کاربرد نانو ذرات در ارتودنسی: مقاله مروری

دکتر بهراد تنباکوچی[۱]- دکتر ابوالقاسم بهادر[۲†]

۱- استادیار گروه آموزشی ارتودنتیکس، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران، تهران، ایران

۲- دستیار تخصصی گروه آموزشی ارتودنتیکس، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران، تهران، ایران

Nanoparticles in orthodontics: A review article

Behrad Tanbakuchi[1], Abolghasem Bahador[2†]

1- Assistant Professor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2†- Post-Graduate Student, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran (drabolghasemb@gmail.com)

Background and Aims: The purpose of this study was to investigate the application of nanoparticles in orthodontics.

Materials and Methods: This study was conducted using a review method by searching Scopous, Google Scholar and Web of science. Key words (Nano silver, Nano ZnO, Nano Chitosan, Nano Curcumin and Nanoparticles) were used. These searches were limited to the English ariticles after the year 2010.

Conclusion: According to the published studies, silver nanoparticles, curcumin, titanium oxide, chitosan, zinc oxide, quaternary ammonium derivatives exhibit appropriate antibacterial properties. Further studies are recommended to investigate the effect of each of these nanoparticles on the bond strength. In order to reduce the decay, there is lack of evidences regarding the addition of ACP nanoparticles and nanoparticles of calcium-phosphate and fluoride. Therefore, further studies are recommended. Studies have shown that the addition of zinc oxide nanoparticles to orthodontic wires could reduce the friction between the wire and the bracket. While, adding titanium oxide nanoparticles to bracket increased the friction. Although, evidences in this regard are inadequate but it seems that nanoparticulates are less toxic than conventional materials.

Key Words: Orthodontics, Nanoparticles, Nanotechnology

Journal of Dental Medicine-Tehran University of Medical Sciences 2018;31(2):119-133

† مؤلف مسؤول: تهران- انتهای خیابان امیرآباد- دانشکده دندانپزشکی- دانشگاه علوم پزشکی تهران- گروه آموزشی ارتودنتیکس

تلفن: ۸۸۰۱۵۹۵۰ نشانی الکترونیک: drabolghasemb@gmail.com

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

چکیده

زمینه و هدف: هدف از مطالعه حاضر بررسی کاربرد نانو ذرات در ارتودنسی بود.

روش بررسی: تحقیق به روش مروری صورت گرفت. با استفاده از واژگان کلیدی Nano silver، Nano ZnO، Nano Chitosan، Nano Crucumin، Nanoparticles و Orthodontics مروری بر مقالات موجود در پایگاه‌های اطلاعاتی Scopous، Google Scholar، Web of scienceو PubMed صورت گرفت. محدوده جستجوی مقالات از سال ۲۰۱۰ به بعد بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به مطالعات انجام شده همه نانو ذرات نقره، کروکومین، تیتانیوم اکساید، کیتوزان، زینک اکساید، مشتقات آمونیوم چهار ظرفیتی خواص ضد باکتریایی مناسبی از خود نشان می‌دهند. به منظور بررسی اثر هر کدام از این نانو ذرات بر استحکام باند مطالعات بیشتری توصیه می‌شود. در مورد اضافه کردن نانو ذرات ACP، نانو ذرات کلسیم- فسفات و فلوراید به منظور کاهش پوسیدگی شواهد حاضر ناکافی است بنابراین به منظور بررسی بیشتر، مطالعات جدیدی توصیه می‌شود. مطالعات نشان می‌دهند اضافه کردن نانو ذرات زینک اکساید به سیم‌های ارتودنسی، موجب کاهش اصطکاک بین سیم و براکت می‌شود، در حالی که اضافه کردن نانو ذرات تیتانیوم اکساید به براکت اصطکاک را افزایش می‌دهد. اگرچه شواهد در زمینه سمیت نانو ذرات ناکافی است اما به نظر می‌رسد، نانو ذرات حداقل سمیت بیشتری نسبت به مواد معمولی ندارند.

کلید واژه‌ها: ارتودنسی، نانو ذرات، نانو تکنولوژی

وصول:۹۶/۱۰/۱۵ اصلاح نهایی:۹۷/۰۴/۳۰ تأیید چاپ: ۹۷/۰۴/۳۱

مقدمه

لغت نانو از یک کلمه یونانی به معنای کوچک گرفته شده است. نانو یک میلیاردم واحد است. این میزان از ماده تقریباً برابر با ۲ تا ۳ اتم است (۱). نانو متریال‌ها موادی هستند که حداقل در یک بعد کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشند که شامل خوشه‌های نانومتری، و فیلم‌ها و صفحه‌های با ضخامت کمتر از ۱۰۰ نانومتر می‌شوند (۲). سایز کوچک مواد نانو باعث شده که این مواد ویژگی‌های متفاوتی داشته باشند. برای مثال مواد نانو سبک تر و مستحکم‌تر هستند وخصوصیات مکانیکی و شیمیایی متفاوتی دارند (۳).

مواد در ابعاد نانو از نسبت سطح به حجم بالایی برخوردارند و بنابراین واکنش‌های بهتری با سایر مواد دارند. به طور مثال این مواد با غشای سلولی و میکروب‌ها واکنش می‌دهند و خواص ضد میکروبی را در سطح وسیعی اعمال می‌کنند (۴). نشان داده شده است که ذرات نانو خواص فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و نوری برتری در مقایسه با میکروذرات دارند و می‌توانند برای ساخت مواد دندانپزشکی با خواص مکانیکی بالا و اثرات ضد میکروبی بهتر به کار روند (۲).

ورود ذرات نانو به رشته دندانپزشکی باعث پیشرفت‌های قابل توجهی در این رشته شده شده است که از جمله می‌توان به جلوگیری از پوسیدگی، ارتقاء خواص ضدمیکروبی مواد، ارتقاء خواص مکانیکی مواد و غیره اشاره کرد (۳).

دو رویکرد ساخت در نانوتکنولوژی وجود دارد (۵):

۱- Bottom up Approach: در این روش اتم‌ها در کنار هم چیده می‌شوند تا به اندازه دلخواه مد نظر ما در سایز نانو برسند. امروزه اکثرا از این روش استفاده می‌شود.

۲- Top-down Approach: با روش‌هایی از جمله چکش کاری، آسیاب کردن، خوردگی شیمیایی مواد خرد شده تا به ذراتی با ابعاد نانو برسند. این روش‌ها محدودتر هستند و کنترل روی آن‌ها سخت‌تر است و روی همه مواد نمی‌تواند انجام شود.

نانو ذرات به علت خواص متفاوت، در زمینه‌های گوناگونی مانند دندانپزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. گرچه در مورد اثرات ناشناخته آن‌ها نسبت به محیط و سلامت انسان نگرانی‌هایی وجود دارد (۶-۴). با توجه به گسترش روز افزون استفاده از ذرات نانو در حوزه‌های مختلف دندانپزشکی، هدف از مطالعه حاضر بررسی مروری کاربرد نانو ذرات در ارتودنسی است.

روش بررسی

مطالعه حاضر به صورت مرور شواهد موجود در پایگاه‌های داده‌ای الکترونیک صورت گرفته است. با استفاده از واژگان کلیدی Nano silver، Nano ZnO، Nano Chitosan، Nano Crucumin، Orthodontics و Nanoparticles مروری بر مقالات موجود در پایگاه‌های اطلاعاتی Scopous، Google Scholar، Web of science و PubMed صورت گرفت. محدوده جستجوی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

مقالات از سال ۲۰۱۰ به بعد بود. پس از جستجو با کلید واژه‌های ذکر شده و بررسی تک تک این مقالات، ۶۰ مقاله یافت شد که از نانو ذرات در وسایل ارتودنسی استفاده کرده بودند و از این تعداد ۴۸ مقاله با متن کامل در دسترس بود. در جدول ۱ به اختصار به این مقالات پرداخته شده است. مقالات پس از بررسی بر اساس کاربردهای مختلف نانو ذرات به شرح زیر تقسیم بندی شدند:

۱- کاربرد نانو ذرات به منظور بررسی اثرات ضد باکتریال آن‌ها

۲- کاربرد نانو ذرات نانو به منظور بررسی اثر آن‌ها بر استحکام باند براکت ارتودنسی و سطح دندان

۳- کابرد نانو ذرات برای پیشگیری از پوسیدگی

۴- کابرد نانو ذرات برای کاهش اصطکاک بین سیم و براکت

۵- کاربرد نانو ذرات به منظور بررسی اثرات آن‌ها بر خواص فیزیکی آکریل

۶- کابرد نانو ذرات برای مرئی کردن ادهزیو ارتودنسی (Visibility)

شرح مقاله

- کاربرد نانو ذرات به منظور بررسی اثرات ضد باکتریال آن

۱- نقره

مطالعات بر روی خواص آنتی باکتریال نانو ذرات نقره، بیشتر از سایر نانو ذرات انجام شده است. به علت خواص ضد باکتریایی نانو ذرات نقره توجه ویژه‌ای به افزودن آن‌ها به دستگاه‌ها و مواد ارتودنسی وجود دارد. این نانو ذرات علاوه بر ادهزیو و پرایمر، در الاستومرهای ارتودنسی، سیم‌های ارتودنسی، دهانشویه و آکریل به کار رفته‌اند. جدول ۲ مکانیسم اثر ضد باکتریایی این ماده را نشان می‌دهد (۷). Kasraei و همکاران (۸) اثر افزودن ۱٪ نانو ذرات نقره و ۱٪ نانو ذرات زینک اکساید را به کامپوزیت ارتودنسی بر روی استرپتوکوکوس موتانس و لاکتوباسیلوس ارزیابی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که نانو ذرات نقره و زینک اکساید، اثرات ضد باکتری بالایی دارند. اثر ضد باکتری زینک اکساید علیه استرپتوکوکوس موتانس، بیشتر از نقره بود، اما در مورد لاکتوباسیلوس تفاوتی وجود نداشت.

مطالعات متعدد دیگری، خواص ضد میکروبی معنی‌دار نقره را تأیید می‌کنند (۱۲-۹). خواص ضد میکروبی نانو ذرات نقره بکار رفته در ادهزیو ارتودنسی ثابت شده و قطعی است.

یک مطالعه نشان داد که الاستومر حاوی نانو ذرات نقره در مقایسه با الاستومر معمول، دارای اثر مهاری بر روی رشد میکروارگانیسم‌های استرپتوکوکوس موتانس، استافیلوکوکوس آورئوس و اشرشیا کلای است. علاوه بر این بهبودی نیز در خصوصیات فیزیکی آن در مقایسه با گروه کنترل، مشاهده شد (۱۳).

