). V případě složité kavity je proto vhodné selektivně leptat pouze dobře viditelná místa sklovinných okrajů a neriskovat naleptání dentinu v méně přehledných místech kavity (např. hluboko uložené sklovinné okraje aproximální stěny). Pozn.: S výhodou je používání operačního mikroskopu.

Přestože v laboratorních podmínkách byl ověřen nárůst pevnosti vazby při použití selektivního leptání skloviny kyselinou fosforečnou před aplikací SEA, klinické studie ukazují, že v případě dodržení všech ostatních zásad není tento krok rozhodující pro dlouhodobý úspěch kompozitních výplní a přináší pouze mírné zlepšení integrity okrajového uzávěru na sklovině (36). Tento volitelný klinický krok může být přínosný zejména v situacích, kdy zhotovujeme rozsáhlé kompozitní výplně, které jsou vystaveny velkým žvýkacím tlakům, a u výplní ve frontálním úseku chrupu, kde zajistí dlouhodobou integritu okrajového uzávěru bez ukládání pigmentů.

4.4 Chlorhexidin chrání kolagenní vlákna v hybridní vrstvě před degradací

Enzymatickou degradaci obnažených kolagenních vláken v hybridních vrstvách lze zastavit či přinejmenším oddálit (77) použitím inhibitorů matrixových metaloproteináz (21, 46, 47, 49). Nejčastěji používanou klinicky ověřenou látkou s tímto efektem je chlorhexidin (CHX). Ukazuje se, že aplikací CHX po leptání kyselinou fosforečnou u ERA adheziv lze předejít poklesu pevnosti vazby u dentinových adhezivních spojů. Potvrzení protektivního účinku CHX na kolagenní vlákna je doloženo i mikroskopickým pozorováním adhezivního spoje (obr. 19a, b).

Pro inhibici MMP lze u ERA adheziv vedle CHX použít i jiné látky, jako např. benzalkonium chlorid (78), kyselinu polyvinylphosphoniovou (79) a další. U SEA adheziv lze pro stejný účel použít např. monomer MDPB (12-methacryloyloxydodecyl pyridinium bromid) (66), který má i antibakteriální vlastnosti a může být polymerizován a zakotven v hybridní vrstvě.

Přestože některé studie ukazují, že protektivní účinek CHX je vlivem jeho vyplavování z hybridní vrstvy pouze dočasný (77), lze jeho používání se současnými hydrofilními ERA adhezivy jednoznačně doporučit (54).

Problematika použití CHX pro inhibici matrixových metaloproteináz byla popsána v samostatném autorově článku *Může chlorhexidin zlepšovat dlouhodobou prognózu kompozitních výplní? Přehled současných literárních poznatků* (80).

Klinický postup spočívá v tom, že po použití a opláchnutí kyseliny fosforečné zaplavíme kavitu 2% vodným roztokem chlorhexidin diglukonátu (např. magistraliter připraveného) a necháme působit po dobu 60 sekund (21). Aby molekuly

CHX zůstaly navázány na kolagenní vlákna, kavitu již nevyplachujeme vodou, ale pouze odsajeme či vyfoukneme přebytečnou vlhkost a pokračujeme v adhezním protokolu.

4.5 Důkladný způsob aplikace adheziv zajistí kvalitní hybridizaci

Aktivní aplikace adheziva (zejm. primeru), tj. jeho míchání v kavitě a vtírání do povrchu mikroštětečkem u SEA, zajistí lepší rozpuštění smear layer a zvýšení pevnosti vazby jak na sklovinu (81), tak na dentin (82).

Aktivní aplikace ERA adheziv přináší také benefit v podobě zvýšení pevnosti vazby na dentin (22, 83, 84) a vedle toho umožňuje spolehlivé používání klinicky jednodušší techniky dry-bonding (85) díky tomu, že mechanický pohyb napomáhá difuzi monomerů do kolabovaných interkolagenních prostor (24) (viz kapitola *Aplikace primeru* v předchozím díle článku v LKS, 2013, 23(11): 234–244).

Opakované nanášení čerstvého adheziva zlepší jeho pufrační kapacitu, difuzi monomerů do mikroretenčního reliéfu, kvalitnější vytěsnění vody z interkolagenní porozity (86, 87) a prodlouží čas interakcí (88), což vyústí ve zvýšení pevnosti vazby (55, 89).

4.6 Důkladná evaporace rozpouštědel a vody zajistí pevnější vrstvu adheziva

V ideálním případě je žádoucí, aby po penetraci adheziva zůstaly ve vznikající hybridní vrstvě pouze polymerizovatelné monomery bez příměsi pomocných rozpouštědel (ethanolu, acetonu) či vody. Přestože se současnými adhezivy není tohoto stavu možné dosáhnout (56), v praxi se mu lze přiblížit pečlivou evaporací rozpouštědel proudem vzduchu, což vede ke zvýšení pevnosti vazby u ERA (27) i SEA adheziv (90, 91). Pokud nezajistíme dostatečnou evaporaci, dochází během polymerace k uvěznění shluků molekul rozpouštědel a vody uvnitř vrstvy adheziva. Tyto defekty mohou být iniciálním místem šíření fraktur při mechanickém zatížení spoje.

