

## بررسی اثر زمان خشک کردن با هوا بر استحکام باند ریزکشتشی یک ادهزیو به عاج

دکتر علیرضا دانش کاظمی<sup>۱</sup> - دکتر عبدالرحیم داوری<sup>۱+</sup> - دکتر سید مجید موسوی نسب<sup>۲</sup> - دکتر علیرضا زاهدی فر<sup>۳</sup>

۱- دانشیار گروه آموزشی ترمیمی و زیبایی و عضو مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت دهان و دندان، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی، یزد، ایران

۲- متخصص دندانپزشکی ترمیمی و زیبایی

۳- دندانپزشک

### Effect of different air-drying periods on microtensile bond strength of an adhesive to dentin

Alireza Daneshkazemi<sup>1</sup>, Abdolrahim Davari<sup>1+</sup>, Majid Mousavinasab<sup>2</sup>, Alireza Zahedifar<sup>3</sup>

1<sup>+</sup>- Associate Professor, Department of Operative Dentistry/ Member of Social Determinants of Oral Health Research Center, School of Dentistry, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran (rdavari2000@yahoo.com)

2- Specialist in Operative Dentistry

3- Dentist

**Background and Aims:** Today, use of adhesive systems is the most common materials in restorative dental procedures. The aim of this study was to evaluate the effect of different air-drying periods on the microtensile bond strength of composite to dentin using adhesive.

**Materials and Methods:** 15 sound molar teeth were selected. The occlusal surfaces of teeth were removed with silicon carbide disks (3M/USA) to reach the flat surface of dentin. Then according to the air drying of solvent, the teeth were divided to five groups. After 5 sec etching and rinsing for 15 sec, the teeth were air dried for 3 sec. Then Singlebond (3M) was used with different air-drying times (0s, 2s, 5s, 10s, 30s) and cured. Then after insertion and curing of Saremco (microhybrid low shrinkage/Switzerland) composite, the teeth were thermocycled for 500 cycles. Then hour glass slabs with 1 mm<sup>2</sup> interface was created. Specimens were then subjected to  $\mu$ TBS force until fracture. Data were analyzed using ANOVA and Bonferroni tests.

**Results:** Statistical tests showed that there were significant differences between bond strength of groups (P=0.002). The mean of  $\mu$ TBS for the 2 Sec and 30 Sec evaporating time was the most and the least values, respectively.

**Conclusion:** An optimum air-drying time for solvent evaporation was the lowest time recommended by the manufacturer. Over and under evaporation time decreased  $\mu$ TBS significantly.

**Key Words:** Adhesive, Bond strength, Dentin

Journal of Dental Medicine-Tehran University of Medical Sciences 2013;26(2):115-23

+ مؤلف مسؤول: یزد- خیابان امام- ابتدای بلوار دهه فجر- دانشکده دندانپزشکی- دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد- گروه آموزشی ترمیمی و زیبایی  
تلفن: ۶۲۲۳۳۲۳ نشانی الکترونیک: rdavari2000@yahoo.com

## چکیده

**زمینه و هدف:** امروزه استفاده از سیستم‌های چسباننده، بخش عمده‌ای از اعمال دندانپزشکی ترمیمی را تشکیل می‌دهند. حلال باقی‌مانده در روی عاج بر روند باند مؤثر است. هدف از این مطالعه ارزیابی اثر زمان‌های مختلف خشک کردن ادهزیو با هوا بر استحکام باند ریزکشی Singlebond و کامپوزیت به عاج بود.

**روش بررسی:** ۱۵ دندان مولر سوم سالم انتخاب شدند. سطح اکلوزال دندان‌ها تا رسیدن به سطح صاف از عاج تراشیده شد. پس از آن براساس تبخیر حلال دندان‌ها به ۵ گروه تقسیم شدند. پس از اچ نمودن به مدت ۵ ثانیه و شستشو به مدت ۱۵ ثانیه، دندان‌ها به مدت ۳ ثانیه خشک شدند. سپس Singlebond (3M) با زمان تبخیر حلال (۰ و ۲ و ۵ و ۱۰ و ۳۰ ثانیه) استفاده و کیور شد. پس از قرار دادن و کیورینگ کامپوزیت Saremco (Microhybrid low shrinkage /Switzerland) و ۵۰۰ مرتبه ترموسایکل، دندان‌ها به مقاطع  $1\text{mm}^2$  بریده و شکل ساعت شنی ایجاد شد. سپس نمونه‌ها تحت تأثیر آزمون استحکام باند ریزکشی تا زمان شکست قرار گرفته و یافته‌ها توسط آزمون‌های آماری ANOVA و Bonferroni بررسی شد.

**یافته‌ها:** آزمون‌های آماری حاکی از اختلاف معنی‌دار بین قدرت اتصال باند بین گروه‌ها بود ( $P=0/02$ ). میانگین استحکام باند ریزکشی برای گروهی که در آن ۲ ثانیه تبخیر حلال صورت گرفت بیشترین و برای گروه ۳۰ ثانیه کمترین مقدار بود.

**نتیجه‌گیری:** در باندینگ Singlebond مناسب‌ترین زمان برای تبخیر حلال، کمترین زمان توصیه شده توسط کارخانه سازنده است که در آن استحکام باند ریزکشی حداکثر می‌باشد و با تبخیر بیشتر و یا کمتر استحکام باند به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

**کلید واژه‌ها:** ادهزیو، استحکام باند، عاج

وصول: ۹۱/۰۸/۰۹ اصلاح نهایی: ۹۲/۰۴/۲۲ تأیید چاپ: ۹۲/۰۵/۰۵

## مقدمه

هیبرید در عاج می‌باشد (۱). این مواد عموماً نیاز به سطح مرطوب

عاجی برای نفوذ بهتر رزین به درون عاج دارند (۳).