مطالعات در مورد کاربرد نانو ذرات نقره در بندهای ارتودنسی نشان دادند که امکان ایجاد یک پوشش یکنواخت و پایدار از این نانو ذرات در سطح بند وجود دارد. پوشش سطح بند با این نانو ذرات، سازگاری زیستی مطلوبی دارد و نانو ذرات نقره را به طور منظم آزاد می‌کند و خواص ضد میکروبی مناسبی ازخود نشان می‌دهد (۱۶-۱۴). گرچه این خواص ضد میکروبی به مرور زمان ممکن است کاهش یابد (۱۴).

در یک مطالعه Mhaske و همکاران (۱۷) اثرضد باکتریایی و ضد چسبندگی سیم‌های استینلس استیل و نیکل تیتانیوم دارای پوشش نانو ذرات نقره را بر روی میکروارگانیسم لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس بررسی کردند. در گروه سیم‌های بدون پوشش نانو ذرات نقره، سیم‌های استنلس استیل و نیکل تیتانیوم به ترتیب ۳۵/۴٪ و ۲۰/۵٪ افزایش وزن به علت چسبیدن دبری و باکتری‌ها داشتند، در حالی که این افزایش وزن برای سیم‌های پوشیده شده با نانو ذرات نقره، ۴/۰۸٪ برای سیم‌های استنلس استیل و ۴/۴٪ برای سیم‌های نیکل تیتانیوم بود. این افزایش وزن برای سیم‌های بدون پوشش معنی‌دار و برای سیم‌های پوشش‌دار بدون معنی بود. سیم‌های پوشش‌دار به طور معنی‌داری باعث کاهش survival rate باکتری لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس شدند. پوشش دادن براکت‌های ارتودنسی با نانو ذرات نقره نیز باعث مهار استرپتوکوکوس موتانس می‌شود (۱۸،۱۹) و این اثر مهاری نه تنها در اطراف براکت، بلکه در فاصله‌ای دورتر از براکت هم دیده می‌شود. بنابراین پوشش دادن براکت‌های ارتودنسی با نانو ذرات نقره می‌تواند باعث کاهش پوسیدگی در سطوح صاف شود (۱۹).

مطالعات نشان داده است که میزان استرپتوکوکوس موتانس در بیمارانی که از ریتینرهای متحرک دارای نانو ذرات نقره استفاده می‌کنند، کمتر است. در گروه با ریتینرهای متحرک حاوی نانو ذرات نقره، اثرات قوی علیه استرپتوکوکوس موتانس دیده شد و میزان این

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

جدول ۱- خلاصه‌ای از مقالات در مورد انواع نانو ذرات از ۲۰۱۰ تاکنون

نویسنده و سال انتشار	نوع نانو ذره	ماده‌ای که نانو ذره به آن اضافه شده است.	نتیجه
Gómora et al 2017	نقره	لیگاچور الاستومریک	در مقایسه با الاستومرهای معمول، اثر مهاری بر روی رشد میکروارگانیسم‌های استرپتوکوکوس موتانس، استافیلوکوکوس آورئوس و اشرشیا کلای دیده شد. علاوه بر این، خصوصیات فیزیکی الاستومرهای حاوی نانو ذرات نقره در مقایسه با گروه کنترل بهتر بود.
Chambers et al 2017	نقره	اپوکسی رزین	خواص ضد میکروبی رزین دارای نانو ذرات نقره - تیتانیوم برای استفاده کلینیکی مناسب است.
Lee et al 2017	نقره	کامپوزیت و رزین دندانی	رزین دارای نانو ذرات نقره اثرات ضد باکتریایی قوی علیه streptococcus mutans و streptococcus sobrinus نشان داد.
Gürsoy et al 2017	نقره	براکت فلزی استاندارد	براکت‌های پوشیده شده با نانو ذرات نقره به عنوان یک ماده ضد میکروبی بدون داشتن عوارضی برای بیمار توصیه می‌شوند و می‌توانند پوسیدگی سطوح صاف را کاهش دهند.
Venugopal et al 2017	نقره	میکروایمپلنت‌های ارتودنسی	پس از ۲۴ ساعت اثر مهاری رشد باکتری‌ها در اطراف میکروایمپلنت‌های پوشانده شده با AgNP-coated biopolymer (Ti-BP-AgNP) دیده می‌شود.
Sodagar et al 2016	نقره	کامپوزیت ارتودنسی	هر دو غلظت ۵ و ۱۰ درصد علیه باکتری‌های Streptococcus mutans، Lactobacillus acidophilus و Streptococcus sanguinis هاله عدم رشد نشان دادند.
Degrazia et al 2016	نقره	کامپوزیت ارتودنسی	مهار قابل توجه رشد streptococcus mutans بدون تأثیر بر خواص فیزیکی ادهزیو مشاهده شد.
Ghasemi et al 2016	نقره و تیتانیوم اکساید	براکت‌های استنلس استیل	هم نانو ذرات نقره و هم تیتانیوم خاصیت ضدباکتریایی قابل توجهی در کاهش کلونی‌های باکتری‌ها نشان دادند. اضافه کردن نانو ذرات تیتانیوم اکساید به براکت استنلس استیل باعث افزایش اصطکاک بین سیم و براکت به طور معنی‌داری می‌شود. شواهد در مورد نانو ذرات نقره قطعی نیست.
Gursoy et al 2016	نقره	براکت فلزی	تفاوت قابل ملاحظه‌ای در پاسخ بافتی بین دو گروه براکت با پوشش نانو ذرات و بدون پوشش وجود نداشت و هر دو به یک اندازه ایجاد التهاب می‌کردند.
Farhadian et al 2016	نقره	آکریل	افزودن نانو ذرات نقره به آکریل ریتینرها، اثرات ضد میکروبی قوی علیه streptococcus mutans در شرایط کلینیکی نشان داد.
Prabha et al 2016	نقره	بند ارتودنسی	یک پوشش یکنواخت و پایدار از نانو ذرات در سطح بند ایجاد شد. پوشش سطح بند با این نانو ذرات، سازگاری زیستی مطلوب و خواص ضد میکروبی مناسبی نشان می‌داد.
Reddy et al 2016	نقره	کامپوزیت ارتودنسی	استحکام باند به طور معنی‌داری از نظر آماری، در براکت‌های باند شده با کامپوزیت دارای نانو ذرات نقره، تیتانیوم اکساید و زینک اکساید کمتر است.
Moreira et al 2015	نقره	سمان بند ارتودنسی	سمان خواص مکانیکی مشابه با گروه کنترل همراه با اثر ضد باکتریایی قوی و سازگاری زیستی مطلوبی از خود نشان داد.
Mhaske et al 2015	نقره	سیمهای استنلس استیل و نیکل تیتانیوم	سیم‌های با پوشش نانو ذرات نقره، چسبندگی کمتری نشان دادند. سیم‌های پوشش دار به طور معنی‌داری باعث کاهش survival rate باکتری لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس شدند.
Ghorbanzadeh et al 2015	نقره	آکریل	نانو ذرات نقره ای که به صورت in situ به بیس پلیت پلاک ارتودنسی اضافه شدند، اثرات ضد باکتریایی قوی علیه فرم پلانکتونی و تشکیل بعدی بیوفیلم نشان دادند.
Riad et al 2015	نقره	کامپوزیت ارتودنسی	استحکام باند براکت‌های باند شده با کامپوزیت دارای نانو ذرات نقره کمتر است.
Elwahab 2015	نقره	کامپوزیت ارتودنسی	استحکام باند براکت‌های باند شده با کامپوزیت دارای نانو ذرات نقره کمتر است.
Blöcher et al 2015	نقره	پرایمر کامپوزیت ارتودنسی	تفاوت استحکام باند بین براکت‌های باند شده با کامپوزیت رزین همراه با پرایمر معمولی و کامپوزیت رزین همراه با پرایمر دارای نانو ذرات نقره از نظر آماری معنی‌دار نبود.
Kasraei et al 2014	نقره	کامپوزیت رزین flowable	نانو ذرات نقره و زینک اکساید، اثرات ضد باکتری بالایی دارند. اثر ضد باکتری زینک اکساید علیه استرپتوکوکوس موتانس بیشتر از نقره بود. در مورد لاکتوباسیلوس تفاوتی وجود نداشت.
Li et al 2013	نقره	glass ionomer cement	سمان خواص ضد میکروبی مناسبی از خود نشان داد. این خواص ضد میکروبی با مرور زمان ممکن است کاهش یابند. با افزایش نانو ذرات نقره استحکام باند کاهش می‌یابد، اگرچه هنوز هم در حد قابل قبولی است.
Sodagar et al 2013	نقره- هیدروکسی آپاتیت	کامپوزیت ارتودنسی	اضافه کردن ذرات نانو ذرات نقره/ هیدروکسی آپاتیت به میزان ۱ و ۵ درصد وزنی موجب افزایش استحکام باند می‌شود، اما افزودن نانو ذرات به میزان ۱۰ درصد وزنی موجب کاهش استحکام باند می‌گردد.
Oei et al 2012	نقره	آکریل	آکریل دارای نانو ذرات نقره خواص ضد باکتریایی وسیع و مدت اثر متوسط تا طولانی نشان داد. خواص فیزیکی قابل مقایسه با گروه کنترل بود.
Sodagar et al 2012	نقره	آکریل	اثر اضافه کردن نانو ذرات نقره بر روی استحکام خمشی آکریل، به نوع اکریل و درصد نانو ذرات نقره بستگی دارد.
Sodagar et al 2016	کروکومین	کامپوزیت ارتودنسی	افزودن همه غلظت‌های مورد استفاده باعث کاهش قابل توجه استرپتوکوکوس موتانس، استرپتوکوکوس سانگوئیس و لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس می‌شود. به منظور دستیابی به بیشترین استحکام باند غلظت ۱٪ وزنی پیشنهاد می‌شود.
Sodagar et al 2016	کیتوزان	کامپوزیت ارتودنسی	کاربرد نانو ذرات کیتوزان در ادهزیو خصوصیات ضد باکتریایی قوی از خود نشان داد. با افزایش غلظت کیتوزان، خصوصیات ضد میکروبی افزایش می‌یابند. هیچ تفاوت آماری معنی‌داری در استحکام باند براکت‌های باند شده با کامپوزیت دارای نانو ذرات کیتوزان و گروه کنترل وجود نداشت.
Aliasghari et al 2016	کیتوزان	محیط کشت	نانو ذرات کیتوزان نسبت به ذرات کیتوزان اثرات ضد باکتریایی قوی‌تری علیه میکروارگانیسم‌های پوسیدگی‌زا دارند. هاله عدم رشد در محیط کشت در اطراف نانو ذرات کیتوزان بزرگتر است.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