Pro evaporaci je vhodné dodržovat následující pravidla:

1. Před evaporací rozpouštědel primeru z kavity zkontrolovat, že v proudu vzduchu z trojcestné stříkačky není příměs vody (např. na odrazové ploše vyšetřovacího zrcátka, kde jsou kapičky vody dobře vidět). Pro účely bezproblémové evaporace lze také použít separátní čisté vzduchovou pistoli.
2. Aplikovat proud vzduchu na povrch kavity po dobu alespoň 10 sekund (v závislosti na velikosti kavity) zprvu zvolna a postupně zvyšovat intenzitu až do maxima, čehož lze dosáhnout postupným přibližováním vzduchové pistole ke kavitě. Pozvolný nárůst intenzity proudu vzduchu zajistí postupnou evaporaci rozpouštědel, přičemž polymerizovatelné monomery zůstanou v kavitě. Dostatečnou míru odpaření rozpouštědel (z primeru v případě 3-ERA a 2-SEA či z celého adheziva v případě 2-ERA a 1-SEA) ověříme tak, že při sušení kavity vzduchem již nepozorujeme žádný pohyb hladiny adheziva a povrch je mírně lesklý.

CAVE! Nárazový intenzivní proud vzduchu směřovaný zblízka na hladinu adheziva v kavitě není žádoucí, neboť tak může dojít k jeho odfouknutí včetně aktivních monomerů.

Pozn.: Přestože u některých ERA adheziv bylo popsáno, že velmi extrémní přesušení primerem penetrovaného povrchu může způsobit nežádoucí kolaps kolagenních vláken (92), toto chování je omezeno na konkrétní produkt a u převážné většiny ostatních adheziv lze důkladnou evaporaci doporučit.

4.7 Adhezivum se pevně zakotví do tvrdých zubních tkání pouze po dostatečné polymeraci

4.7.1 Intenzita světelného toku polymerační lampy

Monomery adheziva pronikají do mikroretenčního reliéfu v tekuté, nezpolymerované formě. Pevného provázání tvrdých zubních tkání a adheziva lze dosáhnout pouze tehdy, pokud dojde ke změně jeho tekuté formy na tvrdou zpolymerovanou hmotu, tj. dojde k dostatečnému stupni konverze monomerů na polymer. Stupeň konverze závisí na intenzitě polymeračního světla a době osvit. Mechanická odolnost nedostatečně zpolymerovaného adheziva se sníženým stupněm konverze je nízká, a proto je v praxi vhodné dodržovat pravidla, která zajistí adekvátní intenzitu polymeračního světla:

1. Vždy polymerovat adhezivum ještě před aplikací první vrstvy kompozitu.
2. Osvěcovat z co nejkratší vzdálenosti a přiložit lampu k zubu pod správným úhlem.
3. Udržovat čistý světlovod lampy.
4. Pravidelně kontrolovat intenzitu světelného toku lampy kalibrováním měřičem.
5. Pro polymeraci adheziva je třeba použít plnou intenzitu světelného toku polymerační lampy (tj. vynechat soft-start nebo jeho dobu nezapočítávat do délky polymerace).
6. Vzhledem k poklesu intenzity světelného toku se čtvrcem vzdálenosti, např. u hlubokých kavit nebo fixace kořenového čepu (93), prodloužit čas světelné polymerace.

4.7.2 Kyslíkem inhibovaná vrstva

Při ztenčování vrstvy bondu proudem vzduchu se může stát, že na některých místech může být její tloušťka menší než 20 µm či se dokonce blížit nule. U takto tenkých vrstev nelze při osvětlení dosáhnout dostatečného stupně konverze kvůli inhibici radikálové polymerace vzdušným kyslíkem. Jejich dodatečnou polymeraci lze zajistit jedním z následujících způsobů:

