

Bioactive Materials: A Promising Approach in Modern Dentistry

Seyed Ali Jafarian Mohammadi¹ 

Alireza Rahimi² 

MohammadMostafa Aghamohseni³ 

1. Graduated of Dentistry, School of Dentistry, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

2. **Corresponding Author:** Graduated of Dentistry, School of Dentistry, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.

Email: rahimi.alireza.ar@gmail.com

3. Graduated of Dentistry, School of Dentistry, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Abstract

Introduction: Bioactive materials are substances that can affect living tissue, organisms and cells or their response. These materials can be used in various fields of medicine and dentistry. Today, the main use of these materials in dentistry is its use in the treatment of pulp capping, remineralization of teeth in order to restore hard tissue, and anti-caries and antibacterial properties. Some of these substances have alkaline properties, that can neutralize acidic pH. Also, some others have adhesive properties and chemical bonding, and other features of these materials include their dimensional stability, biocompatibility, and bioactivity.

Description: This review was conducted by searching Persian and English sources indexed in Scopus, PubMed, ISI, and focusing on recent articles published in the field. Bioactive materials include biodentin, polymer materials with nano-structure in combination with protein-replants, as well as well-known and common materials that have bioactive properties such as (mineral trioxide aggregate), calcium hydroxide. However various studies have also identified some disadvantages that should be taken into account. These explanations help us to know all the options and materials in our treatments and make a better choice.

Conclusion: Bioactive substances and their effects can cause changes in different fields of dentistry and provide new solutions to improve the materials used in dental treatments. However, further in-vitro and clinical studies are needed to prove the effectiveness of these materials in dental materials synthesis.

Key words: Adhesives; Dentistry; Anti-bacterial agents; Polymers.

Received: 10.04.2023

Revised: 01.07.2023

Accepted: 01.08.2023

How to cite: Jafarian Mohammadi SA, Rahimi A, Aghamohseni MM. Bioactive Materials: A Promising Approach in Modern Dentistry. J Isfahan Dent Sch 2023; 19(2): 167-76.

مواد بیواکتیو: رویکردی نویدبخش در دندان پزشکی نوین، مقاله‌ی مروری محدود

۱. دانش‌آموخته‌ی دندان پزشکی، دانشکده‌ی دندان پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.
۲. نویسنده مسؤول: دانش‌آموخته‌ی دندان پزشکی، دانشکده‌ی دندان پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران.
Email: rahimi.alireza.ar@gmail.com
۳. دانش‌آموخته‌ی دندان پزشکی، دانشکده‌ی دندان پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

سیدعلی جعفریان محمدی^۱ ID

علیرضا رحیمی^۲ ID

محمد مصطفی آقامحسنی^۳ ID

چکیده

مقدمه: مواد بیواکتیو به عنوان موادی که می‌توانند بر روی بافت زنده، ارگان‌های و سلول یا پاسخ آن‌ها اثر بگذارند، شناخته می‌شوند. استفاده از این مواد در حوزه‌های مختلف پزشکی و دندان پزشکی می‌تواند صورت بگیرد. امروزه کاربرد اصلی این مواد در دندان پزشکی را می‌توان به استفاده از آن در درمان پالپ کپینگ (پوشش پالپی)، رمینرالیزاسیون دندان به منظور بازسازی بافت سخت، خواص ضد پوسیدگی و آنتی‌باکتریال اشاره نمود. برخی از این مواد دارای ویژگی آلکالین‌ها بوده که می‌توانند pH اسیدی را به pH خنثی تبدیل کنند. همچنین برخی دیگر دارای خواص ادهزیو و پیوند شیمیایی بوده و نیز از دیگر ویژگی‌های این مواد می‌توان به ثبات ابعادی، زیست‌سازگاری و بیواکتیویته آن‌ها اشاره نمود. در این مطالعه قصد داریم تا به کاربرد، نقش و اثربخشی مواد بیواتیو در حوزه‌ی مواد دندانی و درمان‌های دندان پزشکی بپردازیم.