Mirhashemi et al 2015	کیتوزان-زینک اکساید	کامپوزیت ارتودنسی	مخلوط این دو نانو ذره خواص ضد میکروبی داشت. حداکثر اثر ضد باکتریایی با غلظت ۱۰٪ به دست آمد.
Costa et al 2014	کیتوزان	دهانشویه	دهانشویه حاوی نانو ذرات کیتوزان در مقایسه با دو دهانشویه تجاری با عناصر فعال کلرهگزیدین و essential oil قادر بود که با چسبیدن به میکروارگانیسم‌ها با تشکیل بیوفیلم و بالغ شدن آن مقابله کند و در نتیجه خواص ضد باکتریایی مطلوب‌تری نسبت به این دو دهانشویه نشان دهد.
Astriandari et al 2013	کیتوزان و کلسیم	دهانشویه	خواص ضد میکروبی مطلوبی در استفاده از دهانشویه حاوی نانو ذرات کیتوزان و کلسیم دیده شد.
Ahrari et al 2015	زینک اکساید، اکسید مس، تیتانیوم اکساید، نقره	دهانشویه	بهترین دهانشویه از جهت فعالیت ضد میکروبی علیه استرپتوکوکوس موتانس و استرپتوکوکوس سانگوئیس دهانشویه حاوی نانو ذرات تیتانیوم اکساید است.
Eslami et al 2015	زینک اکساید، اکسید مس، تیتانیوم اکساید، نقره	دهانشویه	بیشترین تغییر رنگ دندانی مربوط به دهان شویه حاوی نانو ذرات زینک اکساید و کمترین تغییر رنگ دندانی، مربوط به دهانشویه حاوی نانو ذرات تیتانیوم اکساید است. این دهانشویه‌ها در مقایسه با کلرهگزیدین، به همان اندازه یا حتی بیشتر (حتی تیتانیوم اکساید) تغییر رنگ ایجاد می‌کردند.
Felemban et al 2017	زیرکونیوم اکساید و تیتانیوم اکساید	کامپوزیت ارتودنسی	ادهزیو دارای نانو ذرات تیتانیوم اکساید/ زینک اکسید استحکام فشاری، استحکام باند و استحکام کششی، بیشتری دارد.
Contreras et al 2015	تیتانیوم اکساید	گلاس آینومر	اضافه کردن نانو ذرات تیتانیوم به base/liner GI خصوصیات ضد میکروبی و استحکام باند را تغییر نمی‌دهد. اضافه کردن نانو ذرات تیتانیوم به GI Restorative خصوصیات ضد میکروبی را بدون کاهش استحکام باند ارتقاء می‌دهد.
Cao et al 2013	تیتانیوم اکساید	براکت استنلس استیل	سطح براکت‌های ارتودنسی پوشانده شده با لایه نازکی از N-doped Tio2-xNy در مقایسه با براکت‌های معمول میکروارگانیسم‌های کمتری دارد.
Sodagar et al 2013	تیتانیوم اکساید و سیلیکون اکساید	آکریل	نانو ذرات به کار گرفته شده در ترکیب آکریل می‌توانند تعداد باکتری‌ها را از ۳/۲٪ تا ۹۹٪ کاهش دهند. این اثر به نوع نانو ذرات، محیط نور و نوع باکتری مورد بررسی بستگی دارد. اضافه کردن نانو ذرات تیتانیوم اکساید یا سیلیکون اکساید به آکریل استحکام خمشی را کاهش می‌دهد میزان کاهش با دوز نانو ذرات ارتباط مستقیم دارد. استحکام خمشی بین تیتانیوم اکساید و سیلیکون اکساید از لحاظ آماری معنی‌دار نیست.
Heravi et al 2013	تیتانیوم اکساید	کامپوزیت ارتودنسی	سمیت ادهزیو دارای نانو ذرات تیتانیوم اکساید، در مقایسه با ادهزیو transbond XT کمتر یا حداکثر هم اندازه آن است.
et al 2012 Poosti	تیتانیوم اکساید	کامپوزیت ارتودنسی	هیچ تفاوت معنی‌داری در استحکام باند و ایندکس ARI بین دو گروه براکت باند شده با ادهزیو دارای نانو ذرات تیتانیوم اکساید وادهزیو معمول مشاهده نشد.
Kachoei et al 2016	زینک اکساید	سیم نیکل تیتانیوم	پوشش سیم‌های نیکل تیتانیوم باعث کاهش ۲۱٪ اصطکاک بین سیم ۰/۰۱۶ اینچ و براکت فلزی می‌شود.
Behroozian et al 2016	زینک اکساید	سیم‌هایStainless steal و براکت‌هایStainless steal	پوشش دادن سیم‌های ارتودنسی با نانو ذرات زینک اکساید سبب کاهش مقاومت در برابر اسلایدینگ در براکت‌های سرامیکی می‌شود. پوشش دادن هم زمان سیم و براکت ارتودنسی با نانو ذرات زینک اکساید چنین تأثیری را ندارد.
Ramazanzadeh et al 2015	زینک اکساید و اکسید مس	براکت فلزی استاندارد	خواص ضد باکتریایی مخلوط ZnO-CuO و CuO علیه استرپتوکوکوس موتانس مطلوب است. نانو ذرات زینک اکساید به تنهایی نسبت به ZnO-CuO و CuO کمتر توصیه می‌شوند.
Kachoei et al 2013	زینک اکساید	سیم Stainless steal	پوشش سیم ۰/۰۱۶ استینلس استیل اینچ پوشیده شده با ذرات نانو زینک اکساید سبب کاهش ۳۹٪ اصطکاک در هنگام استفاده از براکت فلزی می‌شود. پوشش سیم استنلس استیل ۰/۰۱۹×۰/۰۲۵ اینچ با ذرات نانو زینک اکساید همراه با ۵۱٪ کاهش اصکاک است.
Yamagata et al 2012	زینک اکساید همراه با عناصر نادر زمینی	کامپوزیت ارتودنسی	ذرات Europium که به شبکه‌ای از نانو ذرات زینک اکساید اضافه شده‌اند، و می‌توانند هنگام دباند براکت با تابش نور بنفش یا نزدیک ماوراء بنفش کامپوزیت باقیمانده را مشخص کنند.
Fallahzadeh et al 2017	Sepiolite	Dentin bonding	این نانوذره استحکام باند Dentin bonding را به عاج افزایش می‌دهد.
Xie et al 2017	کلسیم فسفات	سمان ارتودنسی	سمان (بدون شارژ) استحکام باند مشابه با سمان‌های ارتودنسی معمول داشت. بعد از یک شارژ (یک دقیقه غوطه‌ور سازی در محلول شارژ کننده حاوی نانو ذرات کلسیم فسفات که سه بار در روز تکرار می‌شود) نشان داده شد که برای ۱۴ روز کلسیم و فسفات به طور منظم و قابل توجه آزاد می‌شود.
Enan et al 2017	هیدروکسی آپاتیت	گلاس آینومر	سمان گلاس آینومر تغییر یافته با نانو هیدروکسی آپاتیت می‌تواند میکرو لیکیج زیر بندهای ارتودنسی را به طور معنی‌داری کاهش دهد.
Jahanbin et al 2016	ACP- NPs	کامپوزیت ارتودنسی	در گروه ادهزیو دارای ACP- NPs تا شش ماه بعد از باند براکت، هم محتوای معدنی بیشتر است و هم تعداد استرپتوکوکوس موتانس کمتر است.
Lee et al 2014	نانو ذرات نیکل و یون روی	Latex rubber band	در حالتی که الاستیک‌های رابری به میزان سه برابر طول اولیه کشیده شوند، میزان آزاد سازی نانو ذرات نیکل و یون روی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. آزاد سازی این نانو ذرات به طور قابل توجهی، زمان زنده بودن سلول‌های فیبروبلاست موش در آزمایشگاه را کاهش می‌دهند.
Melo et al 2014	فلوراید	کامپوزیت	نشان داده شد که fluoride-releasing nanofilled composite به اندازه fluoride-releasing microfilled composite فلوراید آزاد می‌کنند. بر اساس یافته‌های این مطالعه اضافه کردن ذرات نانو فیلد در کامپوزیت با هدف کاهش پوسیدگی توصیه نمی‌شود.
Beyth et al 2010	آمونیوم چهار ظرفیتی	آکریل	افزودن این نانو ذرات در غلظت کم، باعث فعالیت آنتی باکتریال قابل توجه در محیط in vivo می‌شود و طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌های بزاقی را مهار می‌کند.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

جدول ۲- انواع نانو ذرات و مکانیسم ضد میکروبی آن‌ها و تعداد مقالاتی که از هر کدام از آن‌ها در هر کدام از مواد و وسایل ارتودنسی، استفاده کرده‌اند (۲۰۱۰-۲۰۱۷).