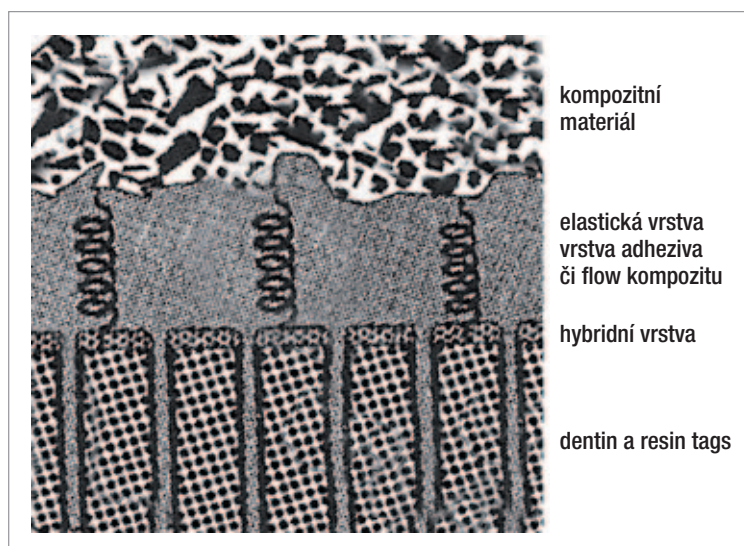
1. Po polymeraci první vrstvy aplikovat další vrstvu adheziva a rovněž ji osvětlit (94, 95).
2. Po polymeraci adheziva aplikovat cca 0,5 mm tlustou vrstvu flow kompozitu a osvětlit jej (96). Nanesením druhé vrstvy materiálu dojde k vytěsnění kyslíku z první vrstvy adheziva a následným osvětlením se zvýší stupeň její konverze, tj. dotuhyne a pevněji se zakotví v tvrdých zubních tkáních.
3. Aplikovat silnější vrstvu bondu adheziva a vůbec ji nerozfoukávat. Tuto techniku lze však použít pouze u 3-ERA a 2-SEA, která navíc obsahují bond naplněný částicemi skelného plniva, což zajišťuje jeho mechanickou odolnost v tlustší vrstvě.

CAVE! Adheziva typu 2-ERA a 1-SEA musí být po své aplikaci vždy vysušena proudem vzduchu za účelem evaporace rozpouštědel (viz výše).

4.8 Homogenní tloušťka vrstvy adheziva zajistí rovnoměrnou distribuci síly mezi zubní tkání a výplňovým materiálem

Nad hybridní vrstvou by měla být přítomna tenká homogenní vrstva adheziva, která přenáší zátěž mezi zubem a výplní. Příliš tenká, tlustá či nehomogenní vrstva může vést k nerovnoměrné distribuci stresu a předčasnému selhání adhezního spoje (95, 97).

Rovnoměrné tloušťky vrstvy adheziva bohužel nelze dosáhnout použitím „mírného“ proudu vzduchu, jak je často uváděno v návodech výrobců, neboť dochází k nahromadění adheziva v rozích kavity a naopak k jejímu přílišnému ztenčení na jejích obvodových stěnách.



Obr. 12 (viz též LKS 11/2013):
Schéma kompenzace kontrakčního
pnutí elastickou intermediární
vrstvou (vyznačeno pružinami).
Převzato z Summitt (12).

Způsoby, jakými lze předvídatelně dosáhnout homogenní tloušťky vrstvy adheziva, jsou obdobné doporučením, která jsou uvedena v kapitole 4.7.2 *Kyslíkem inhibovaná vrstva*. Jsou to:

1. Distribuce adheziva aplikátorem bez použití proudu vzduchu a korekce jeho tloušťky odebráním přebytků adheziva z rohu kavity dalším suchým aplikátorem.
 2. Rozfouknutí adheziva maximálním proudem vzduchu do stejnoměrně tenké vrstvy v celé kavitě, jeho následná polymerace; aplikace a rozfouknutí druhé vrstvy adheziva a její polymerace.
- Získání rovnoměrné vrstvy tímto způsobem se děje na úkor její tloušťky, a proto je nutné aplikaci opakovat. Takto lze postupně kontrolovaně zvětšit vrstvu adheziva. Alternativně lze místo druhé vrstvy adheziva použít flow kompozit.

Rozšíření tloušťky adheziva jeho opakovanou aplikací či nanesením flow kompozitu dochází také k vytvoření „elastické vrstvy“ (obr. 12) mezi hybridní vrstvou a výplňovým materiálem. Uvádí se, že tato elastická vrstva může svou poddajností do určité míry kompenzovat kontrakční pnutí tuhneícího kompozitního výplňového materiálu a zajistit tak zlepšení odolnosti rekonstruovaného zubu (96, 98).

4.9 Adhezní spoj zapečetěný hydrofobní vrstvou je odolný vůči působení vody

U adheziv typu 2-ERA a 1-SEA jsou primer a bond spojeny do jedné směsi. Tato adheziva tedy nezahrnují nanesení čistě hydrofobní vrstvy bondu a jsou i po světelné polymeraci propustná pro vodu (99). Hydrofilní charakter těchto adheziv umožňuje pomalý průnik vody z vlhkého dentinu přímo dovnitř vrstvy adheziva a na její povrch, kde se hromadí v podobě mikroskopických kapiček (9, 100). Kompozitní materiál, který se následně vkládá do kavity, se nemůže dokonale chemicky navázat, neboť kapičky vody fyzicky brání dokonalému kontaktu adheziva s kompozitem a inhibují jejich vzájemnou polymeraci. Na rozhraní kompozitu a adheziva vznikají bublinkové defekty, na kterých dochází k iniciaci trhlin při mechanickém zatížení.