پرایمرها مونومرهای هیدروفیل هستند که معمولاً در داخل نوعی حلال قرار دارند. حلال‌هایی که در پرایمر به کار می‌روند شامل استون، اتانول - آب یا اساساً آب می‌باشد. سطح حلال پرایمرها می‌تواند تا ۹۰٪ هم برسد. پرایمرها دارای میزان تبخیر، الگوهای خشک شدن و خصوصیات نفوذ متفاوتی هستند که می‌تواند نتایج استحکام باند را تحت تأثیر قرار دهد. حلال‌های دارای استون در زمان کوتاهی تبخیر می‌شوند و همچنین به رطوبت عاج حساسند و انواع دارای آب و اتانول کمتر به رطوبت عاج حساسند و با سرعت کمی تبخیر می‌شوند و همچنین به زمان زیادی جهت تبخیر حلال نیاز دارند. انواع دارای حلال آب هم به زمان زیادی جهت تبخیر نیاز دارند و در صورت عدم تبخیر کامل ممکن است با ادهزیو تداخل کنند (۴).

ادهزیوها معمولاً الیگومرهای دی‌متاکریلات هیدروفوبیک هستند که با مونومرهای به کار رفته در پرایمر و کامپوزیت سازگار هستند. این الیگومرها معمولاً با مونومرهای با وزن مولکولی پایین رقیق شده‌اند. اغلب عوامل باندینگ لایت کیور بوده و حاوی یک اکتیواتور مانند کامفورکینون و یک آمین‌آلی می‌باشند (۵). هر چند اغلب عوامل باندینگ پرنشده (Unfilled) هستند. اما بعضی محصولات حاوی فیلرهای غیرآلی با محدوده ۴۰-۵ درصد وزنی هستند. ذرات فیلر شامل

انجام درمان‌های دندانپزشکی ترمیمی با استفاده از سیستم‌های چسباننده، بخش عمده‌ای از کارهای روزمره کلینیکی را تشکیل می‌دهد. بنابراین نیاز به شناخت کامل و جامع این سیستم‌ها به منظور کاربرد صحیح این مواد لازم می‌باشد (۱). کامپوزیت‌ها برای جایگزینی نسوج دندانی پوسیده و شکسته یا ترمیم نواقص ناشی از اروژن و ابریژن و همچنین با هدف تصحیح ظاهر نازیبا، اصلاح موقعیت‌ها، ابعاد یا رنگ دندان به کار می‌روند. استحکام و دوام پیوندهای چسبده هم به عواملی همچون خواص فیزیکی - شیمیایی ماده مورد اتصال و ادهزیو، ساختمان ماده مورد اتصال و نوع آلودگی‌های سطحی حین تهیه حفره، روند انتقال و پخش بارهای اعمال شده بر محل اتصال بستگی دارد. افزون بر این، محیط دهان که در معرض رطوبت، تنش‌های فیزیکی، تغییرات حرارتی و pH، محتویات رژیم غذایی و عادات دهانی است، به میزان قابل توجهی بر واکنش‌های چسبندگی بین مواد و بافت‌های دندانی اثر می‌گذارد (۲).

تاکنون نسل‌های مختلفی از باندینگ‌های عاجی معرفی شده‌اند که رایج‌ترین آن‌ها باندینگ‌های نسل پنجم هستند. مشخصه اصلی نسل پنجم، ترکیب پرایمر و رزین در یک محلول می‌باشد (۱). این سیستم‌ها نیاز به کاندیشنینگ اسیدی مینا و عاج به منظور حداکثر چسبندگی به مینا و عاج را دارد و مکانسیم اتصال این مواد نیز براساس ایجاد لایه

میکروفیلرها (نانوفیلر) و ساب میکرون گلاس می‌باشند (۴).

تبخیر حلال قسمت مهمی در روند اتصال می‌باشد زیرا پس از کاربرد پرایمر و نفوذ در شبکه کلاژن، نقش حلال پایان یافته و لازم است که از محیط کار خارج شود. این کار به وسیله جریان هوا بر روی ادهزیو انجام می‌شود در ضمن غلظت بالای حلال در مواردی که تبخیر حلال ناکافی باشد، پلیمریزاسیون را تضعیف می‌کند (۶).

استون با دمای جوش ۵۶/۵ درجه سانتی‌گراد به عنوان حلال مورد استفاده قرار گرفته است. با این وجود استون نمی‌تواند از کلاپس فیبرهای کلاژن وقتی که روی عاج خشک ریخته می‌شود جلوگیری کند. اتانول با دمای جوش ۷۸/۳ درجه سانتی‌گراد یک حلال ارگانیک است. آب هم با دمای جوش ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند به عنوان یک حلال غیر ارگانیک در سیستم‌های باندینگ به کار گرفته شود. تولید کنندگان چسباندنده‌های تک شیشه‌ای همچنین ترکیبات متفاوتی نسبت به حلال‌های ذکر شده در باند را (استون - اتانول و آب) هم ممکن است در باندینگ‌ها استفاده کنند تا نتیجه مطلوبی ایجاد شود (۶).

دباند شدن اتصالات دندانی با فرآیند تشکیل ترک و انتشار آن رخ می‌دهد. ترک‌ها در نقایص موجود در طول سطح بینایی ایجاد می‌گردد. نمونه‌هایی از نقایص شامل محل‌های آلوده بین سطوح، رطوبت اضافی، احتباس حباب‌های هوا، خلأ ایجاد شده حین تبخیر حلال، وجود رطوبت کم، حباب‌های داخل ادهزیو و فضای حاصل از انقباض پلیمریزاسیون می‌باشد. در تمام موارد خصوصیات کلی سوبستراهای دندانی (مینا، عاج) و نیز سوبستراهای ترمیمی (کامپوزیت‌ها، سرامیک‌ها) بسیار قوی‌تر از استحکام باند ترمیم‌ها هستند، بنابراین ترک‌هایی که تشکیل می‌گردند عموماً در ناحیه سطح بینایی باقی می‌مانند. شکست نهایی اغلب در فاصله کوتاهی در طول قسمتی از ساختمان دندان یا ماده ترمیمی گسترش پیدا می‌کند. میزان شکست سوبسترا اغلب نشان‌دهنده استحکام نسبی پیوند است. سطوح شکست خورده باید به دقت و با بزرگنمایی متوسط مورد بررسی قرار گیرند تا منشأ ترک اصلی مشخص گردد. بنابراین شکست‌ها در داخل سوبسترا (Cohesive) بین ادهزیو و سوبسترا (Adhesive) داخل ماده ترمیمی (Cohesive) یا به صورت مخلوط (Mixed) می‌باشند (۷).