نوع نانو ذره	مکانیسم ضد میکروبی	ادهزیو یا پرایمر	سیم ارتودنسی	آکریل	بند	الاستومر	دهانشویه	میکرو ایمپلنت	سمان	براکت
نقره	آزاد سازی یون نقره، تخریب غشای سلولی باکتری‌ها، تخریب سیستم انتقال الکترون، آسیب به ژنوم باکتری	۵	۱	۳	۳	۱	۲	۱	–	۲
زینک اکساید	آزاد سازی یون‌های روی، تجمع نانو ذرات درون سلول‌ها، تخریب غشای سلولی، تولید پروکسید هیدروژن	۲	–	–	–	–	۲	–	–	۱
اکسید مس	تخریب غشای باکتری‌ها و در نتیجه اکسایداسیون چربی‌ها توسط رادیکال‌های آزاد اکسیژن و رادیکال‌های آزاد هیدروکسیل	–	–	–	–	–	۱	–	–	۱
تیتانیوم اکساید	تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن، تخریب غشای سلولی و دیواره سلولی باکتری	–	–	۱	–	–	۲	–	–	۲
کیتوزان	افزایش نفوذپذیری غشا و در نتیجه نشت مواد داخل سلولی به بیرون سلول، غیر فعال سازی آنزیم‌های باکتری‌ها	۲	–	–	–	–	۱	–	–	–
نانوتیوبهای کربن	تخریب غشای سلولی به وسیله رادیکال‌های آزاد اکسیژن، اکسیداسیون پروتئین‌ها و چربی‌های داخل غشای سلولی	–	–	–	–	–	–	–	–	–
آمونیوم چهار ظرفیتی	سوراخ کردن دیواره سلولی و تخریب آن	–	–	۱	–	–	–	–	–	–
کروکومین	تخریب دیواره پپیتدوگلیکان باکتری‌ها	۱	–	–	–	–	–	–	–	–

میکرو ارگانیسم به شدت کاهش یافت. اگرچه این نانو ذرات روی فرم پلانکتونی باکتری‌ها، اثر بیشتری دارند (۲۲-۲۰). Venugopal و همکاران (۲۳) اثرپوشاندن سطح میکروایمپلنت‌های ارتودنسی را با نانو ذرات نقره و تیتانیوم بر خواص ضد میکروبی آن بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که پس از ۲۴ ساعت اثر مهاری رشد باکتری‌ها در اطراف میکرو ایمپلنت‌های پوشانده شده با AgNP-coated biopolymer (Ti-BP-AgNP) دیده می‌شود. در حالی که میکروایمپلنت‌های پوشانده شده با Regular AgNPs (Ti-AgNP) اثر مهاری بر رشد باکتری‌ها نشان ندادند. بنابراین AgNP-coated biopolymer (Ti-BP-AgNP) به علت خواص ضد باکتریال عالی یک implantable biomaterial نوید بخش خواهد بود.

۲- کورکومین

فعالیت ضد باکتریایی کورکومین، ناشی از توانایی آن در تخریب دیواره پپیتدوگلیکان باکتری‌ها می‌باشد. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که این ماده رشد و تکثیر باکتری‌های زیادی از قبیل استافیلوکوکوس، لاکتوباسیل و استرپتوکوکوس را مهار می‌کند (۲۴).

Sodagar و همکاران (۲) اثر افزودن ۱/۵ و ۱۰ درصد وزنی از نانو ذرات کورکومین را بر روی استحکام باند و خواص ضد باکتریایی کامپوزیت بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که افزودن هر سه غلظت باعث کاهش قابل توجه استرپتوکوکوس موتانس، استرپتوکوکوس سانگوئیس و لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس می‌شود اما به منظور دستیابی به بیشترین استحکام باند غلظت یک درصد وزنی پیشنهاد می‌شود.

۳- کیتوزان

کاربرد نانو ذرات کیتوزان در ادهزیو خصوصیات ضد باکتریایی قوی از خود نشان داده است. با افزایش غلظت کیتوزان، خصوصیات ضد میکروبی افزایش می‌یابند (۲۵،۲۶). این نانو ذره، بر روی فرم پلانکتونی باکتری‌ها اثر بیشتری نسبت به بیوفیلم دارد که علت آن از هم گسیختگی و انسجام کمتر فرم پلانکتونی است. در یک مطالعه

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

حداکثر اثر ضد باکتریایی آن با غلظت ۱۰٪ به دست آمده است (۲۶). مکانیسم اثر ضد باکتریایی نانو ذرات کیتوزان در جدول ۲ آمده است.

نانو ذرات کیتوزان نسبت به ذرات کیتوزان اثرات ضد باکتریایی قوی‌تری علیه میکروارگانیسم‌های پوسیدگی‌زا دارند. هاله عدم رشد در محیط کشت در اطراف نانو ذرات کیتوزان بزرگتر می‌باشد (۲۷). دلیل اثر ضد باکتریایی بیشتر این نانو ذرات کوچک بودن و واکنش پذیری بالاتر این ذرات با باکتری‌ها است. نانو ذرات کیتوزان در غلظت ۵ میلی گرم برمیلی لیتر تشکیل بیوفیلم استرپتوکوکوس موتانس را ۹۳/۴٪ کاهش می‌دهند (۲۷).

افزودن نانو ذرات کیتوزان به دهانشویه نیز خواص ضدباکتریایی و ضد پوسیدگی خوبی نشان داده است (۲۸،۲۹). یافته‌های یک مطالعه نشان داد که دهانشویه حاوی نانو ذرات کیتوزان در مقایسه با دو دهانشویه تجاری با عناصر فعال کلرهگزیدین و essential oil قادر بود که با چسبیدن به میکروارگانیسم‌ها با تشکیل بیوفیلم و بالغ شدن آن مقابله کند وخواص ضد باکتریایی مطلوب‌تری نسبت به این دو دهانشویه نشان دهد (۲۸).

۴- تیتانیوم اکساید

نانو ذرات Tio2 دارای خاصیت photocatalytic هستند، یعنی با تابش نور ماوراء بنفش، فعالیت ضد باکتریایی این ماده تحریک می‌شود. بعد از تابش نور ماوراء بنفش رادیکال‌های آزادی تولید می‌شوند که با مولکول‌های زیستی میکروب‌ها واکنش می‌دهند. جدول ۲ مکانیسم اثر ضد باکتریایی این ماده را شرح می‌دهد. خاصیت photocatalytic محدود به دامنه طول موج نور ماوراء بنفش است، که طول موج کمتر از ۳۸۷ نانومتر را شامل می‌شود. محدوده نور ماوراء بنفش تنها ۵ درصد از طیف نور سفید را تشکیل می‌دهد. از طرف دیگر احتمال آسیب به چشم و پوست حین تابش اشعه ماوراء بنفش وجود دارد (۳۰).

Doping و تغییر سطح نانو ذرات Tio2 می‌تواند سبب شود، خاصیت ضد باکتریایی در محدوده نور مرئی نیز فعال شود. نشان داده شده است که N-Doping یک روش ایده‌آل برای فعال شدن نانو ذرات تیتانیوم اکساید هم با نور مرئی و هم با نور ماوراء بنفش می‌باشد (۳۱). یک مطالعه نشان داده است که سطح براکت‌های ارتودنسی پوشانده شده با لایه نازکی از N-doped Tio2-xNy در مقایسه با براکت‌های معمول میکروارگانیسم‌های کمتری را به خود جذب می‌کند. بنابراین پوشش دادن براکت‌ها با N-doped Tio2-xNy برای پیشگیری از دمینرالیزاسیون مینا و ژنژیویت توصیه می‌شود (۳۰). همچنین ثابت شده است که نانو ذرات تیتانیوم اکساید موجب کاهش مؤثر باکتری‌ها در براکت‌های پوشیده شده با این نانو ذره می‌شوند (۱۸).

نانو ذرات تیتانیوم به گلاس آینومر هم اضافه شده‌اند. نتایج یک مطالعه نشان داد که اضافه کردن نانو ذرات تیتانیوم به base/liner GI خصوصیات ضد میکروبی و استحکام باند را تغییر نمی‌دهد، در حالی که اضافه کردن نانو ذرات تیتانیوم به GI Restorative خصوصیات ضد میکروبی را بدون کاهش استحکام باند ارتقا می‌دهد (۳۲).

Ahrari و همکاران (۳۳) دهانشویه‌های حاوی نانو ذرات مختلف را علیه استرپتوکوکوس موتانس و استرپتوکوکوس سانگوئیس ارزیابی کردند. آن‌ها دهانشویه‌های حاوی نانو ذرات ZnO،CuO، Tio2 و Ag را با سدیم فلوراید و کلروهگزیدین مقایسه کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که دهانشویه سدیم فلوراید اثر ضد باکتریایی علیه این دو میکرو ارگانیسم ندارد. دهانشویه نانو تیتانیوم اکساید کمترین MIC (Minimum inhibitory concentrations) را علیه هر دو میکروارگانیسم و کمترین MBC (Minimum bactericidal concentrations) را علیه استرپتوکوکوس موتانس داشت. دهانشویه نانو تیتانیوم اکساید و نانو زینک اکساید حداقل MBC را علیه استرپتوکوکوس سانگوئیس نشان دادند. بر اساس یافته‌های این مطالعه، بهترین دهانشویه از جهت فعالیت ضد میکروبی علیه استرپتوکوکوس موتانس و استرپتوکوکوس سانگوئیس دهانشویه حاوی نانو ذرات تیتانیوم اکساید است.

بررسی اثرات staining دهانشویه‌های حاوی نانو ذرات ZnO، TiO2، Cu، Ag، کلرهگزیدین و آب نشان داد که بیشترین تغییر رنگ دندانی مربوط به دهان شویه حاوی نانو ذرات زینک اکساید و کمترین تغییر رنگ دندانی مربوط به دهانشویه تیتانیوم اکساید است. این دهان شویه‌ها در مقایسه با کلرهگزیدین، به همان اندازه یا حتی بیشتر (حتی تیتانیوم اکساید) تغییر رنگ ایجاد می‌کردند. بعد از ایجاد تغییر رنگ، مسواک زدن قادر نیست که رنگ را حذف کند یافته‌های این مطالعه نشان داد که این نانو ذرات در این فرم، نمی‌توانند به عنوان

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

جایگزین کلرهگزیدین درحذف عوارض آن باشند (۳۴).

استفاده از پلاک‌های متحرک ارتودنسی در طی برخی از درمان‌ها و در دوره ریتنشن اهمیت قابل ملاحظه‌ای دارد. با توجه به لزوم استفاده از این دستگاه‌ها در طی زمان و تداخل آن‌ها با شست و شوی طبیعی دندان‌ها توسط بزاق، داشتن خواص ضد باکتریایی در این اپلاینس‌ها مهم است. Sodagar و همکاران (۳۵) نانو ذرات اکسید تیتانیوم و نانو ذرات سیلیکا را وارد پلی متیل متاآکریلات کردند و اثر آن را روی باکتری‌های پوسیدگی‌زا مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که نانو ذرات به کار گرفته شده در ترکیب آکریل می‌توانند تعداد باکتری‌ها را از ۳/۲٪ تا ۹۹٪ کاهش دهند. این اثر به نوع نانو ذرات، نور محیطی و نوع باکتری مورد بررسی بستگی دارد. یافته‌های این مطالعه خواص قوی آنتی باکتریال این دو نانو ذره را در آکریل تایید می‌کند.

۵- Polyethyleneimine Nanoparticles

این ماده از مشتقات آمونیوم چهار ظرفیتی است. در جدول ۲ مکانیسم اثر ضد باکتریایی این ماده شرح داده شده است.