Penetrace vody vrstvou adheziva je poháněna difúzí, osmotickým tlakem a u vitálních zubů též intrapulpním tlakem. Postupný průnik vody adhezivem probíhá nejen během jeho aplikace, ale i po jeho světelné polymeraci a při následném nanášení kompozitního materiálu. Hromadění vody v rozhraní mezi adhezivem a kompozitem se zastaví až v okamžiku, kdy kompozitní materiál zpolymeruje.

Oslabení adhezního spoje popsaným mechanismem se proto projevuje nejvíce v situacích, kdy první vrstva kompozitu není dostatečně rychle zpolymerována. Pomalá, několika-minutová polymerace kompozitu běžně nastává v klinických situacích, kdy používáme chemicky či duálně tuhneící kompozitní materiál (např. fixace intraradikulárního čepu, fixace nepřímé keramické či kompozitní rekonstrukce) a voda má dostatek času proniknout do rozhraní mezi kompozitem a adhezivem (101, 102).

U adheziv typu 3-ERA a 2-SEA se po aplikaci hydrofilního primeru nanáší vrstva hydrofobního bondu, která dokáže výrazně omezit permeabilitu preparovaných tvrdých zubních tkání pro vodu (101, 102, 103) a výše popsaný mechanismus oslabení adhezního spoje se neuplatňuje.

4.10 Další klinické faktory se zásadním vlivem na dlouhodobou odolnost kompozitních rekonstrukcí

1. Izolace pracovního pole.
2. Dodržení preparačních zásad tvaru kavity (zejména dodržení správného úhlu na okrajích kavity a odstranění oslabených tvrdých zubních tkání, které není možné rekonstruovat tak, aby odolávaly žvýkacímu tlaku).
3. Způsob aplikace výplňového materiálu.
4. Kvalita a způsob polymerace.
5. Preventivní hygienické návyky pacienta.

Z výše jmenovaných „tipů a triků“ pro zlepšení odolnosti adhezního spoje vyplývá, že vytvoření lepeného spoje je závislé na komplexním souboru mnoha faktorů a že nedodržení některých zásad může vést ke snížení životnosti rekonstruovaného zubu.

ZÁVĚR

Adhezní spoj se široce uplatňuje nejen v konzervačním zubním lékařství, ale i v protetice při fixaci kompozitních materiálů a dentální keramiky. Dlouhodobá odolnost a stabilita adhezních spojů patří mezi hlavní faktory, které určují životnost těchto rekonstrukcí. Dodržování pravidel pracovního postupu při tvorbě adhezních spojů může tuto dlouhodobou stabilitu zajistit, a má tedy nejen klinický, ale i ekonomický dopad.

Práce vznikla za finanční podpory PRVOUK 28/LF1/6.

Autoři děkují RNDr. Pavlu Bradnovi, CSc., za vedení při studiu adhezních spojů a Ing. Vlastě Fialové, CSc., za revizi textů.