استحکام پیوند میزان نیروی مکانیکی آغازگر جدایی سطح پیوند

می‌باشد. نوع آزمون سنجش استحکام پیوند با توجه به جهت بارگذاری (Load) مکانیکی به صورت کششی و یا برشی است (۸) که برای این کار یا از خود دندان استفاده می‌شود و یا نمونه‌هایی از دندان برش خورده به کار می‌رود که این گروه معمولاً استحکامی ۲ تا ۳ برابر استحکام دندان را نشان می‌دهند. امروزه تست استحکام باند ریزکششی از نظر کلینیکی بیشتر از استحکام باند مورد قبول است زیرا ادعا شده است که این تست احتمال آغاز ایجاد ترک و انتشار آن به داخل هر نمونه را به دلیل ناحیه باند کوچک آن کاهش می‌دهد (۵).

در مطالعه Hashimoto و همکاران (۹) استحکام باند ریزکششی دو ادهزیو با روش باندینگ مرطوب و یا خشک کردن بیش از حد با هوا و تبخیر ناکافی حلال پرداخت. نتایج نشان داد استحکام باند در گروه کنترل به طور معنی‌داری بالاتر از ۲ گروه دیگر بود، همچنین گروه بدون تبخیر حلال هم باند بیشتری از باندینگ خشک نشان داد. Cavalheiro و همکاران (۱۰) در مطالعه‌ای به بررسی اثر کلینیکی خطاهای کاربرد کوتاه مدت پرایمر به خاطر خشک کردن سریع، به کار نبردن پرایمر، خشک نکردن پرایمر و خشک کردن با افشانه هوا با شدت زیاد حین کاربرد پرایمر بر روی نفوذپذیری عاج پرداخت. نتایج نشان داد که به کار بردن نادرست پرایمر باعث افزایش قابل توجه نفوذپذیری عاج می‌شود.

Sadr و همکاران (۱۱) استحکام باند برشی دو پرایمر سلف اچ را بعد از زمان‌های مختلف تبخیر حلال با هوا بررسی کردند. نتایج نشان داد که پایین‌ترین و بالاترین استحکام باند در مورد هر دو ادهزیو مربوط به گروه تبخیر ۲ و ۱۰ ثانیه بود.

Garcia و همکاران (۱۲) در مطالعه‌ای به بررسی اثر دما و زمان خشک کردن ادهزیو بر استحکام باند کششی ادهزیو به عاج پرداخت. نتایج نشان داد که در زمان‌های کوتاه‌تر خشک کردن با هوا، اثر دما کمتر است. همچنین وقتی نمونه‌ها در زمان طولانی‌تری با هوا خشک شدند، استحکام باند بالاتری در دمای بالاتر به دست آمد.

با توجه به اینکه بیشتر مطالعاتی که در مورد اثر خشک کردن ادهزیوها صورت گرفته در مورد باندینگ‌های سلف اچ بوده است، این مطالعه با هدف ارزیابی اثر زمان‌های مختلف خشک کردن با هوا در یک نوع ادهزیو Etch and rinse از نوع (Single bond) بر ریز استحکام باند کششی کامپوزیت به عاج انجام شد.

## روش بررسی

این مطالعه به روش تجربی (Experimental) بوده و به صورت آزمایشگاهی (Lab trial) انجام شد. تعدادی دندان مولر سوم ماگزیلاری کشیده شده انسان از بخش جراحی دانشکده دندانپزشکی شهید صدوقی یزد جمع‌آوری شدند. سپس دندان‌ها در زیر ذره بین (LY plastic Co, China) با بزرگنمایی ۴ برابر بررسی شدند و ۱۵ دندان که سالم و بدون ترک و یا نقایص تکاملی بودند انتخاب شدند. لازم به ذکر است که بیماران مربوطه درمورد استفاده از دندانشان در تحقیق کنونی مطلع بودند و همچنین دندان‌های مربوطه ابعاد تقریباً مشابهی داشتند. سپس بقایای انساج اطراف دندان‌ها و هرگونه جرم روی آن‌ها با قلم کورت استاندارد برداشته شد و تا قبل از آزمایش در سرم فیزیولوژی نگهداری شدند و به منظور رعایت مسائل کنترل عفونت از ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمایش در محلول کلرامین T ۰/۵٪ (۱۳) نگهداری شدند. سپس با استفاده از دیسک سیلیکون کارباید (3M/USA) سطح اکلوزال دندان‌ها تا رسیدن به سطح کاملاً صاف از عاج برداشته شد. همچنین مینای باقی مانده در دور تا دور دندان نیز با استفاده از فرز الماسی (Tizkavan Co, Iran) به طور کامل برداشته شد. در ضمن پس از هر ۳ تراش از یک فرز جدید استفاده شد. سپس دندان‌ها براساس زمان‌های مختلف خشک کردن ادهزیو با هوا (۰ ثانیه، ۲ ثانیه «حداقل زمان پیشنهادی کارخانه»، ۵ ثانیه «حد اکثر زمان پیشنهادی کارخانه»، ۱۰ ثانیه، ۳۰ ثانیه) به صورت تصادفی به ۵ گروه تقسیم شدند.

در هر گروه، ابتدا هر یک از دندان‌ها با پوآر هوا خشک شده و به وسیله ژل اسید فسفریک ۳۸٪ (Scotchbond 3M/USA) به مدت ۵ ثانیه اچ شدند و سپس به مدت ۱۵ ثانیه با اسپری آب و هوای یوینت شستشو انجام شد تا اسید کاملاً شسته شود و سپس به مدت ۳ ثانیه با پوآر هوا خشک شد و دقت شد تا دندان‌ها بیش از حد خشک نشود. بعد از آن هر یک از دندان‌ها به طور جداگانه به وسیله میکروبراش (SD, China) با ادهزیو Single bond (3M/USA) بر روی سطح عاج به صورت مالشی آغشته شدند. روش کاربرد باندینگ طبق دستور کارخانه سازنده و در دو لایه پی در پی بود (۱۴) بعد از آن دندان‌ها برحسب گروه‌های موردنظر از لحاظ تبخیر حلال موجود در ادهزیو تحت تأثیر خشک کردن با پوآر هوا قرار گرفتند. بدین ترتیب که پوآر

هوا با قدرت  $4 \text{ kgf/cm}^2$  از فاصله ۵ سانتی‌متری و با زاویه ۹۰ درجه به سطح مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که شدت دمیدن هوا به وسیله گیج مانومتر (Hytechen Co, China) بررسی شد. تبخیر حلال در گروه اول به وسیله پوآر هوا انجام نشد زیرا گروه صفر ثانیه بود. در گروه دوم ۲ ثانیه (حداقل زمان پیشنهادی توسط کارخانه سازنده) و در گروه سوم ۵ ثانیه (حداکثر زمان پیشنهادی توسط کارخانه) و در گروه چهارم ۱۰ ثانیه و در گروه پنجم ۳۰ ثانیه پوآر هوا بر سطح روی باندینگ اعمال شد.