به کار بردن نانو ذرات cross-linked quaternary ammonium polyethylenimine (QPEI) در رزین پلاک متحرک نشان داد که کاربرد این نانو ذرات در غلظت کم، باعث فعالیت آنتی باکتریال قابل توجه در محیط in vivo می‌شود و طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌های بزاقی را مهار می‌کند (۳۶).

۶- ZnO و CuO

اگرچه خواص ضد میکروبی نانو ذرات نقره ثابت شده است، اما ایمنی زیستی نانو ذرات نقره و همچنین خطر رنگ گرفتن دندان‌ها (pigmentation)، استفاده بالینی از آن‌ها را دچار مشکل می‌کند. بنابراین استفاده از نانو ذراتی با حداقل عوارض و مشکلات از اهمیت خاصی برخوردار است (۳۷،۳۸). جدول ۲ مکانیسم اثر ضد باکتریایی این دوماده را شرح می‌دهد.

Ramazanzadeh و همکاران (۳۹) در بررسی اثرات ضد باکتریال پوشش دادن براکت‌های ارتودنسی با نانو ذرات زینک اکساید و CuO به این نتیجه رسیدند که در کوتاه مدت خواص ضد باکتریایی مخلوط ZnO-CuO و CuO علیه استرپتوکوکوس موتانس مطلوب است. بر اساس یافته‌های این مطالعه نانو ذرات زینک اکساید به تنهایی نسبت به ZnO-CuO و CuO کمتر توصیه می‌شود.

- کاربرد نانو ذرات به منظور بررسی اثر آن‌ها بر استحکام باند براکت ارتودنسی با سطح دندان

روش باندینگ با رزین کامپوزیت در ارتودنسی عمدتاً، برای اتصال براکت به سطح دندان به کار می‌رود. متاسفانه علی‌رغم مزیت‌های باندینگ از قبیل زیبایی بالا و تکنیک آسان این تکنیک نقطه ضعف‌هایی مانند تجمع پلاک ایجاد ضایعات سفید و شکسته شدن باند را دارد. این ضعف‌ها موجب طولانی شدن درمان، افزایش مدت زمان کار کلینیکی و هزینه درمان می‌شود. روش‌های متعددی برای جلوگیری از تشکیل بیوفیلم و پوسیدگی دندان معرفی شده‌اند. یکی از روش‌ها افزودن مواد ضد میکروبی به رزین کامپوزیت است. دو ماده‌ای که به این منظور استفاده شده‌اند، فلوراید و کلروهگزیدین می‌باشند (۲۵). گمان می‌رود نانو ذرات به علت اندازه کوچک خود خاصیت ضد باکتریایی بالایی دارند (۴۰). در کنار دانستن میزان اثرات ضد باکتریایی نانو ذرات، اثرات آن‌ها بر استحکام باند بین براکت و کامپوزیت یا استحکام باند سمان بندهای ارتودنسی نیز با اهمیت است.

۱- نانو ذرات نقره

نقره به علت داشتن خواص ضد میکروبی در Nano dentistry توجه زیادی را به خود جلب کرده است. اضافه کردن نانو ذرات نقره در ادهزیو ارتودنسی، اگرچه به علت خواص ضد باکتریایی مفید است، اما اثر آن بر استحکام باند مورد سوال بوده است. مطالعات قبلی نشان می‌دهند که اضافه کردن نانو ذرات نقره به ادهزیو می‌تواند موجب کاهش استحکام باند شود و استحکام باند به طور معنی‌داری از نظر آماری، دربراکت‌های باند شده با کامپوزیت دارای نانو ذرات نقره کمتر است (۴۳-۴۱). Degrazia و همکاران (۱۲) گزارش کرد که این کاهش استحکام باند اگرچه از لحاظ آماری معنی‌دار است اما از لحاظ کلینیکی در حد قابل قبولی است. در مطالعه دیگری، نانو ذرات نقره به reinforced glass ionomer cement اضافه شدند و نتیجه گرفته شد که با افزایش نانو ذرات نقره استحکام باند کاهش می‌یابد، گرچه

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

هنوز هم در حد قابل قبولی است (۱۴).

در نقطه مقابل این یافته‌ها Blocher نشان داد که تفاوت استحکام باند بین براکت‌های باند شده با کامپوزیت رزین معمولی و کامپوزیت رزین دارای نانو ذرات نقره معنی‌دار نیست (۴۴). Akhavan و همکاران (۴۵) اثر اضافه کردن نانو ذرات نقره و نانو هیدروکسی آپاتیت را بر استحکام باند ادهزیو ارتودنسی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که اضافه کردن نانو ذرات نقره/هیدروکسی آپاتیت به میزان ۱ و ۵ درصد وزنی موجب افزایش استحکام باند می‌شود، اما افزودن نانو ذرات به میزان ۱۰ درصد وزنی موجب کاهش استحکام باند می‌شود.

دو مطالعه نشان دادند که کاربرد نانو ذرات نقره در سمان بندهای ارتودنسی اگرچه می‌تواند استحکام باند را کمی کاهش دهد اما هنوز استحکام آن در حد قابل قبولی کلینیکی است (۱۴،۱۵). سایر خصوصیات مکانیکی مثل (سختی، ultimate transverse strength و modulus) مشابه هستند (۱۵).

۲- اکسید تیتانیوم

در دهه‌های أخیر توجه زیادی به خاصیت photocatalytic این ذره شده است. مطالعات نشان داده‌اند که این نانو ذره دارای خواص ضد باکتریال است و افزودن آن به ادهزیو می‌توانند خواص مکانیکی را تقویت کند در حالی که استحکام باندی برابر یا بالاتر از گروه کنترل مطالعه داشته باشد (۴۱).

مطالعات صورت گرفته در مورد اضافه کردن این نانو ذره به ادهزیو ارتودنسی، نتایج متناقضی دارند. Poosti و همکاران (۴۶) هیچ تفاوت معنی‌داری در استحکام باند و ایندکس ARI بین دو گروه براکت باند شده با ادهزیو دارای نانو ذرات تیتانیوم اکساید و ادهزیو معمول مشاهده نکردند. مطالعه Reddy و همکاران (۴۱) نشان داد که براکت‌های باند شده با ادهزیو دارای نانو ذرات تیتانیوم اکساید کمترین استحکام باند را دارد. مطالعه دیگری در مورد اثرافزودن نانو ذرات تیتانیوم اکساید/زینک اکسید به ادهزیو Transbond XT نشان داد که ادهزیو دارای ذرات نانو تیتانیوم اکساید/زینک اکسید استحکام فشاری، استحکام باند و استحکام کششی، بیشتری دارد (۴۷).

نتایج یک مطالعه در مورد اضافه کردن این نانو ذرات به گلاس آینومر نشان داد که نانو ذرات تیتانیوم در گلاس آینومر لوتینگ و بیس و ترمیمی، استحکام باند را تغییر نمی‌دهند (۳۲).

۳- Sepiolite

Sepiolite یک ماده با ساختارکریستالی سوزنی شکل است که از اتصال phyllosilicate ایجاد می‌شود. یکی از کاربردهای جدید این ماده، استفاده از آن به عنوان نانو فیلر است. این ماده به خاطر داشتن نواحی فعال در سطح خود، باعث interaction بین نانو فیلر- نانو فیلر و نانوفیلر- ماتریکس می‌شود. به علت خواص عالی چسبندگی و سازگاری با ماتریکس و همچنین خواص بی‌نظیر، این نانو ذره باعث تقویت پلیمر ساخته شده نیز می‌شود. بررسی اثرا افزودن ذرات Nano sepiolite به مواد Dentin bond بررسی شد. نتایج نشان داده است که این نانو ذره استحکام باند Dentin bonding را به عاج افزایش می‌دهد (با افزایش غلظت نانو ذره استحکام باند هم افزایش می‌یافت)، حداکثر افزایش استحکام باند با غلظت ۱٪ (بیشترین غلظت مورد مطالعه) به دست آمد (۴۸). تاکنون مطالعه‌ای در مورد کاربرد این نانو ذره در زمینه ارتودنسی صورت نگرفته است.

۴- کورکومین

این ماده از گیاه زردچوبه به دست می‌آید و علاوه بر استفاده از آن به عنوان ادویه به عنوان داروی گیاهی در درمان بیماری‌ها استفاده می‌شود. این ماده رشد بسیاری از باکتری‌ها از قبیل استافیلوکوکوس و لاکتو باسیل را مهار می‌کند. در مطالعه Sodagar و همکاران (۲) در چهار گروه مورد مطالعه مقادیر صفر (گروه کنترل)، ۱، ۵، ۱۰ درصد وزنی از نانو ذرات کورکومین به کامپوزیت ارتودنسی اضافه شد. کمترین استحکام باند براکت‌های فلزی باند شده مربوط به گروه ۱۰ درصد کورکومین و بیشترین استحکام مربوط به گروه کنترل بود. اختلاف استحکام باند گروه کنترل و گروه ۱۰ درصد نانو ذرات معنی‌دار بود. در گروه ۱ درصد نانو ذرات، گرچه استحکام باند کمتر از کنترل بود، اما این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. بر اساس نتایج این مطالعه افزودن ۱ درصد وزنی نانو ذرات کورکومین به کامپوزیت ارتودنسی، بدون اثر منفی بر استحکام باند و همراه با اثرات آنتی میکروبیال خوب پیشنهاد می‌شود، اگرچه عدم حلالیت کورکومین یک عیب مهم آن محسوب می‌گردد.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

۵- کیتوزان

نانو ذرات کیتوزان از داستیلاسیون کیتین به دست می‌آیند و به عنوان یک پلیمر زیستی در قارچ‌ها و برخی گیاهان وجود دارند. این ماده به دلیل دارا بودن خواص ضد ویروسی، ضد قارچی و ضد میکروبی در بسیاری از زمینه‌ها مانند صنایع غذایی، صنایع دارویی، کشاورزی، آرایشی و دندانپزشکی استفاده می‌شود (۲۵).

Sodagar و همکاران (۲۵) در مطالعه‌ای که بر روی افزودن نانو ذرات کیتوزان به ادهزیو ارتودنسی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که همه غلظت‌های آن (۱٪، ۵٪، ۱۰٪) دارای خواص ضد میکروبی علیه استرپتوکوکوس موتانس و استرپتوکوکوس سانگوئیس هستند. هیچ تفاوت آماری معنی‌داری در استحکام باند براکت‌های باند شده با کامپوزیت دارای نانو ذرات کیتوزان با گروه کنترل وجود نداشت. بنابراین کاربرد این نانو ذره علاوه بر دارا بودن خواص ضد میکروبی، استحکام باند را به طور قابل توجهی متاثر نخواهند کرد.