شرح مقاله: مقالات مورد استفاده در این مطالعه، با جستجو از بین منابع فارسی و انگلیسی نمایه شده در پایگاه‌های Scopus, PubMed, ISI، و با تمرکز بر مقالات منتشر در سال‌های اخیر، انتخاب شده است. مواد بیواکتیو به موادی مانند بیودنتین، مواد پلیمری با ساختار نانو در ترکیب با پروتئین-رپلنت‌ها، همچنین مواد مشهور و معمولی که خواص بیواکتیو دارند مثل (Mineral trioxide aggregate)، کلسیم هیدروکساید اطلاق می‌شود. همچنین مطالعات مختلفی علاوه بر این خواص، مضرات مختلفی را نیز بیان کرده‌اند که باید به آن‌ها توجه نمود. این توضیحات کمک می‌کند تا در درمان‌های خود همه‌ی گزینه‌ها و مواد را شناخته و انتخاب درست‌تری داشته باشیم.

نتیجه‌گیری: مواد بیواکتیو و تأثیرات آن‌ها می‌تواند باعث تحول در زمینه‌های مختلف دندان پزشکی شده و راه‌حل‌های جدیدی را جهت بهبود مواد مورد استفاده در درمان‌های دندان پزشکی ارائه کند. با این حال، نیاز به مطالعات بیشتری در زمینه‌ی آزمایشگاهی و بالینی می‌باشد تا اثربخشی این مواد در متریال‌های دندان پزشکی تولید شده ثابت شود.

کلید واژه‌ها: مواد ادهزیو؛ دندان پزشکی؛ عوامل ضد باکتریایی؛ مواد پلیمری.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۱۰

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۲/۴/۱۰

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱/۲۱

استناد به مقاله: جعفریان محمدی سیدعلی، رحیمی علیرضا، آقامحسنی محمد مصطفی. مواد بیواکتیو: رویکردی نویدبخش در دندان پزشکی نوین، مقاله‌ی مروری محدود. مجله دانشکده دندان پزشکی اصفهان. ۱۴۰۲؛ ۱۹ (۲): ۱۶۷-۱۷۶.

مقدمه

در ابتدا باید به بیان موضوع اشاره کرد که اصطلاحات بیواکتیو، زیست القایی (Bioinductive)، بیومتریال و بیومیمتیک متفاوت هستند و به طور جداگانه تعریف شده‌اند. ماده‌ی بیواکتیو به عنوان ماده‌ای تعریف می‌شود که بر روی بافت زنده، ارگانیسم‌ها، سلول و یا پاسخ آن‌ها تأثیر می‌گذارد؛ مانند: ایجاد بلور هیدروکسی آپاتیت. خاصیت زیستی‌القایی به عنوان توانایی یک ماده برای القای پاسخ در یک سیستم بیولوژیکی تعریف می‌شود. به هر ماده، سطح یا ساختاری که با سیستم‌های بیولوژیکی برهم کنش دارد، بیومتریال گفته می‌شود. بیومیمتیک بر روی تشکیل، ساختار یا عملکرد مواد بیولوژیکی تولید شده (مانند ابریشم یا مروارید) و مکانیسم‌ها و فرایندهای بیولوژیکی (مانند: سنتز پروتئین یا رمینرالیزاسیون) مطالعه می‌کند تا بتوان محصولات و ساختارهایی با بیشترین تشابه با فرایند طبیعی به صورت مقلدانه و تصنعی ساخت. بنابراین، این تعاریف تفاوت بین هر اصطلاح را توصیف می‌کند (۱). مواد بیواکتیو مختلف عبارتند از: هیدروکسید کلسیم، (Mineral trioxide aggregate) MTA، مخلوط غنی شده با کلسیم (Calcium-enriched mixture)، بیودنتین، مواد اینترت (ایزوبوتیل سیانواکریلات و تری کلسیم فسفات سرامیک) (۲، ۳)، مواد پلیمری نانو ساختار همراه با پروتئین رپلنت (Protein-repellent) دارای خواص ضد پوسیدگی، مواد ترمیمی مثل: ActiveTM BioACTIVE، پالپدنت (رزین کامپوزیتی که فعالیت بیواکتیو بیشتری دارد و فلوراید بیشتری نسبت به گلاس آینومرها آزاد می‌کند) (۴)، ترا کلسیم فسفات (Tetracalcium phosphate) (۵)، سرامیک‌های بیواکتیو مشتق از سل-ژل (Sol-gel-derived bioactive glass) و سرامیک‌های حاوی یون نقره (Ag-BG) (۶)، کلسیم فسفات، سمان‌های اندودنتیک جدید (Novel endodontic cement) (۷).