Literatura

1. **Buonocore MG.** A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res*, 1955, 34(6): 849–53.
2. **Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E.** The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res*, 1982, 16(3): 265–73.
3. **Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, et al.** State of the art of self-etch adhesives. *Dent Mater*, 2011, 27(1): 17–28.
4. **Yoshida Y, Van Meerbeek B, Nakayama Y, et al.** Evidence of chemical bonding at biomaterial-hard tissue interfaces. *J Dent Res*, 2000, 79(2): 709–14.
5. **Yoshida Y, Nagakane K, Fukuda R, et al.** Comparative study on adhesive performance of functional monomers. *J Dent Res*, 2004, 83(6): 454–8.
6. **Dudek M, Roubickova A, Comba L, Housova D, Bradna P.** Effect of postoperative peroxide bleaching on the stability of composite to enamel and dentin bonds. *Oper Dent*, 2013, 38(4): 394–407.
7. **Roubickova A, Dudek M, Comba L, Housova D, Bradna P.** Effect of Postoperative Peroxide Bleaching on the Marginal Seal of Composite Restorations Bonded with Self-etch Adhesives. *Oper Dent*, 2013.
8. **Eick JD, Wilko RA, Anderson CH, Sorensen SE.** Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. *J Dent Res*, 1970, 49(6): Suppl:1359–68.
9. **Hashimoto M, Ito S, Tay FR, et al.** Fluid movement across the resin-dentin interface during and after bonding. *J Dent Res*, 2004, 83(11): 843–8.
10. **Pashley DH, Livingston MJ, Greenhill JD.** Regional resistances to fluid flow in human dentine in vitro. *Arch Oral Biol*, 1978, 23(9): 807–10.
11. **Yu XY, Joynt RB, Wiecekowski G, Davis EL.** Scanning electron microscopical and energy dispersive x-ray evaluation of two smear layer-mediated dentinal bonding agents. *Quintessence Int*, 1991, 22(4): 305–10.
12. **Summitt JB, Robbins JW, Hilton TJ, Schwartz RS.** Fundamentals of Operative Dentistry: A Contemporary Approach, Third Edition, 2006.
13. **De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, et al.** A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res*, 2005, 84(2): 118–32.
14. **Bradna P, Vrbova R, Dudek M, Roubickova A, Housova D.** Comparison of bonding performance of self-etching and etch-and-rinse adhesives on human dentin using reliability analysis. *J Adhes Dent*, 2008, 10(6): 423–9.
15. **Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, et al.** Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent*, 2003, 28(3): 215–35.
16. **Cardoso MV, de Almeida Neves A, Mine A, et al.** Current aspects on bonding effectiveness and stability in adhesive dentistry. *Aust Dent J*, 2011, 56(Suppl 1): 31–44.
17. **Swift EJ, Jr., Perdigao J, Heymann HO.** Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art, 1995. *Quintessence Int*, 1995, 26(2): 95–110.
18. **Van Meerbeek B, Dhém A, Goret-Nicaise M, et al.** Comparative SEM and TEM examination of the ultrastructure of the resin-dentin interdiffusion zone. *J Dent Res*, 1993, 72(2): 495–501.
19. **Perdigao J, Denehy GE, Swift EJ, Jr.** Silica contamination of etched dentin and enamel surfaces: a scanning electron microscopic and bond strength study. *Quintessence Int*, 1994, 25(5): 327–33.
20. **Spencer P, Wang Y.** Adhesive phase separation at the dentin interface under wet bonding conditions. *J Biomed Mater Res*, 2002, 62(3): 447–56.
21. **Carrilho MR, Geraldini S, Tay F, et al.** In vivo preservation of the hybrid layer by chlorhexidine. *J Dent Res*, 2007, 86(6): 529–33.
22. **Dal-Bianco K, Pellizzaro A, Patzlaft R, et al.** Effects of moisture degree and rubbing action on the immediate resin-dentin bond strength. *Dent Mater*, 2006, 22(12): 1150–6.
23. **Reis A, Pellizzaro A, Dal-Bianco K, et al.** Impact of adhesive application to wet and dry dentin on long-term resin-dentin bond strengths. *Oper Dent*, 2007, 32(4): 380–7.
24. **Van Meerbeek B, Yoshida Y, Lambrechts P, et al.** A TEM study of two water-based adhesive systems bonded to dry and wet dentin. *J Dent Res*, 1998, 77(1): 50–9.
25. **Kanca J.** Improving bond strength through acid etching of dentin and bonding to wet dentin surfaces. *J Am Dent Assoc*, 1992, 123(9): 35–43.
26. **Tay FR, Gwinnett JA, Wei SH.** Relation between water content in acetone/alcohol-based primer and interfacial ultrastructure. *J Dent*, 1998, 26(2): 147–56.