هر دندان بعد از کاربرد ادهزیو به روش گفته شده و تبخیر حلال با توجه به گروه موردنظر، توسط دستگاه لایت‌کیور هالوژن (Arialux/Apadanatak/Iran) و به روش Conventional و با شدت نور  $500 \text{ mW/cm}^2$  به مدت ۲۰ ثانیه کیور شد. لازم به ذکر است که شدت نور دستگاه هم قبل از مطالعه توسط دستگاه کامپوزیت (Dentamerica/Taiwan) Light meter (Microhybrid low shrinkage, Saremco Switzerland) رنگ A2B2 به روش لایه‌ای در لایه‌هایی به ضخامت حدود ۲ میلی‌متر بر روی دندان‌ها قرار داده شد و هر لایه به مدت ۴۰ ثانیه و از همه جهات کیور شد. عمل قرار دادن کامپوزیت بر روی هر دندان آنقدر تکرار شد تا ارتفاع لایه کامپوزیتی به ۵ میلی‌متر برسد. سپس دندان‌ها ۵۰۰ مرتبه توسط دستگاه ترموسایکل (Vafaei, Iran) تحت ترموسایکل با دمای ۵۵-۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند به طوری که ۳۰ ثانیه در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ ثانیه زمان بینابینی و ۳۰ ثانیه در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (۱۵).

سپس ریشه دندان‌ها قطع گردید. سپس نمونه‌ها در قالب مخصوص دستگاه برش قرار داده شده و اطراف آن کاملاً با آکریل خود سخت شونده (Iran acryl Co/no 23500) پر شد و سپس توسط دستگاه برش سخت دندان (Vafaei, Iran) به صورت مقاطع ۱ میلی‌متری از دندان، کامپوزیت برش داده شدند و این کار تا جایی ادامه یافت که از هر دندان ۲ مقطع و در هر گروه جمعاً ۶ مقطع ۱ میلی‌متری دندان، کامپوزیت جمع‌آوری گردید. سپس مقاطع دمبلی شکل و با سطح مقطع ۱ میلی‌متر مربع درحد فاصل کامپوزیت و دندان ایجاد شد و با استفاده از دستگاه

همچنین با توجه به نتایج حاصل از آزمون ANOVA، اختلاف میانگین گروه‌ها معنی‌دار بود ( $P=0/002$ ). همچنین مقایسه دوبه‌دوی استحکام باند در گروه‌ها با استفاده از آزمون Bonferroni نتایج زیر را نشان داد:

الف- در مقایسه گروه صفر ثانیه با سایر گروه‌ها تنها در گروه ۱۰ ثانیه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ( $P=0/042$ ).

ب- در مقایسه گروه ۲ ثانیه با سایر گروه‌ها تنها در گروه‌های ۱۰ و ۳۰ ثانیه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ( $P=0/01$  و  $P=0/028$ ).

ج- در مقایسه گروه ۵ ثانیه با سایر گروه‌ها هیچ اختلاف معنی‌داری با سایر گروه‌ها وجود نداشت.

د- در مقایسه گروه ۱۰ ثانیه با سایر گروه‌ها تنها در دو گروه صفر و ۲ ثانیه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ( $P=0/042$  و  $P=0/01$ ).

ه- در مقایسه گروه ۳۰ ثانیه با سایر گروه‌ها تنها در گروه ۲ ثانیه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ( $P=0/028$ ) (جدول ۲).

Universal Testing Machine MTD500+Plus (Germany) استحکام باند ریزکشی با سرعت ۱ میلی‌متر در دقیقه بررسی و اعداد شکست نمونه‌ها ثبت شد. سپس تمامی نمونه‌های شکسته شده توسط استریومیکروسکوپ (ZTX-3E, Zhejiang, China) با بزرگنمایی ۲۰X برای بررسی محل شکست (Failure mode) بررسی شدند. برای بررسی آماری از آزمون‌های آماری ANOVA و Bonferroni استفاده شد.

## یافته‌ها

نتایج این مطالعه که با هدف بررسی اثر زمان خشک کردن با هوا بر استحکام باند ریزکشی یک ادهزیو به عاج بود نشان داد که بیشترین میزان استحکام باند ریزکشی در گروه خشک کردن ادهزیو به مدت ۲ ثانیه ( $7/03 \pm 2/41$  Mpa) و کمترین آن در ۳۰ ثانیه ( $3/2 \pm 1/01$  Mpa) بود و اختلاف معنی‌داری بین زمان‌های مختلف خشک کردن با هوا وجود داشت ( $P=0/002$ ) (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار نتایج حاصل از آزمایش استحکام باند ریزکشی ( $P=0/002$ )

گروه‌ها	تعداد برش‌ها	میانگین Mpa	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	فاصله اطمینان ۹۵٪ برای میانگین
۰ ثانیه	۶	۶/۵	۸/۵	۳/۸۰	۲/۱۴	۴/۲۴-۸/۷۵
۲ ثانیه	۶	۷/۰۳	۱۰	۴/۴۰	۲/۴۱	۴/۴۹-۹/۵۷
۵ ثانیه	۶	۴/۳۸	۶	۳	۱/۰۴	۳/۲۸-۵/۴۸
۱۰ ثانیه	۶	۳/۵	۵/۴۰	۲/۶۰	۱/۰۱	۲/۴۳-۴/۵۶
۳۰ ثانیه	۶	۳/۲	۵/۲۰	۲/۴۰	۱/۰۱	۲/۲۲- ۴/۳۹