۶- زینک اکساید

استحکام باند براکت‌های باند شده با ادهزیو دارای این نانو ذره به طور معنی‌داری کمتر از استحکام باند براکت‌های باند شده با کامپوزیت معمولی است (۴۱).

- کاربرد نانو ذرات برای پیشگیری از پوسیدگی

پوسیدگی در اطراف براکت‌های ارتودنسی یک مشکل بالینی قابل ملاحظه است. روش‌های متعددی برای جلوگیری از تشکیل بیوفیلم و پوسیدگی دندان معرفی شده‌اند. یکی از روش‌ها افزودن مواد ضد میکروبی به رزین کامپوزیت است. دو ماده‌ای که به این منظور استفاده شده‌اند، فلوراید و کلروهگزیدین می‌باشند (۲۵). نشان داده شده است که fluoride-releasing nanofilled composite به اندازه fluoride-releasing microfilled composite فلوراید آزاد می‌کنند. بنابراین از افزودن ذرات نانو فیلد آزادکننده فلوراید به کامپوزیت، با هدف کاهش پوسیدگی حمایت نمی‌شود (۴۹).

راه دیگر کاهش پوسیدگی، افزودن موادی با خاصیت آزاد سازی کلسیم و فسفات به کامپوزیت است. از جمله این مواد می‌توان به ACP اشاره کرد. مهم‌ترین عیب ACP ضعیف بودن خصوصیات مکانیکی آن است. نانو ذرات ACP می‌توانند ضمن آزاد سازی کلسیم و فسفات خصوصیات مکانیکی دو برابر قوی‌تر از میکرو ذرات ACP داشته باشند. یک مطالعه قبلی نشان داده است که در گروه ادهزیو دارای ACP- NPs تا شش ماه بعد از باند براکت‌ها، هم محتوای معدنی بیشتر است و هم تعداد استرپتوکوکوس موتانس کمتر است. بنابراین استفاده ازادهزیو دارای ACP- NPs توصیه می‌شود (۵۰). ماده دیگری که می‌تواند خاصیت آزادسازی کلسیم و فسفات را به طور مداوم داشته باشد یک سمان قابل شارژ دارای نانو ذرات کلسیم و فسفات آمورف است. سمان قابل شارژ از glycerol dimethacrylate (PMGDM) و ethoxylated bisphenol A dimethacrylate (EBPADMA) ساخته شده است. سمان جدید (بدون شارژ) استحکام باند مشابه با سمان‌های ارتودنسی معمول دارد. محلول شارژ کننده کلسیم و فسفات از CaCl2 و K2HPo4 ساخته شده است. این سمان بعد از یک شارژ (یک دقیقه غوطه‌ور سازی در محلول شارژ کننده که سه بار در روز تکرار می‌شود) قابلیت آزاد سازی کلسیم و فسفات را به مدت ۱۴ روز را دارد (۵۱).

میکرو لیکیج در زیر بندهای ارتودنسی می‌تواند یک عامل پوسیدگی باشد. نشان داده شده است که سمان گلاس آینومر تغییر یافته با نانو هیدروکسی آپاتیت می‌تواند میکرو لیکیج را به طور معنی‌داری کاهش دهد (۵۲).

- کابرد نانو ذرات برای کاهش اصطکاک بین سیم و براکت

وقتی دندان‌ها در طول آرچ وایر اسلاید می‌شوند، نیرو برای تأمین هدف لازم است، برای غلبه بر مقاومت ایجاد شده توسط تماس با براکت و برای ایجاد ریمودلینگ استخوان مورد نیاز برای حرکت دندان. متأسفانه، عکس العمل هر دو نیرو یعنی مقاومت اصطکاک و نیروی حرکت دندان‌ها، به دندان‌های واحد انکوریج منتقل می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که نیروی اصطکاک تحت بهترین شرایط بزرگ می‌باشد. به عنوان مثال چنانچه دندان نیش بخواهد برای بستن فضای ناشی از کشیدن یک دندان حرکت داده شود ۱۰۰ گرم نیرو برای حرکت دندان و ۱۰۰ گرم برای غلبه بر مقاومت اصطکاک نیاز خواهد بود، بنابراین کل نیروی لازم برای حرکت دندان دو برابر بزرگتر از نیرویی است که انتظار داریم (۵۳).

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

کل مقاومت اصطکاک از سه جزء تشکیل شده است:

۱- نیروی لازم برای برش همه محل‌های اتصال سطوح

۲- مقاومت ایجاد شده در اثر قفل شدن ناهمواری‌ها

۳- عامل شیار انداختن (Plowing) کل نیروی اصطکاک.

بین خشونت سطوح و مقاومت اصطکاک در سیم‌های ارتودنسی رابطه وجود ندارد و یا خیلی کم است. بنابراین گیر کردن ناهمواری‌ها و شیار انداختن عوامل مهمی در کل مقاومت اصطکاکی نمی‌باشند. به عنوان مثال با اینکه سیم‌های نیکل تیتانیوم سطح خشن‌تری نسبت به بتا تیتانیوم دارند اما بتا تیتانیوم مقاومت اصطکاک بیشتری دارد. این مسئله به این دلیل است که با افزایش میزان تیتانیوم در آلیاژ واکنش سطحی افزایش می‌یابد. بنابراین بتا تیتانیوم که ۸۰ درصد تیتانیوم دارد ضریب اصطکاک بالاتری نسبت به نیکل تیتانیوم دارند که دارای ۵۰ درصد تیتانیوم می‌باشد. در صورت استفاده از این سیم‌ها حتی در بعضی شرایط می‌توانند به براکت استیل Cold weld گردد و Sliding را غیرممکن کند.

یک راه حل این مشکل تغییر دادن سطح سیم‌های تیتانیوم با القای یون‌ها به سطح آن (Ion implantation) می‌باشد. اگرچه در کلینیک سیم‌های نیکل تیتانیوم و بتا تیتانیوم القاء شده با یون‌ها به ترتیب در Alignment و بستن فضا عملکرد بهتری نشان ندادند. در مورد براکت‌های تیتانیوم در بهترین شرایط خصوصیات سطحی آن‌ها مشابه سیم‌های تیتانیوم است. صیقل دادن سطح داخلی اسلات براکت به اندازه‌ای مشکل می‌باشد که این مناطق مهم ممکن است، از سیم خشن‌تر باشد. بنابراین Sliding با براکت‌های تیتانیوم ممکن است مشکل ساز باشد، به خصوص اگر از سیم‌های تیتانیوم هم استفاده شود. اگرچه براکت‌های سرامیکی کریستالی کاملاً صاف می‌باشند اما این براکت‌ها هم می‌توانند حین Sliding به سیم‌ها آسیب برسانند و بنابراین این براکت‌ها دارای اصطکاک افزایش یافته می‌باشند (۵۳).

اصطکاک بین سیم و براکت ارتودنسی، چالش مهمی در طی درمان ارتودنسی است. اصطکاک زیاد موجب می‌شود تا نیروی زیادی برای غلبه بر مقاومت در برابر Sliding صرف شود. این نیروی زیاد طول مدت درمان را افزایش می‌دهد و احتمال از دست دادن انکوریج را بالا می‌برد، همچنین می‌تواند منجر به تحلیل ریشه و حرکات ناخواسته دندانی شود. تاکنون روش‌های زیادی مانند استفاده از آلیاژهای گوناگون، تغییر سطح، تغییر اندازه و شکل براکت و سیم، پوشاندن سیم با مواد مختلف مانند تفلون و صفحات کربن نیترید برای غلبه بر مقاومت در برابر Sliding استفاده شده است. اگرچه این روش‌ها مؤثر بوده‌اند اما اصطکاک را به طور رضایت بخشی کاهش نداده‌اند (۵۴).

Dry lubricant مواد جامدی هستند که می‌توانند اصطکاک دو سطح را بدون نیاز به مواد حد واسط مایع کاهش دهند. ذرات نانو نیز می‌توانند این نقش را ایفا کنند. نشان داده شده است که پوشش دادن سیم‌های ارتودنسی با نانو ذرات مختلف مثلاً زینک اکساید سبب کاهش اصطکاک بین سیم و براکت ارتودنسی می‌شود.

۱- زینک اکساید

پوشاندن سیم ۰/۰۱۶ اینچ استیل با ذرات نانو زینک اکساید سبب کاهش ۳۹٪ در میزان اصطکاک در هنگام Sliding در براکت فلزی می‌شود. این میزان کاهش اصطکاک برای سیم‌های ۰/۰۲۵×۰/۰۱۹ اینچ استیل پوشانده شده با ذرات نانو زینک اکساید ۵۱٪ به دست آمد (۵۵) و برای سیم‌های نیکل تیتانیوم پوشانده شده با ذرات نانو زینک اکساید ۲۱٪ بوده است (۵۴).

پوشش دادن سیم‌های ارتودنسی با نانو ذرات زینک اکساید سبب کاهش مقاومت در برابر اسلایدینگ در براکت‌های سرامیکی نیز می‌شود. پوشش دادن همزمان سیم و براکت ارتودنسی با نانو ذرات زینک اکساید چنین تاثیری را نشان نداده است (۵۶).

۲- نانو ذرات تیتانیوم اکساید و نانو نقره

اضافه کردن نانو ذرات تیتانیوم اکساید به براکت استینلس استیل باعث افزایش اصطکاک بین سیم و براکت به طور معنی‌داری می‌شود و بنابراین برای پوشش براکت توصیه نمی‌شوند. پوشش دادن براکت‌های استیل با نانو ذرات نقره نیز اصطکاک را به طور غیر معنی‌داری افزایش می‌دهند، بنابراین شواهد در مورد آن‌ها غیر قطعی است (۱۸).

- کاربرد نانو ذرات به منظور بررسی خواص فیزیکی آکریل

در سال‌های أخیر توجه زیادی به استفاده از نانو ذرات در آکریل شده است. این مواد جز اصلی سازنده پلاک‌های متحرک هستند. در

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

کنار بررسی خواص ضد میکروبی، دانستن اثرات این نانو ذرات بر خواص فیزیکی آکریل مهم است.