27. **Hashimoto M, Tay FR, Svirzero NR, et al.** The effects of common errors on sealing ability of total-etch adhesives. *Dent Mater*, 2006, 22(6): 560–8.
28. **Ye Q, Wang Y, Spencer P.** Nanophase separation of polymers exposed to simulated bonding conditions. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 2009, 88(2): 339–48.
29. **Jacobsen T, Soderholm KJ.** Some effects of water on dentin bonding. *Dent Mater*, 1995, 11(2): 132–6.
30. **Choi KK, Condon JR, Ferracane JL.** The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. *J Dent Res*, 2000, 79(3): 812–7.
31. **Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A.** Single-step adhesives are permeable membranes. *J Dent*, 2002, 30(7–8): 371–82.
32. **Sarr M, Kane AW, Vreven J, et al.** Microtensile bond strength and interfacial characterization of 11 contemporary adhesives bonded to bur-cut dentin. *Oper Dent*, 2010, 35(1): 94–104.
33. **Pashley DH, Tay FR.** Aggressiveness of contemporary self-etching adhesives. Part II: etching effects on unground enamel. *Dent Mater*, 2001, 17(5): 430–44.
34. **Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, et al.** Origin of interfacial droplets with one-step adhesives. *J Dent Res*, 2007, 86(8): 739–44.
35. **Wang Y, Spencer P.** Continuing etching of an all-in-one adhesive in wet dentin tubules. *J Dent Res*, 2005, 84(4): 350–4.
36. **Peumans M, De Munck J, Van Landuyt KL, et al.** Eight-year clinical evaluation of a 2-step self-etch adhesive with and without selective enamel etching. *Dent Mater*, 2010, 26(12): 1176–84.
37. **Inoue S, Koshiro K, Yoshida Y, et al.** Hydrolytic stability of self-etch adhesives bonded to dentin. *J Dent Res*, 2005, 84(12): 1160–4.
38. **Van Landuyt KL, Yoshida Y, Hirata I, et al.** Influence of the chemical structure of functional monomers on their adhesive performance. *J Dent Res*, 2008, 87(8): 757–61.
39. **Ermis RB, De Munck J, Cardoso MV, et al.** Bond strength of self-etch adhesives to dentin prepared with three different diamond burs. *Dent Mater*, 2008, 24(7): 978–85.
40. **Koibuchi H, Yasuda N, Nakabayashi N.** Bonding to dentin with a self-etching primer: the effect of smear layers. *Dent Mater*, 2001, 17(2): 122–6.
41. **Mine A, De Munck J, Vivan Cardoso M, et al.** Enamel-smear compromises bonding by mild self-etch adhesives. *J Dent Res*, 2010, 89(12): 1505–9.
42. **Armstrong SR, Keller JC, Boyer DB.** The influence of water storage and C-factor on the dentin-resin composite microtensile bond strength and debond pathway utilizing a filled and unfilled adhesive resin. *Dent Mater*, 2001, 17(3): 268–76.
43. **Burrow MF, Satoh M, Tagami J.** Dentin bond durability after three years using a dentin bonding agent with and without priming. *Dent Mater*, 1996, 12(5): 302–7.
44. **Hashimoto M, Ohno H, Sano H, et al.** Micromorphological changes in resin-dentin bonds after 1 year of water storage. *J Biomed Mater Res*, 2002, 63(3): 306–11.
45. **Okuda M, Pereira PN, Nakajima M, Tagami J, Pashley DH.** Long-term durability of resin dentin interface: nanoleakage vs. microtensile bond strength. *Oper Dent*, 2002, 27(3): 289–96.
46. **Brckett MG, Tay FR, Brckett WW, et al.** In vivo chlorhexidine stabilization of hybrid layers of an acetone-based dentin adhesive. *Oper Dent*, 2009, 34(4): 379–83.
47. **Brckett WW, Tay FR, Brckett MG, et al.** The effect of chlorhexidine on dentin hybrid layers in vivo. *Oper Dent*, 2007, 32(2): 107–11.
48. **Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, et al.** In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years. *J Dent Res*, 2000, 79(6): 1385–91.
49. **Hebling J, Pashley DH, Tjaderhane L, Tay FR.** Chlorhexidine arrests subclinical degradation of dentin hybrid layers in vivo. *J Dent Res*, 2005, 84(8): 741–6.
50. **Sano H, Yoshikawa T, Pereira PN, et al.** Long-term durability of dentin bonds made with a self-etching primer, in vivo. *J Dent Res*, 1999, 78(4): 906–11.
51. **Takahashi A, Inoue S, Kawamoto C, et al.** In vivo long-term durability of the bond to dentin using two adhesive systems. *J Adhes Dent*, 2002, 4(2): 151–9.
52. **Gaengler P, Hoyer I, Montag R, Gaebler P.** Micromorphological evaluation of posterior composite restorations – a 10-year report. *J Oral Rehabil*, 2004, 31(10): 991–1000.