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون‌های آماری مقایسه‌ای دو به دو Bonferroni ( $P=0/05$ )

گروه I	گروه J	اختلاف میانگین (I-J)	P-value
۰ ثانیه	۲ ثانیه	-۰/۵۳	۱
	۵ ثانیه	۲/۱۱	۰/۳۵
	۱۰ ثانیه	۳	۰/۰۴۲
	۳۰ ثانیه	۲/۶	۰/۱۰۶
۲ ثانیه	۰ ثانیه	-۰/۵۳	۱
	۵ ثانیه	۲/۶	۰/۱۰۲
	۱۰ ثانیه	۳/۵	۰/۰۱۰
	۳۰ ثانیه	۳/۱۶	۰/۰۲۸
۵ ثانیه	۰ ثانیه	-۲/۱۱	۰/۳۵۷
	۲ ثانیه	-۲/۶	۰/۱۰۲
	۱۰ ثانیه	۰/۸۸	۱
	۳۰ ثانیه	۰/۵۱	۱
۱۰ ثانیه	۰ ثانیه	-۳	۰/۰۴۲
	۲ ثانیه	-۳/۵	۰/۰۱۰
	۵ ثانیه	-۰/۸۸	۱
	۳۰ ثانیه	-۰/۳۶	۱
۳۰ ثانیه	۰ ثانیه	-۲/۶	۰/۱۰۶
	۲ ثانیه	-۳/۱	۰/۰۲۸
	۵ ثانیه	-۰/۵۱	۱
	۳۰ ثانیه	-۰/۳۶	۱

جدول ۳- تعداد و درصد بررسی الگوی شکست توسط استریومیکروسکوپ

گروه	نمونه	شکستگی ادهزیو		شکستگی کامپوزیت		شکستگی در عاج		شکستگی ادهزیو و عاج	
		درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد
۰ ثانیه	۶	۳	۵۰	۲	۳۳/۳	۱	۱۶/۷	-	-
۲ ثانیه	۶	۱	۱۶/۷	۲	۳۳/۳	۱	۱۶/۷	۲	۳۳/۳
۵ ثانیه	۶	۲	۳۳/۳	۲	۳۳/۳	۱	۱۶/۷	۱	۱۶/۷
۱۰ ثانیه	۶	۵	۸۳/۳	-	-	۱	۱۶/۷	-	-
۳۰ ثانیه	۶	۵	۸۳/۳	-	-	۱	۱۶/۷	-	-

جهت بررسی الگوی شکست (Failure mode) از مشاهده مستقیم نمونه‌ها زیر استریومیکروسکوپ استفاده شد براین اساس بیشترین درصد شکستگی از نوع ادهزیو و در گروه‌های ۱۰ و ۳۰ ثانیه بود (جدول ۳). همچنین سایر موارد الگوی شکست به قرار زیر است:

الف- نیمی از نمونه‌ها در گروه ۱ (بدون تبخیر حلال)، از سطح بینابینی رزین و عاج در لایه ادهزیو و همچنین منحصراً در عاج شکسته شدند.

ب- در گروه ۲ (۲ ثانیه تبخیر حلال) و گروه ۳ (۵ ثانیه تبخیر حلال)، شکست به صورت مخلوط (Mixed) در لایه ادهزیو، در ناحیه بینابینی رزین و عاج و در عاج مشاهده شد.

ج- در گروه ۴ (۱۰ ثانیه تبخیر حلال) و گروه ۵ (۳۰ ثانیه تبخیر حلال) شکست منحصراً در ناحیه بینابینی رزین-عاج در لایه ادهزیو مشاهده شد (جدول ۳).

## بحث و نتیجه گیری

این مطالعه با هدف بررسی اثر زمان خشک کردن با هوا بر ریز استحکام باند کشتی یک ادهزیو به عاج انجام شد و نتایج نشان داد که بیشترین میزان ریز استحکام باند در گروه خشک کردن ۲ ثانیه و کمترین آن در ۳۰ ثانیه بود و اختلاف معنی‌داری بین زمان‌های مختلف خشک کردن با هوا وجود داشت.

به طور کلی روش کاربرد ادهزیوها و همچنین شرایط آزمایش بر روی میزان استحکام باند آن‌ها مؤثر است به طوری‌که اختلاف زیاد موجود بین روش‌های کاربرد انواع ادهزیوها می‌تواند در نتیجه به کاربردن مونومرهای مختلف با خصوصیات متفاوتی چون اسیدیته،

مقاومت در برابر هیدرولیز و قابلیت واکنش شیمیایی متفاوت باشد (۱۶، ۱۷). در واقع اختلاف‌های اساسی در میان ادهزیوها می‌تواند در نتیجه تبخیر متفاوت حلال آبی آن‌ها باشد، مثلاً غلظت نسبی آب و HEMA، وجود مواد Photoinitiator در Primer و وجود الکل می‌توانند تأثیرگذار باشند (۱۸).

کاهش استحکام باند در اثر زمان کوتاه‌تر تبخیر حلال می‌تواند به این علت باشد که باقی ماندن اضافه حلال می‌تواند به عنوان مانعی در برابر نفوذ و پلیمریزه شدن مونومر باشد (۱۹)، به این علت که حلال باعث ایجاد فاصله زیاد بین مولکول‌های مونومر می‌شود که در حین پلیمریزاسیون سبب محدودیت گسترش شبکه پلیمری می‌شود که سبب ایجاد مجموعه‌ای از نواحی پلیمریزه نشده می‌گردد (۲۰). همچنین سبب کاهش غلظت Photoinitiator در ادهزیو و کاهش Monomer conversion rate می‌شود (۲۱).