موارد استفاده از مواد زیست فعال عبارتند از: ۱. در درمان پالپ کپینگ، ۲. به منظور ترمیم‌های دائمی استفاده

می‌شوند، ۳. می‌توان از آن‌ها برای انسداد توبول‌های عاجی استفاده کرد. سرامیک (Huaxi-BAG (HX-BGC می‌تواند یک ماده‌ی مؤثر برای کاهش نفوذپذیری عاج باشد و بنابراین می‌تواند در درمان حساسیت‌های بیش از حد عاجی مورد استفاده قرار گیرد (۸)، ۴. مواد بیواکتیو مانند BAG به عنوان داربست عمل کرده و به بازسازی بافت استخوانی کمک می‌کنند (۹)، ۵. این ماده‌ها می‌توانند رمینرالیزاسیون دندان را افزایش دهند (۱۰) و مشخص شده است که BAG و کازئین فسفوپپتید-آمورف کلسیم فسفات در رمینرالیزاسیون دندان مؤثر است (۱۱).

شرح مقاله

در دیتابیس‌های داخلی و خارجی، کلیدواژه‌های مواد بیواکتیو، دندان پزشکی، محافظه کارانه، دندان پزشکی ترمیمی، بیومیمتیک و غیره جستجو شد و مقالات مربوطه انتخاب گردید، ده مقاله مختلف بررسی شد و گزیده‌ای از اطلاعات مفید آن‌ها استخراج گردید. این مقاله از نوع مروری کوتاه شده بوده و لیستی از مواد بیواکتیو معمول و جدید تهیه گردید تا در بالین بتوان به کمک شناخت آن‌ها و مختصری از ویژگی آن‌ها به بهترین درمان دست یابیم.

بحث

مواد بیواکتیو

بیودنتین: این ماده‌ی بیواکتیو، جایگزینی برای عاج طبیعی است که خواص مشابهی با آن داشته و تأثیر مثبتی بر سلول‌های پالپ زنده دارد که تشکیل عاج ثالثیه را تحریک می‌کند (۱۲).

بیودنتین، به شکل کپسول حاوی نسبت ایده‌آل پودر و مایع در بازار موجود است. ترکیب پودر شامل: تری کلسیم سیلیکات، دی کلسیم سیلیکات، کلسیم کربنات، اکسید زیرکونیم و اکسید آهن می‌باشد در حالی که مایع حاوی کلرید کلسیم است که به عنوان یک شتاب‌دهنده واکنش عمل می‌کند، عملکرد پلیمر محلول در آب به عنوان عامل

ماتریکس کلاژن تولید می کنند. این ماتریکس غیر معدنی تشکیل شده سپس توسط استئودنتین اولیه و پس از آن با تشکیل عاج ثالثیه مینرالیزه می شود (۱۷).

کلسیم هیدروکسید: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ توسط Herma وارد دندان پزشکی شد و طبق گفته ی Schröder (۱۸)، ماده ی $\text{Ca}(\text{OH})_2$ استاندارد طلایی برای درمان پالپ کپینگ در دندان های انسان هستند. یکی از معایب بزرگ مواد $\text{Ca}(\text{OH})_2$ این است که پالپ اکسپوز شده را به طور مناسبی سیل نمی کنند. ناتوانی $\text{Ca}(\text{OH})_2$ در سیل باکتریایی ممکن است در نهایت منجر به شکست درمان شود (۲۰، ۲۱).