53. **Opdam NJ, Roeters FJ, Feilzer AJ, Verdonchot EH.** Marginal integrity and postoperative sensitivity in Class 2 resin composite restorations in vivo. *J Dent*, 1998, 26(7): 555–62.
54. **Brackett MG, Li N, Brackett WW, et al.** The critical barrier to progress in dentine bonding with the etch-and-rinse technique. *J Dent*, 2011, 39(3): 238–48.
55. **Hashimoto M, Sano H, Yoshida E, et al.** Effects of multiple adhesive coatings on dentin bonding. *Oper Dent*, 2004, 29(4): 416–23.
56. **Kim J, Gu L, Breschi L, et al.** Implication of ethanol wet-bonding in hybrid layer remineralization. *J Dent Res*, 2010, 89(6): 575–80.
57. **Sadek FT, Castellan CS, Braga RR, et al.** One-year stability of resin-dentin bonds created with a hydrophobic ethanol-wet bonding technique. *Dent Mater*, 2010, 26(4): 380–6.
58. **Tay FR, King NM, Chan KM, Pashley DH.** How can nanoleakage occur in self-etching adhesive systems that demineralize and infiltrate simultaneously? *J Adhes Dent*, 2002, 4(4): 255–69.
59. **De Munck J, Van Meerbeek B, Yoshida Y, et al.** Four-year water degradation of total-etch adhesives bonded to dentin. *J Dent Res*, 2003, 82(2): 136–40.
60. **Ferracane JL.** Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater*, 2006, 22(3): 211–22.
61. **Ito S, Hashimoto M, Wadgaonkar B, et al.** Effects of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity. *Biomaterials*, 2005, 26(33): 6449–59.
62. **Tay FR, Pashley DH, Garcia-Godoy F, Yiu CK.** Single-step, self-etch adhesives behave as permeable membranes after polymerization. Part II. Silver tracer penetration evidence. *Am J Dent*, 2004, 17(5): 315–22.
63. **Yiu CK, King NM, Carrilho MR, et al.** Effect of resin hydrophilicity and temperature on water sorption of dental adhesive resins. *Biomaterials*, 2006, 27(9): 1695–703.
64. **Spencer P, Swafford JR.** Unprotected protein at the dentin-adhesive interface. *Quintessence Int*, 1999, 30(7): 501–7.
65. **Nakabayashi N, Ashizawa M, Nakamura M.** Identification of a resin-dentin hybrid layer in vital human dentin created in vivo: durable bonding to vital dentin. *Quintessence Int*, 1992, 23(2): 135–41.
66. **Pashley DH, Tay FR, Imazato S.** How to increase the durability of resin-dentin bonds. *Compend Contin Educ Dent*, 2011, 32(7): 60–4, 66.
67. **Carvalho RM, Manso AP, Geraldeli S, Tay FR, Pashley DH.** Durability of bonds and clinical success of adhesive restorations. *Dent Mater*, 2012, 28(1): 72–86.
68. **de Almeida Neves A, Coutinho E, Cardoso MV, Lambrechts P, Van Meerbeek B.** Current concepts and techniques for caries excavation and adhesion to residual dentin. *J Adhes Dent*, 2011, 13(1): 7–22.
69. **Van Meerbeek B, De Munck J, Mattar D, Van Landuyt K, Lambrechts P.** Microtensile bond strengths of an etch&rinse and self-etch adhesive to enamel and dentin as a function of surface treatment. *Oper Dent*, 2003, 28(5): 647–60.
70. **Frankenberger R, Lohbauer U, Tay FR, Taschner M, Nikolaenko SA.** The effect of different air-polishing powders on dentin bonding. *J Adhes Dent*, 2007, 9(4): 381–9.
71. **Nikaido T, Yamada T, Koh Y, Burrow MF, Takatsu T.** Effect of air-powder polishing on adhesion of bonding systems to tooth substrates. *Dent Mater*, 1995, 11(4): 258–64.
72. **Nishimura K, Nikaido T, Foxton RM, Tagami J.** Effect of air-powder polishing on dentin adhesion of a self-etching primer bonding system. *Dent Mater J*, 2005, 24(1): 59–65.
73. **Hashimoto M, Ohno H, Endo K, et al.** The effect of hybrid layer thickness on bond strength: demineralized dentin zone of the hybrid layer. *Dent Mater*, 2000, 16(6): 406–11.
74. **Kim JR, Jung MR, Park SJ, Choi KK.** The effect of etching time to durability of dentin adhesives. In: Daculsi G and Layrolle P. *Bioceramics 20*. 2. vydání, Trans Tech Publications Ltd, Stafa-Zurich, 2008, 869–872.
75. **Pashley DH, Tay FR, Breschi L, et al.** State of the art etch-and-rinse adhesives. *Dent Mater*, 2011, 27(1): 1–16.
76. **Van Landuyt KL, Kanumilli P, De Munck J, et al.** Bond strength of a mild self-etch adhesive with and without prior acid-etching. *J Dent*, 2006, 34(1): 77–85.
77. **Sadek FT, Braga RR, Muench A, et al.** Ethanol wet-bonding challenges current anti-degradation strategy. *J Dent Res*, 2010, 89(12): 1499–504.
78. **Tezvergil-Mutluay A, Mutluay MM, Gu LS, et al.** The anti-MMP activity of benzalkonium chloride. *J Dent*, 2011, 39(1): 57–64.
79. **Tezvergil-Mutluay A, Agee KA, Hoshika T, Tay FR, Pashley DH.** The inhibitory effect of polyvinylphosphonic acid on functional matrix metalloproteinase activities in human demineralized dentin. *Acta Biomater*, 2010, 6(10): 4136–42.
80. **Dudek M.** Může chlorhexidin zlepšovat dlouhodobou prognózu kompozitních výplní? Přehled současných literárních poznatků. *LKS*, 2009, 19(2): 50–53.