۱- نقره

نتایج مطالعات صورت گرفته در مورد اضافه کردن نانو ذرات نقره به آکریل متناقض است. نشان داده شده است که این نانو ذرات استحکام خمشی آکریل Selecta Plus را افزایش می‌دهند، اما اضافه کردن بیشتر، دوباره استحکام خمشی را کاهش می‌دهد. در مورد آکریل Rapid Rapid عکس این حالت رخ می‌دهد. یعنی با اضافه کردن نانو ذرات ابتدا استحکام خمشی کاهش می‌یابد اما دوباره تا حد استحکام خمشی اولیه آفزایش می‌یابد. بنابراین اثر اضافه کردن نانو ذرات نقره بر روی استحکام خمشی آکریل، به نوع آکریل و درصد اضافه نمودن نانو ذرات نقره بستگی دارد (۵۷).

۲- Tio2 و Sio2

اضافه کردن نانو ذرات تیتانیوم اکساید یا سیلیکون اکساید به آکریل استحکام خمشی را کاهش می‌دهد و این کاهش ارتباط مستقیمی با دوز نانو ذرات دارد. تفاوت استحکام خمشی بین آکریل دارای نانو ذرات تیتانیوم اکساید و نانو سیلیکون اکساید از لحاظ آماری معنی‌دار نیست. اگرچه آکریل دارای تیتانیوم اکساید استحکام کمتری نسبت به سیلیکون اکساید نشان می‌دهد (۳۵).

- کابرد نانو ذرات برای مرئی کردن ادهزیو ارتودنسی (Visibility)

پس از پایان درمان ارتودنسی، برداشتن براکت‌ها و هر گونه ادهزیو باقیمانده ضروری است. اما از آنجا که ادهزیو ارتودنسی همرنگ دندان است برداشتن آن می‌تواند مشکل باشد. در حین برداشتن ادهزیو با وسایل روتاری امکان آسیب به مینا وجود دارد (۵۸). افزودن ذرات europium که به شبکه‌ای از نانو ذرات زینک اکساید اضافه شده‌اند، می‌توانند پس از دباند براکت‌ها با تابش نور بنفش یا نزدیک ماوراء بنفش کامپوزیت باقیمانده را مشخص‌کند (۵۹).

۳- Cytotoxicity

اگرچه به دلیل امکان آزاد سازی نانو ذرات از موادی که این نانو ذرات به آن‌ها افزوده شده‌اند می‌تواند سمیت سلولی رخ دهد و زمان زنده بودن سلول‌ها در آزمایشگاه کاهش یابد (۶۰،۳)، اما دو مطالعه قبلی نشان داده است که این سمیت در برابر گروه کنترل می‌تواند کمتر(۶۰) یا حداکثر هم اندازه (۶۰،۶۱) باشد.

Lima و همکاران (۶۲) در یک مقاله مروری، cytotoxicity و genotoxicity نانو ذرات نقره را که به طور شیمیایی یا زیستی تولید شده‌اند، بررسی کردند. آن‌ها در جمع‌بندی خود به این نتیجه رسیدند که بر اساس مطالعاتی که تاکنون در مورد cytotoxicity و genotoxicity صورت گرفته نمی‌توان ارزیابی قطعی از سمیت نانو ذرات نقره انجام داد. اگرچه یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهند که سمیت نانو ذرات نقره از یون‌های نقره کمتر است.

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات انجام شده همه نانو ذرات نقره، کروکومین، تیتانیوم اکساید، کیتوزان، زینک اکساید، مشتقات آمونیوم چهار ظرفیتی خواص ضد باکتریایی مناسبی از خود نشان می‌دهند. نانو ذرات نقره اضافه شده به کامپوزیت ارتودنسی استحکام باند را کاهش می‌دهند. اما به مطالعات بیشتری جهت تعیین کفایت کلینیکی استحکام باند براکت‌های باند شده با کامپوزیت دارای نانو ذرات نقره نیاز است. به نظر می‌رسد نانو ذرات کورکومین و کیتوزان اثر منفی بر استحکام باند ندارند اما نانو ذرات Sepiolite استحکام باند را افزایش می‌دهند. نتایج در مورد استحکام باند نانو ذرات تیتانیوم اکساید متناقض است. به منظور بررسی اثر هر یک کدام از این نانو ذرات بر استحکام باند مطالعات بیشتری توصیه می‌شود. اگرچه اضافه کردن نانو ذرات ACP و یک سمان قابل شارژ از نانو ذرات کلسیم فسفات به کامپوزیت باعث آزاد سازی منظم یون‌های کلسیم و فسفر می‌شود اما نانو ذرات فلوراید اثر مثبتی در کاهش پوسیدگی از خود نشان ندادند. بنابراین به منظور بررسی بیشتر، مطالعات جدیدی توصیه می‌شود. مطالعات نشان می‌دهند اضافه کردن نانو ذرات زینک اکساید به سیم‌های ارتودنسی، موجب کاهش اصطکاک بین سیم و براکت می‌شود. در حال که اضافه کردن نانو ذرات تیتانیوم اکساید به براکت اصطکاک را افزایش می‌دهد. در مورد سایر نانو ذرات تا کنون مطالعه‌ای صورت نگرفته است. در مورد بررسی اثر نانو ذرات بر خواص فیزیکی آکریل نیز مطالعات ناکافی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

و فاقد نتیجه‌گیری قطعی هستند. یکی از جنبه‌های مهم کاربرد نانو ذرات بحث سمیت آن‌هاست. اگرچه شواهد در این زمینه ناکافی است اما به نظر می‌رسد، نانو ذرات حداقل سمیت بیشتری نسبت به مواد معمولی ندارند. با توجه به گستردگی زیاد حیطه نانو تکنولوژی و کمبود مطالعات در زمینه اثرات نانو ذرات بر استحکام باند ادهزیو ارتودنسی، آزاد سازی فلوراید، اثر بر اصطکاک سیم و براکت و همچنین خواص فیزیکی آکریل‌های ارتودنسی مطالعات بیشتری برای روشن شدن این جنبه‌ها پیشنهاد می‌گردد.

منابع:

1- Kaehler T. Nanotechnology: basic concepts and definitions. Clin Chem. 1994;40(9):1797-9.

2- Sodagar A, Bahador A, Pourhajibagher M, Ahmadi B, Baghaeian P. Effect of Addition of Curcumin Nanoparticles on Antimicrobial Property and Shear Bond Strength of Orthodontic Composite to Bovine Enamel. J Dent (Tehran). 2016;13(5):373-82.

3- Lee JH, Lee EJ, Kwon JS, Hwang CJ, Kim KN. Cytotoxicity comparison of the nanoparticles deposited on latex rubber bands between the original and stretched state. J Nanomater. 2014;2014:6.

4- Verma SK, Prabhat K, Goyal L, Rani M, Jain A. A critical review of the implication of nanotechnology in modern dental practice. Natl J Maxillofac Surg. 2010;1(1):41-4.

5- Brayner R. The toxicological impact of nanoparticles. Nano Today. 2008;3(1-2):48-55.

6- Panda KK, Achary VMM, Krishnaveni R, Padhi BK, Sarangi SN, Sahu SN, et al. In vitro biosynthesis and genotoxicity bioassay of silver nanoparticles using plants. Toxicol In Vitro. 2011;25(5):1097-105.

7- Vahabi S, Mardanifar F. Applications of nanotechnology in dentistry: A review. 2014;32(4):228-39.

8- Kasraei S1, Sami L2, Hendi S3, Alikhani MY4, Rezaei-Soufi L5, Khamverdi Z1. Antibacterial properties of composite resins incorporating silver and zinc oxide nanoparticles on Streptococcus mutans and Lactobacillus. Restor Dent Endod. 2014;39(2):109-14.

9- Chambers C, Stewart S, Su B, Jenkinson H, Sandy J, Ireland A. Silver doped titanium dioxide nanoparticles as antimicrobial additives to dental polymers. Dent Mater. 2017;33(3): e115-e23.

10- Lee SJ, Heo M, Lee D, Han S, Moon JH, Lim HN, Kwon IK. Ation and characterization of antibacterial orthodontic resin containing silver nanoparticles. Appl Surf Sci. 2018;432: 317-23.

11- Sodagar A, Akhavan A, Hashemi E, Arab S, Pourhajibagher M, Sodagar K, et al. Evaluation of the antibacterial activity of a conventional orthodontic composite containing silver/hydroxyapatite nanoparticles. Prog Orthod. 2016;17(1):40.

12- Degrazia FW, Leitune VCB, Garcia IM, Arthur RA, Samuel SMW, Collares FM. Effect of silver nanoparticles on the physicochemical and antimicrobial properties of an orthodontic adhesive. J Appl Oral Sci. 2016;24(4):404-10.

13- Hernández-Gómora AE, Lara-Carrillo E, Robles-Navarro JB, Scougall-Vilchis RJ, Hernández-López S, Medina-Solís CE, et al. Biosynthesis of Silver Nanoparticles on Orthodontic Elastomeric Modules: Evaluation of Mechanical and Antibacterial Properties. Molecules. 2017;22(9):1407.

14- Li F, Li Z, Liu G, He H. Long-term antibacterial properties and bond strength of experimental nano silver-containing orthodontic cements. J Wuhan University of Technology-Mater Sci Ed. 2013;28(4):849-55.

15- Moreira DM, Oei J, Rawls HR, Wagner J, Chu L, Li Y, et al. A novel antimicrobial orthodontic band cement with in situ–generated silver nanoparticles. Angle Orthod. 2014;85(2):175-83.

16- Prabha RD, Kandasamy R, Sivaraman US, Nandkumar MA, Nair PD. Antibacterial nanosilver coated orthodontic bands with potential implications in dentistry. Indian J Med Res. 2016;144(4):580.

17- Mhaske AR, Shetty PC, Bhat NS, Ramachandra C, Laxmikanth S, Nagarahalli K, et al. Antiadherent and antibacterial properties of stainless steel and NiTi orthodontic wires coated with silver against Lactobacillus acidophilus-an in vitro study. Prog Orthod. 2015;16(1):40.

18- Ghasemi T, Arash V, Rabiee S, Rajabnia R, Pourzare A, Rakhshan V. Antimicrobial effect, frictional resistance, and surface roughness of stainless steel orthodontic brackets coated with nanofilms of silver and titanium oxide: A preliminary study. Microsc Res Tech. 2017;80(6):599-607.

19- Metin-Gürsoy G, Taner L, Akca G. Nanosilver coated orthodontic brackets: in vivo antibacterial properties and ion release. Eur J Orthod. 2017;39(1):9-16.

20- Farhadian N, Mashoof RU, Khanizadeh S, Ghaderi E, Farhadian M, Miresmaeili A. Streptococcus mutans counts in patients wearing removable retainers with silver nanoparticles vs those wearing conventional retainers: A randomized clinical trial. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2016;149(2):155-60.