کلسیم هیدروکسید به یون های کلسیم و هیدروکسید تجزیه می شود. این یون های، کلسیم نفوذپذیری مویرگی را کاهش می دهند و در نتیجه جریان سرم کاهش می یابد و سطح پیروفسفات های بازدارنده را که باعث مینرالیزاسیون می شوند، کاهش می دهند. یون های هیدروکسید اسید تولید شده توسط استئوکلاست ها را خنثی می کنند و pH مناسب برای فعالیت آنزیم پیروفسفاتاز را حفظ می کنند که منجر به افزایش سطح پیروفسفاتاز وابسته به کلسیم می شود در نتیجه پیروفسفات مهار کننده کاهش می یابد که باعث مینرالیزاسیون می شود (۲۲).

مقایسه ی سه ماده ی بالا در درمان پالپ کپینگ: نتیجه ی مطالعه ای نشان داد که پالپ هایی که با Biodentine درمان شده بودند، اساساً عاری از التهاب بوده و منجر به تشکیل پل عاجی با کیفیت تر می شود که قابل پیش بینی تر، یکنواخت تر، ضخیم تر، پیوسته تر بوده و بافت پالپ را در مقایسه با Dycal کاملاً سیل می کند (۲۰).

از نظر تداوم پل عاجی ساخته شده، مطالعاتی نشان داده اند که ساختارهای ترمیمی ناشی از هر دو سیمان سیلیکات کلسیم (MTA و Biodentine) به صورت همگن و در اتصال با عاج اولیه دندان بوده اند. در مقابل، بافت ترمیمی ایجاد شده پس از درمان با کلسیم هیدروکسید ساختاری متخلخل داشت. این تخلخل ممکن است در نهایت باعث تسهیل ورود باکتری به پالپ شود و حیات دندان را به خطر بیندازد (۲۰، ۲۱).

کاهنده ی آب عمل می کند (۱۳). با این حال، غلظت دقیق اجزای آن توسط سازنده ارائه نشده است، محققان مختلف همان ترکیب کارخانه را مطالعه کرده و داده ها را ارائه کرده اند. **MTA Torabinejad** در سال ۱۳۶۹ توسط دکتر Torabinejad معرفی شد. این ماده، زیست فعالی است که عمدتاً از کلسیم و سیلیکات تشکیل شده است. ترکیب شیمیایی MTA: MTA اساساً مخلوطی مکانیکی از سه ماده ی پودری است: سیمان پرتلند (۷۵ درصد)، اکسید بیسموت (۲۰ درصد) و گچ (۵ درصد) (۱۴). طبق پنت MTA، این ماده از اکسید کلسیم (۵۰-۷۵ درصد وزنی) و اکسید سیلیکون (۱۵-۲۰ درصد وزنی) تشکیل شده است که باهم ۷۰-۹۵ درصد سیمان را تشکیل می دهند. پس از اختلاط این مواد خام؛ تری کلسیم سیلیکات، دی کلسیم سیلیکات، تری کلسیم آلومینات، تتراکلسیم آلومینوفریت، تولید می شود (۱۵). دو نوع تجاری از MTA وجود دارد: خاکستری و سفید و تفاوت این دو به دلیل وجود آهن در نوع خاکستری است که فاز تتراکلسیم آلومینو فریت را بیشتر می سازد (۱۶).