مطالعات نشان داده‌اند که رابطه مستقیمی بین غلظت حلال و درجه کیور شدن وجود ندارد. در واقع درجه کیور زمانی که حداقل میزان تبخیر حلال صورت گرفته است در حداکثر نیست و باقی ماندن مقدار مناسبی از حلال می‌تواند باعث به حداکثر رساندن درجه کیور شود (۲۲). از طرفی دیگر فشار بیش از حد هوا می‌تواند سبب نازک شده لایه ادهزیو شود که ممکن است اثر منفی بر کارایی آن داشته باشد. به علاوه ممکن است باقی مانده ادهزیو با اکسیژن هوا ترکیب شده و مانع از پلیمریزاسیون شود (۲۳). بنابراین خشک کردن بیش از حد با هوا می‌تواند سبب ایجاد لایه بیش از حد نازکی از ادهزیو شده که کمتر از معمول به عنوان یک Stress breaker در ناحیه تماس ادهزیو عمل می‌کند. در واقع کارخانه سازنده حلال و آغاز کننده نوری را به یک

مطالعه بر روی مینا با مطالعه کنونی متفاوت است.

Garcia و همکاران (۱۲) اثر دما و زمان خشک کردن ادهزیو با هوا را در زمان‌های ۲۰، ۳۰، ۴۰ ثانیه و در دمای ۲۱ و ۳۸ درجه بر استحکام باندکشی ادهزیو به عاج بررسی کردند. نتایج نشان داد که در زمان‌های کوتاه‌تر خشک کردن با هوا دما تأثیر کمتری دارد ولی در زمان‌های طولانی‌تر در دمای بالاتر استحکام باند بیشتری ایجاد می‌شود. در مجموع زمان و دمای خشک کردن با هوا بر استحکام باندکشی تأثیر دارند و این مسأله با این فرضیه که ادهزیوها باید با فشار هوای آرام خشک شوند مغایرت دارد. که این نتیجه با مطالعه ما همخوانی دارد اما در مقایسه با مطالعه Garcia و همکاران اثر دمای هوا به عنوان فاکتوری مطرح می‌شود که در مطالعه کنونی بررسی نشد. Jacobsen و همکاران (۲۷) اثر زمان خشک کردن با هوا را بر کیفیت باندینگ ۵ ادهزیوها Self-etch مورد بررسی قرار داد. نتایج وی نشان داد که زمان ۱۰ ثانیه بهترین زمان خشک کردن ادهزیوها بود که با نتایج ما اختلاف داشت. علت این اختلاف می‌تواند تفاوت در نوع مواد و حلال آن‌ها و همچنین نوع تست انجام شده، دمای هوا، فشار هوا و عواملی این چنینی باشد اما به هر صورت نتایج آن‌ها نیز نشان دهنده این مطلب بود که زمان‌های کم خشک کردن ادهزیوها سبب کاهش استحکام باند آن‌ها می‌شود. ولی در بررسی Chiba و همکاران (۲۸) مشخص شد که خشک کردن ادهزیو برای دستیابی به حداکثر استحکام باند لازم است و این استحکام در زمان ۵ ثانیه به حداکثر می‌رسد. اما در این مطالعه اثر زمان‌های طولانی خشک کردن مورد بررسی قرار نگرفته است.

Hoffmann و همکاران (۲۹) در مطالعه‌ای انواع روش‌های تبخیر حلال را بر استحکام باند برشی ادهزیو (IB+) Self-etch experimental I Bond بررسی کردند. یک لایه IB+ روی سطح قرار گرفت و سپس تحت ۲۰ ثانیه تبخیر حلال در فواصل سرنگ (۱، ۳ یا ۵ سانتی‌متر)، زمان‌های مختلف تبخیر حلال (۲، ۵ یا ۱۰ ثانیه) و زاوایای متغیر بین سطح دندان برای تبخیر حلال (۴۵ یا ۹۰ درجه) قرار گرفت. نتایج نشان داد که زیاد بودن فاصله سرنگ و کم بودن زمان خشک کردن، هر دو بر استحکام باند IB+ تأثیر منفی دارند. زمانی که از فواصل کم و زمان خشک کردن طولانی‌تر استفاده می‌شود زاویه تأثیر معنی‌داری ندارد. نتایج این مطالعه

نسبت اضافه می‌کند تا با تبخیر حلال غلظت آغاز کننده نوری به بالاتر از حد لازم برای ایجاد پلیمریزاسیون کافی برسد (۲۴). به نظر می‌رسد علاوه بر تفاوت نوع مواد مورد استفاده در مطالعات، تنوع حلال موجود در ترکیب آن‌ها نیز می‌تواند بر تغییرات استحکام باند ناشی از زمان‌های مختلف خشک کردن تأثیر داشته باشد (۹). شایع‌ترین حلال‌های مورد استفاده در ادهزیوهای متصل شونده به عاج شامل استون، اتانول و ترکیب اتانول- آب و آب به تنهایی است. استون حلال بسیار فراری است و در مقابل، حلال آب و الکل سرعت تبخیر پایین‌تری دارد و نیازمند زمان تبخیر طولانی‌تری هستند (۴).

در مطالعه Cho و Dickens (۲۵) ضخامت بیشتر لایه ادهزیو در باندینگ‌های دارای استون سبب تبخیر ناکافی حلال شد و نتیجه اینکه برداشته شدن حلال از لایه ادهزیو می‌تواند تحت تأثیر طبیعت حلال، نسبت و واکنش حلال و رزین قرار بگیرد. در مطالعه Hashimoto و همکاران (۹) تبخیر نامناسب حلال و یا باقی ماندن آب اضافی در طی باندینگ سبب رقیق شدن یا پلیمریزاسیون ناکافی رزین و افزایش ریز نشد شد که با مطالعه حاضر همخوانی دارد.

در مطالعه Sadr و همکاران (۱۱) که بر روی دو نوع ادهزیو Self-etch انجام شد، بیشترین میزان استحکام باند برای Clearfil SE Bond در زمان خشک کردن ۱۰ ثانیه و بیشترین استحکام باند برای Clearfil Tri-S Bond در زمان خشک کردن ۵ ثانیه مشاهده شد. همچنین کمترین استحکام باند برای هر دو نوع ماده در زمان ۲ ثانیه مشاهده شد. اختلاف نتایج مطالعه Sadr و همکاران (۱۱) و نتایج مطالعه حاضر می‌تواند به علت اختلاف روش اندازه‌گیری استحکام باند و نوع ماده مصرف شده باشد، ولی در هر صورت نتایج مطالعه Sadr و همکاران (۱۱) نشان می‌دهد که زمان خشک کردن با هوا برای ادهزیوهای Self-etch می‌تواند به طرز معنی‌داری استحکام باند را تحت تأثیر قرار دهد.