21- Oei JD, Zhao WW, Chu L, DeSilva MN, Ghimire A, Rawls HR, et al. Antimicrobial acrylic materials with in situ generated silver nanoparticles. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2012;100(2):409-15.

22- Ghorbanzadeh R, Pourakbari B, Bahador A. Effects of baseplates of orthodontic appliances with in situ generated silver nanoparticles on cariogenic bacteria: a randomized, double-blind cross-over clinical trial. J Contemp Dent Pract. 2015;16(4):291-8.

23- Venugopal A, Muthuchamy N, Tejani H, Gopalan AI, Lee KP, Lee HJ, et al. Incorporation of silver nanoparticles on the surface of orthodontic microimplants to achieve antimicrobial properties. Korean J Orthod. 2017;47(1):3-10.

24- Zorofchian Moghadamtousi S, Abdul Kadir H, Hassandarvish P, Tajik H, Abubakar S, Zandi K. A review on

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

antibacterial, antiviral, and antifungal activity of curcumin. Biomed Res Int. 2014;2014:186864.

25- Sodagar A, Bahador A, Jalali YF, Gorjizadeh F, Baghaeian P. Effect of Chitosan Nanoparticles Incorporation on Antibacterial Properties and Shear Bond Strength of Dental Composite Used in Orthodontics. Iran J Ortho. 2016 (In Press).

26- Mirhashemi A, Bahador A, Kassaee M, Daryakenari G, Ahmad-Akhoundi M, Sodagar A. Antimicrobial effect of nano-zinc oxide and nano-chitosan particles in dental composite used in orthodontics. J Med Bacteriol. 2015;2(3-4):1-10.

27- Aliasghari A, Khorasgani MR, Vaezifar S, Rahimi F, Younesi H, Khoroushi M. Evaluation of antibacterial efficiency of chitosan and chitosan nanoparticles on cariogenic streptococci: an in vitro study. Iran J Microbiol. 2016;8(2):93.

28- Costa E, Silva S, Madureira A, Cardelle-Cobas A, Tavaria F, Pintado M. A comprehensive study into the impact of a chitosan mouthwash upon oral microorganism's biofilm formation in vitro. Carbohydr Polym. 2014;101:1081-6.

29- Astriandari A, Safitri AU. Mouthwash based of Nanocalcium-and Nanochitosan for dental health care in a way that is practical and efficient. Macro Trends Health Med. 2013;1:96-101.

30- Cao B, Wang Y, Li N, Liu B, Zhang Y. Preparation of an orthodontic bracket coated with an nitrogen-doped TiO2-xNy thin film and examination of its antimicrobial performance. Dent Mater J. 2013;32(2):311-6.

31- Liu B, Wang Y, Yin S, Sato T. TiO2/TiO2-xNy nanocomposite and its acetaldehyde photodecomposition ability. Research on Chemical Intermediates. 2010;36(1):39-49.

32- Garcia-Contreras R1, Scougall-Vilchis RJ2, Contreras-Bulnes R3, Sakagami H4, Morales-Luckie RA5, Nakajima H4. Mechanical, antibacterial and bond strength properties of nano-titanium-enriched glass ionomer cement. J Appl Oral Sci. 2015;23(3):321-8.

33- Ahrari F, Eslami N, Rajabi O, Ghazvini K, Barati S. The antimicrobial sensitivity of Streptococcus mutans and Streptococcus sangius to colloidal solutions of different nanoparticles applied as mouthwashes. Dent Res J (Isfahan). 2015;12(1):44.

34- Eslami N, Ahrari F, Rajabi O, Zamani R. The staining effect of different mouthwashes containing nanoparticles on dental enamel. J Clin Exp Dent. 2015;7(4):e457.

35- Sodagar A, Bahador A, Khalil S, Shahroudi AS, Kassaee MZ. The effect of TiO 2 and SiO 2 nanoparticles on flexural strength of poly (methyl methacrylate) acrylic resins. J Prosthodont Res. 2013;57(1):15-9.

36- Beyth N, Yudovin-Farber I, Perez-Davidi M, Domb AJ, Weiss EI. Polyethyleneimine nanoparticles incorporated into resin composite cause cell death and trigger biofilm stress in vivo. Proc Natl Acad Sci U S A. 2010;107(51):22038-43.

37- Sondi I, Salopek-Sondi B. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria. J Colloid Interface Sci. 2004;275(1):177-82.

38- Kumar VS, Nagaraja B, Shashikala V, Padmasri A, Madhavendra SS, Raju BD, et al. Highly efficient Ag/C catalyst prepared by electro-chemical deposition method in controlling microorganisms in water. J Mol Catal A Chem. 2004;223(1):313-9.

39- Ramazanzadeh B, Jahanbin A, Yaghoubi M, Shahtahmassbi N, Ghazvini K, Shakeri M, et al. Comparison of antibacterial effects of ZnO and CuO nanoparticles coated brackets against Streptococcus mutans. J Dent. 2015;16(3):200.

40- Allaker R. The use of nanoparticles to control oral biofilm formation. J Dent Res. 2010;89(11):1175-86.

41- Reddy AK, Kambalyal PB, Patil SR, Vankhre M, Khan MYA, Kumar TR. Comparative evaluation and influence on shear bond strength of incorporating silver, zinc oxide, and titanium dioxide nanoparticles in orthodontic adhesive. J Orthod Sci. 2016;5(4):127.

42- Riad M, Harhash AY, Elhiny OA, Salem GA. Evaluation of the shear bond strength of orthodontic adhesive system containing antimicrobial silver nano particles on bonding of metal brackets to enamel. Life Sci J. 2015;12:27-34.

43- Elwahab GA. Evaluation of the Shear Bond Strength of Orthodontic Adhesive System Containing Antimicrobial Silver Nano Particles on Bonding of Metal Brackets to Enamel. Life Sci J. 2015;12:27-34.

44- Blöcher S, Frankenberger R, Hellak A, Schauseil M, Roggendorf MJ, Korbmacher-Steiner HM. Effect on enamel shear bond strength of adding microsilver and nanosilver particles to the primer of an orthodontic adhesive. BMC Oral Health. 2015;15(1):42.

45- Akhavan A, Sodagar A, Mojtahedzadeh F, Sodagar K. Investigating the effect of incorporating nanosilver/ nanohydroxyapatite particles on the shear bond strength of orthodontic adhesives. Acta Odontol Scand. 2013;71(5):1038-42.

46- Poosti M, Ramazanzadeh B, Zebarjad M, Javadzadeh P, Naderinasab M, Shakeri MT. Shear bond strength and antibacterial effects of orthodontic composite containing TiO2 nanoparticles. Eur J Orthod. 2012;35(5):676-9.

47- Felemban NH, Ebrahim MI. The influence of adding modified zirconium oxide-titanium dioxide nano-particles on mechanical properties of orthodontic adhesive: an in vitro study. BMC Oral Health. 2017;17(1):43.

48- Fallahzadeh F, Safarzadeh-Khosroshahi S, Atai M. Dentin bonding agent with improved bond strength to dentin through incorporation of sepiolite nanoparticles. J Clin Exp Dent. 2017;9(6):e738-e742.

49- Melo MA, Morais WA, Passos VF, Lima JP, Rodrigues LK. Fluoride releasing and enamel demineralization around orthodontic brackets by fluoride-releasing composite containing nanoparticles. Clin Oral Investig. 2014;18(4):1343-50.

50- Jahanbin A, Farzanegan F, Atai M, Jamehdar SA, Golfakhrabadi P, Shafaee H. A comparative assessment of enamel mineral content and Streptococcus mutans population between conventional composites and composites containing nano amorphous calcium phosphate in fixed orthodontic patients: a split-mouth randomized clinical trial. Eur J Orthod.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]

2016;39(1):43-51.

51- Xie X-J, Xing D, Wang L, Zhou H, Weir MD, Bai Y-X, et al. Novel rechargeable calcium phosphate nanoparticle-containing orthodontic cement. Int J Oral Sci. 2017;9(1):24-32.

52- Enan ET, Hammad SM. Microleakage under orthodontic bands cemented with nano-hydroxyapatite-modified glass ionomer: An in vivo study. Angle Orthod. 2013;83(6):981-6.

53- Proffit WR, Fields HW, Sarver DM. Contemporary Orthodontics-E-Book: Elsevier Health Sciences; 5th Edition 2014.

54- Kachoei M, Nourian A, Divband B, Kachoei Z, Shirazi S. Zinc-oxide nanocoating for improvement of the antibacterial and frictional behavior of nickel-titanium alloy. Nanomedicine. 2016;11(19):2511-27.

55- Kachoei M, Eskandarinejad F, Divband B, Khatamian M. The effect of zinc oxide nanoparticles deposition for friction reduction on orthodontic wires. Dent Res J (Isfahan). 2013;10(4):499.

56- Behroozian A, Kachoei M, Khatamian M, Divband B. The effect of ZnO nanoparticle coating on the frictional resistance between orthodontic wires and ceramic brackets. Dent Res Dent Clin Dent Prospects. 2016;10(2):106.

57- Sodagar A, Kassaee MZ, Akhavan A, Javadi N, Arab S, Kharazifard MJ. Effect of silver nano particles on flexural strength of acrylic resins. J Prosthodont Res. 2012;56(2):120-4.

58- Campbell PM. Enamel surfaces after orthodontic bracket debonding. Angle Orthod. 1995;65(2):103-10.

59- Yamagata S, Hamba Y, Nakanishi K, Abe S, Akasaka T, Ushijima N, et al. Introduction of rare-earth-element-containing ZnO nanoparticles into orthodontic adhesives. Nano Biomedicine. 2012;4(1):11-7.

60- Heravi F, Ramezani M, Poosti M, Hosseini M, Shajiei A, Ahrari F. In vitro cytotoxicity assessment of an orthodontic composite containing titanium-dioxide nano-particles. J Dent Res Dent Clin Dent Prospects. 2013;7(4):192-8.

61- Metin-Gürsoy G, Taner L, Barış E. Biocompatibility of nanosilver-coated orthodontic brackets: an in vivo study. Prog Orthod. 2016;17(1):39.

62- Lima R, Seabra AB, Durán N. Silver nanoparticles: a brief review of cytotoxicity and genotoxicity of chemically and biogenically synthesized nanoparticles. J Appl Toxicol. 2012;32(11):867-79.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2024-09-18]