این مواد حاوی سیلیکات کلسیم دارای ویژگی هایی مشترکی هستند که در تشکیل بلور آپاتیت نقش دارند (۱۵). این ماده گزینه ی انتخابی مناسب در درمان های پالپ کپینگ وایتال، آپکسیفیکیشن و آپکسوژنر، تصحیح خطاهای حین کار و همچنین به عنوان ماده ی پرکننده انتهای ریشه در روش های جراحی اپیکو است. مکانیسم دقیق تشکیل پل عاجی هنگام استفاده از MTA به طور کامل مشخص نیست و برای درک این مکانیسم باید تحقیقات دقیقی انجام شود. با این حال، مشخص شده هنگامی که MTA به عنوان یک عامل پوشاننده ی پالپ استفاده می شود، تغییرات سیتولوژیک و عملکردی را در سلول های پالپ ایجاد می کند که منجر به تشکیل فیرونتین و عاج ترمیمی در سطح پالپ دندان که به شکل مکانیکی اکسپوز شده است، می شود. هنگامی که این ماده بر روی پالپ قرار می گیرد باعث پرولیفراسیون، مهاجرت و تمایز سلول های شبه ادنتوبلاستی می شود که

مطالعات مختلف حیوانی و انسانی، MTA را برتر و جایگزین مناسبی برای کلسیم هیدروکسید به عنوان یک عامل پوشاننده‌ی پالپ فرض کردند (۲۵-۲۳). اما MTA معایب مشخصی از جمله: جایگذاری و روش استفاده دشوار، زمان ستینگ طولانی، احتمال ایجاد تغییر رنگ در دندان‌های ساکن در نواحی زیبایی و هزینه‌ی مواد بالا را دارا می‌باشد. برای غلبه بر این معایب، Biodentine که اخیراً معرفی شده است به عنوان یک عامل پالپ کپینگ مستقیم پیشنهاد گردید.

مخلوط غنی شده با کلسیم (Calcium-enriched)

این ماده همچنین با عنوان NEC شناخته می‌شود و توسط Asgary و همکاران معرفی شد (۲۶، ۲۷). از اکسید کلسیم تشکیل شده است، در حالی که اکسید کلسیم و سیلیس در سیمان پرتلند و اکسید کلسیم، سیلیس و اکسید بیسموت در MTA مواد اصلی هستند. این سیمان هر دو یون کلسیم و فسفر را آزاد می‌کند که منجر به تولید هیدروکسی آپاتیت می‌شود. این ماده از اکسید کلسیم، فسفات کلسیم، کربنات کلسیم، سیلیکات کلسیم، سولفات کلسیم و کلرید کلسیم تشکیل شده است (۷، ۲۶، ۲۷).

تراناکلسیم فسفات: می‌توان از آن برای اهداف

زیست‌پزشکی استفاده کرد زیرا حاوی کامپوزیت پلی لاکتید قابل جذب زیستی است که همراه با فیلرهای پایه‌ای برای کاربردهای زیست‌پزشکی ترکیب شده است. ثابت شده که التهاب و اثر آلرژیک ناشی از مواد اسیدی را کاهش می‌دهد (۵).

کلسیم فسفات: دارای خواصی مانند زیست‌سازگاری

خوب، مقاومت فشاری بالا و تبدیل آن به هیدروکسی آپاتیت در طول زمان است. بدون نکروز بافت سطحی و عدم التهاب پالپ باعث ایجاد پل عاجی می‌شود (۲۸).

HX-BGC: این سرامیک یک گلاس بیواکتیو جدید

است که به شکل پودر موجود بوده و حاوی مواد مقابل: $\text{SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-CaO-Na}_2\text{O-SrO}$ می‌باشد. برای کاهش نفوذپذیری عاج استفاده شد و این فرایند به کمک سیل توبول‌های عاجی انجام می‌شود.

Theracal. این ماده یک رزین غنی شده با سیلیکات کلسیم است که به کمک نور کیور می‌شود و به منظور عایق و محافظ کمپلکس عاجی-پالپی استفاده می‌گردد. این ماده می‌تواند در پالپ کپینگ مستقیم و غیرمستقیم، به عنوان یک بیس و لاینر محافظ در زیر کامپوزیت‌ها، آمالگام‌ها، سمان‌ها و سایر مواد پایه استفاده شود. در مطالعه‌ای این ماده با ProRoot MTA و Dycal مقایسه شد، مشخص گردید که آزادسازی کلسیم بیشتری داشت و حلالیتش به نسبت دو ماده‌ی بیان شده پایین‌تر بوده است (۲۹).