در مطالعه Miyazaki و همکاران (۲۶) اثر زمان خشک کردن پرایمر بر استحکام باند کامپوزیت به مینای دندان در زمان‌های ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ ثانیه بررسی شد. نتایج نشان داد که استحکام باند هنگامی که خشک کردن با هوا صورت نگیرد از بقیه حالات پایین‌تر است. زمان مناسب برای دستیابی به بیشترین استحکام باند در مورد مواد مورد آزمایش آن‌ها ۱۰ ثانیه بوده است. هرچند نتایج به دلیل انجام

لایه ادهزیو، در ناحیه بینابینی رزین-عاج و در عاج بود که خود بیان‌کننده قوی‌ترین باند در بین گروه‌های مورد مطالعه بود.

الگوی شکست منحصراً در ناحیه بینابینی رزین-عاج، در گروهی دیده شد که ۳۰ ثانیه تبخیر حلال برای آن انجام شده بود. این الگوی شکست نشان‌دهنده استحکام پیوند سست می‌باشد. خشک کردن بیش از حد حلال منجر به ایجاد لایه ادهزیوی می‌شود که ضخامت کم و نامناسبی دارد. همچنین منجر به حذف مقادیر زیادی از ادهزیو می‌شود که این امر مانع از نفوذ مناسب رزین بین الیاف کلاژنی می‌شود. از دلایل دیگر برای استحکام پیوند نه چندان قوی در این گروه، این است که تبخیر زیاد حلال منجر به ایجاد لایه ادهزیوی می‌شود که بیش از حد ویسکوز است و ممکن است حباب‌های هوا در آن محصور گردد، که خود منجر به تضعیف خواص مکانیکی لایه ادهزیو شود (۲۷).

با توجه به محدودیت‌های این مطالعه آزمایشگاهی، زمان خشک کردن حلال به مدت ۲ ثانیه برای ادهزیو Singlebond که دارای حلال الکل-آب می‌باشد و معادل حداقل زمان خشک کردن پیشنهاد شده توسط شرکت سازنده است بهترین زمان تبخیر حلال است، اما علاوه بر زمان خشک کردن موارد دیگری چون فشار هوا، دمای هوا، فاصله و زاویه سرنگ هوا با سطح، نوع حلال و نحوه نگهداری ادهزیو هم بایستی مدنظر قرار گیرند و در مجموع بدون درنظر گرفتن نوع حلال موجود در ادهزیو، تبخیر حلال مرحله‌ای بسیار مهم و غیرقابل اجتناب جهت دست یافتن به یک باند قوی می‌باشد.

در ضمن با توجه به اینکه نیروهایی که در کلینیک بر دندان‌ها یا ترمیم‌ها وارد می‌شوند به صورت کمپلکس عمل می‌کنند، بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات دیگری سایر خصوصیات باند بررسی شود.

## تشکر و قدردانی

این مطالعه حاصل پایان‌نامه دوره دکترای عمومی دندانپزشکی و ثبت شده به شماره ۱۴۶۰ در واحد پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد می‌باشد. بدین‌وسیله از حوزه معاونت تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد به منظور اختصاص بودجه و همچنین از شورای پژوهشی دانشکده دندانپزشکی در تصویب موضوع و از آقای اصغر زارع به دلیل انجام محاسبات آماری تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

با نتایج مطالعه ما متفاوت بود که دلیل آن می‌تواند تفاوت در نوع تست و خصوصیات طراحی مطالعات باشد. در هر دو مطالعه نیاز به خشک کردن ادهزیو مشاهده می‌شود اما در مطالعه Hoffmann و همکاران (۲۹) اثر زمان‌های طولانی خشک کردن ادهزیو بررسی نشد.

Myiazaki و همکاران (۲۶) در مطالعه‌ای اثر روش‌های به کار بردن پرایمر عاجی را بر استحکام باند برشی بررسی کرد. در این مطالعه اثر زمان خشک کردن با هوا در زمان‌های ۳۰ و ۲۰ و ۱۰ و ۵ و ۱ و ۰ ثانیه بررسی شد. نتایج نشان داد که زمان مطلوب خشک کردن با هوا در مورد Imperva bond (۱۰ تا ۳۰ ثانیه) و در مورد Scotch bond MP (۱ تا ۵ ثانیه) بود. در این مطالعه نتایج متفاوتی در مقایسه با مطالعه ما به دست آمد که می‌تواند مربوط به تفاوت‌های ساختاری مواد و حلال‌های مورد استفاده در آن‌ها باشد و نتایج مربوط به ماده Scotch bond مشابه به مطالعه ما بوده است. در مجموع نوع تست استفاده شده و نوع مواد مورد استفاده در مطالعه متفاوت بوده است. میزان قدرت باند هم در مطالعات مختلف اعداد متفاوتی بوده است که این میزان قدرت اتصال ممکن است با توجه به روش کار، نوع باندینگ، نسج مورد بررسی و سایر عوامل متغیر باشد (۱۱،۱۲،۱۹،۲۲،۲۶).

در مطالعه کنونی اغلب الگوهای شکست در گروهی که هیچ تبخیر حلالی برای آن صورت نگرفت (گروه صفر ثانیه) در سطح بینابینی رزین-عاج و همچنین منحصراً در لایه ادهزیو بود که این موضوع ممکن است به دلیل تبخیر ناکافی حلال و رقیق شدن لایه ادهزیو و یا ایجاد تگ‌های رزینی ضعیف باشد. این حلال اضافی همچنین ممکن است به طور مستقیم روی یکپارچگی باند تأثیر بگذارد، و نیز می‌تواند مسیری باشد برای ریزش و به پلیمریزاسیون مونومر ارتشاح یافته صدمه بزند. در نتیجه ساختار بینابینی باند بیشتر آبدوست شده و در نهایت برای هیدرولیز مستعدتر می‌گردد (۹) و استحکام باند ضعیف در این گروه ممکن است به علت ایجاد یک لایه ادهزیو ضعیف و با ضخامت بالا باشد. در گروه‌هایی که ۲ ثانیه تبخیر حلال برای آن‌ها صورت گرفته بود، الگوی شکست در ناحیه بینابینی رزین-عاج و منحصراً در عاج بود، که خود بیان‌کننده باند قوی به عاج است. پیچیده‌ترین الگوی شکست در گروهی دیده شد که ۲ ثانیه تبخیر حلال برای آن انجام شده بود؛ شکست به صورت مخلوط (Mixed) در