81. **Miyazaki M, Hinoura K, Honjo G, Onose H.** Effect of self-etching primer application method on enamel bond strength. *Am J Dent*, 2002, 15(6): 412–6.
82. **Chan KM, Tay FR, King NM, Imazato S, Pashley DH.** Bonding of mild self-etching primers/adhesives to dentin with thick smear layers. *Am J Dent*, 2003, 16(5): 340–6.
83. **Loguercio AD, Loeblein F, Cherobin T, et al.** Effect of solvent removal on adhesive properties of simplified etch-and-rinse systems and on bond strengths to dry and wet dentin. *J Adhes Dent*, 2009, 11(3): 213–9.
84. **Loguercio AD, Raffo J, Bassani F, et al.** 24-month clinical evaluation in non-carious cervical lesions of a two-step etch-and-rinse adhesive applied using a rubbing motion. *Clin Oral Investig*, 2011, 15(4): 589–96.
85. **Zander-Grande C, Ferreira SQ, da Costa TR, Loguercio AD, Reis A.** Application of etch-and-rinse adhesives on dry and rewet dentin under rubbing action: a 24-month clinical evaluation. *J Am Dent Assoc*, 2011, 142(7): 828–35.
86. **Wang Y, Spencer P.** Hybridization efficiency of the adhesive/dentin interface with wet bonding. *J Dent Res*, 2003, 82(2): 141–5.
87. **Wang Y, Spencer P.** Quantifying adhesive penetration in adhesive/dentin interface using confocal Raman microspectroscopy. *J Biomed Mater Res*, 2002, 59(1): 46–55.
88. **Reis A, de Carvalho Cardoso P, Vieira LCC, et al.** Effect of prolonged application times on the durability of resin-dentin bonds. *Dental Materials*, 2008, 24(5): 639–644.
89. **el-Din AK, Abd el-Mohsen MM.** Effect of changing application times on adhesive systems bond strengths. *Am J Dent*, 2002, 15(5): 321–4.
90. **Jacobsen T, Finger WJ, Kanehira M.** Air-drying time of self-etching adhesives vs bonding efficacy. *J Adhes Dent*, 2006, 8(6): 387–92.
91. **Miyazaki M, Hirohata N, Takagaki K, Onose H, Moore BK.** Influence of self-etching primer drying time on enamel bond strength of resin composites. *J Dent*, 1999, 27(3): 203–7.
92. **Miyazaki M, Platt JA, Onose H, Moore BK.** Influence of dentin primer application methods on dentin bond strength. *Oper Dent*, 1996, 21(4): 167–72.
93. **Aksornmuang J, Nakajima M, Panyayong W, Tagami J.** Effects of photocuring strategy on bonding of dual-cure one-step self-etch adhesive to root canal dentin. *Dent Mater J*, 2009, 28(2): 133–41.
94. **D'Arcangelo C, Vanini L, Prosperi GD, et al.** The influence of adhesive thickness on the microtensile bond strength of three adhesive systems. *J Adhes Dent*, 2009, 11(2): 109–15.
95. **Pashley EL, Agee KA, Pashley DH, Tay FR.** Effects of one versus two applications of an unfilled, all-in-one adhesive on dentine bonding. *J Dent*, 2002, 30(2–3): 83–90.
96. **Unterbrink GL, Liebenberg WH.** Flowable resin composites as “filled adhesives”: literature review and clinical recommendations. *Quintessence Int*, 1999, 30(4): 249–57.
97. **Walshaw PR, McComb D.** Clinical considerations for optimal dentinal bonding. *Quintessence Int*, 1996, 27(9): 619–25.
98. **Rees JS, O'Dougherty D, Pullin R.** The stress reducing capacity of unfilled resin in a Class V cavity. *J Oral Rehabil*, 1999, 26(5): 422–7.
99. **Tay FR, Pashley DH.** Have dentin adhesives become too hydrophilic? *J Can Dent Assoc*, 2003, 69(11): 726–31.
100. **Chersoni S, Suppa P, Grandini S, et al.** In vivo and in vitro permeability of one-step self-etch adhesives. *J Dent Res*, 2004, 83(6): 459–64.
101. **Tay FR, Pashley DH, Yiu CK, Sanarens AM, Wei SH.** Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dual-cured composites. Part I. Single-step self-etching adhesive. *J Adhes Dent*, 2003, 5(1): 27–40.
102. **Tay FR, Suh BI, Pashley DH, et al.** Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and self-cured or dual-cured composites. Part II. Single-bottle, total-etch adhesive. *J Adhes Dent*, 2003, 5(2): 91–105.
103. **Suh BI, Feng L, Pashley DH, Tay FR.** Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dual-cured composites. Part III. Effect of acidic resin monomers. *J Adhes Dent*, 2003, 5(4): 267–82.
104. **Pashley DH, Horner JA, Brewer PD.** Interactions of conditioners on the dentin surface. *Oper Dent*, 1992, Suppl 5: 37–50.
105. **Carvalho RM, Tjäderhane L, Manso AP, Carrilho MR, Carvalho CAR.** Dentin as a bonding substrate. *Endodontic Topics*, 2012, 21(1): 62–88.
106. **Pashley DH, Ciucchi B, Sano H, Horner JA.** Permeability of dentin to adhesive agents. *Quintessence Int*, 1993, 24(9): 618–31.
107. **Armstrong SR, Vargas MA, Chung I, et al.** Resin-dentin interfacial ultrastructure and microtensile dentin bond strength after five-year water storage. *Oper Dent*, 2004, 29(6): 705–12.
108. **Gale MS, Darvell BW.** Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent*, 1999, 27(2): 89–99.