## منابع:

- 1- Samimi P, Fathpoor K. Adhesion in Dentistry. Esphahan:Mani Publication; 1381:13-66.
- 2- Summit JB, Robbin JW, Schwartz RS. Fundamentals of operative dentistry. 2<sup>nd</sup> ed. Chicago: Quintessence publishing co; 2006:128-33.
- 3- Latta MA, Barkmeier WW. Dental adhesives in contemporary restorative dentistry. Dent Clin North Am. 1998;42(4):567-77.
- 4- Roberson TM, Sturdevant CM, Heymann HO, Swift EJ. Art and science of operative dentistry. 5<sup>th</sup> ed. St.Louis: Mosby Co; 2006:276-80.
- 5- Craig RG, Powers JM, Sakaguchi RL. Craig's Restorative dental materials. 12<sup>th</sup> ed. St. Louis: Mosby Co; 2006:241-8.
- 6- Abate PF, Rodriguez VI, Macchi RL. Evaporation of solvent in one-bottle adhesives. J Dent. 2000;28(6):437-40.
- 7- Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A. Fatigue behaviour of different dentin adhesives. Clin Oral Investig. 1999;3(1):11-7.
- 8- Söderholm KJ. Correlation of in vivo and in vitro performance of adhesive restorative materials: a report of the ASC MD156 Task Group on Test Methods for the Adhesion of Restorative Materials. Dent Mater. 1991;7(2):74-83.
- 9- Hashimoto M, Tay FR, Svizero NR, de Gee AJ, Feilzer AJ, Sano H, et al. The effects of common errors on sealing ability of total-etch adhesives. Dent Mater. 2006;22(6):560-8.
- 10- Cavalheiro A, Vargas MA, Armstrong SR, Dawson DV, Gratton DG. Effect of incorrect primer application on dentin permeability. J Adhes Dent. 2006;8(6):393-400.
- 11- Sadr A, Shimada Y, Tagami J. Effects of solvent drying time on micro-shear bond strength and mechanical properties of two self-etching adhesive systems. Dent Mater. 2007;23(9):1114-9.
- 12- Garcia FC, Almeida JC, Osorio R, Carvalho RM, Toledano M. Influence of drying time and temperature on bond strength of contemporary adhesives to dentine. J Dent. 2009;37(4):315-20.
- 13- Kasraei Sh, Khamverdi Z. Effect of mechanical load cycling on microtensile bond strength of self-etch systems to dentin. J Dent Med. 2008;5(4):173-8.
- 14- Manso AP, Marquezini L Jr, Silva SM, Pashley DH, Tay FR, Carvalho RM. Stability of wet versus dry bonding with different solvent-based adhesives. Dent Mater. 2008;24(4):476-82.
- 15- Srisawaski S, Boyer DB, Reinhardt JW. The effect of removal of the smear layer on microleakage of Class V restorations in vitro. Dent Mater. 1988;4(6):384-9.
- 16- Van Meerbeek B, Van Landuyt K, De Munck J, Hashimoto M, Peumans M, Lambrechts P. Technique-sensitivity of contemporary adhesives. Dent Mater J. 2005;24(1):1-13.
- 17- Reis A, Loguercio AD, Azevedo CL, de Carvalho RM, da Julio Singer M, Grande RH. Moisture spectrum of demineralized dentin for adhesive systems with different solvent bases. J Adhes Dent. 2003;5(3):183-92.
- 18- Nunes TG, Garcia FC, Osorio R, Carvalho R, Toledano M. Polymerization efficacy of simplified adhesive systems studied by NMR and MRI techniques. Dent Mater. 2006;22(10):963-72.
- 19- 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.
- 20- Frey O. Creating a reliable bond. An all-in-one system. Am J Dent. 2000;13:85-7.
- 21- Peutzfeldt A, Asmussen E. Adhesive systems: effect on bond strength of incorrect use. J Adhes Dent. 2002;4(3):233-42.
- 22- Jacobsen T, Söderholm KJ. Effect of primer solvent, primer agitation, and dentin dryness on shear bond strength to dentin. Am J Dent. 1998;11(5):225-8.
- 23- Van Meerbeek B, Vargas MW, Inoue S, Yoshida Y, Peumans M, Marleen, Lambrechts P, et al. Adhesives and cements to promote preservation dentistry. Oper Dent 2001; 6(1):119-44.
- 24- Holmes RG, Rueggeberg FA, Callan RS, Caughman F, Chan DC, Pashley DH, et al. Effect of solvent type and content on monomer conversion of a model resin system as a thin film. Dent Mater. 2007;23(12):1506-12.
- 25- Cho BH, Dickens SH. Effects of the acetone content of single solution dentin bonding agents on the adhesive layer thickness and the microtensile bond strength. Dent Mater. 2004;20(2):107-15.
- 26- 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.
- 27- Jacobsen T, Finger WJ, Kanehira M. Air-drying time of self-etching adhesives vs bonding efficacy. J Adhes Dent. 2006;8(6):387-92.
- 28- Chiba Y, Rikuta A, Yasuda G, Yamamoto A, Takamizawa T, Kurokawa H, et al. Influence of moisture conditions on dentin bond strength of single-step self-etch adhesive systems. J Oral Sci. 2006;48(3):131-7.
- 29- Hoffmann M, Erdrich AJ, Rist A, Kastrati A. Evaluation of Solvent Evaporation Procedure of a New All-in-One Adhesive. Retrieved February 16, 2013, from [http://webmedia.heraeus.com/media/hkg/1//MH\\_Posters\\_IADR1506gr oss.pdf](http://webmedia.heraeus.com/media/hkg/1//MH_Posters_IADR1506gr oss.pdf).