مواد پلیمری نانوساختار همراه با خاصیت

پروتئین رپلنسی دارای خواص ضد پوسیدگی: این مواد پلیمری همراه با پروتئین رپلنت، دارای خواص ضد پوسیدگی جزء دسته‌ی کامپوزیت‌های دندان‌پزشکی هستند. در این پلیمرها، ۲ ماده بیشتر توجه ما را به خود جلب کرد: ۱. ۲- متاکریلواکسی اتیل فسفریل کولین (MPC) و ۲. دی متیل آمینودودسیل متاکریلات (DMAHDM).

ماده‌ی MPC به دلیل توانایی قوی آن در دفع پروتئین‌ها انتخاب شد.

دلیل انتخاب DMAHDM این است که در مقایسه‌ی مونومرهای دیگر، خواص ضد باکتریایی قوی‌تری داشت.

خواص این مواد شامل موارد روبه‌رو می‌باشد:

۱. کامپوزیت‌های پلیمری دندان‌پزشکی دارای خاصیت ضد میکروبی و پروتئین رپلنسی که در ترمیم دندان‌ها کاربرد دارند، ۲. ترمیم‌های ادهیزوی دارای پروتئین رپلنس موجب کاهش قابل توجه اسیدیته بیوفیلم می‌شود، ۳. سمان‌های ارتودنتیک بیواکتیو می‌توانند ضایعات مینای دندان را مهار کنند، ۴. ترکیب پروتئین رپلنت‌ها با نانوذرات نقره به منظور دستیابی به خواص ضد باکتریایی قوی‌تر، ۵. پوشاندن سطح دندان با نانوذرات کلسیم فسفات به منظور دستیابی به رمینرالیزاسیون، ۶. ترمیم‌های درمانی (ترمیم‌های کلاس V) که علاوه بر بازسازی ساختار دندان به منظور سرکوب پاتوژن‌های پرودنتال انجام می‌گیرد، ۷. دوام طولانی مدت تر پلیمرهای دندان‌پزشکی بیواکتیو.

که در طول دهه‌ی گذشته، میزان توجه به مهندسی بافت استخوان جهت پژوهش و تکامل در مواد بیوادهزیو و کاربرد بیومتریال‌ها در سرتاسر جهان افزایش یافته است (۳۱).

از سوی دیگر، درحالی که استفاده از بیوادهیژن را در مقیاس وسیع تعریف می‌کنیم، لازم است تا بیان کنیم خود واژه‌ی بیوادهیژن به طور گسترده‌ای می‌تواند ویژگی کاربرد ادهیژن را از اجزای سنتتیک گرفته تا سطوح طبیعی مانند سلول‌ها را پوشش دهد (۳۱). تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده و کاربرد بیوادهیژن می‌تواند بیانگر اتصال دو سطح به یکدیگر مانند سیستم‌های انتقال دهنده‌ی دارو و کاربردهایی در خصوص جراحی‌ها و درمان‌های دندان پزشکی باشد (۳۳).

در مطالعه‌ی مروری که در سال ۲۰۲۱ به وسیله‌ی Duan و همکاران انجام شد، بیان کردند که مهم‌ترین کاربرد بیوادهزیوها در پزشکی در خصوص ترمیم زخم، بستن پوست، بستن زخم بافت‌های سفت و یا شکنده، جلوگیری از خون‌ریزی، جلوگیری از لیکج هوا متعاقب جراحی و تروما، استفاده در سیستم‌هایی همچون انتقال دارو و نیز ثابت‌سازی لبه‌های زخم نسبت به یکدیگر می‌باشد (۳۴). از کاربردهای آن می‌توان در حوزه درمان‌های دندان پزشکی و جراحی‌های دهان استفاده نمود.

به عنوان مثال سیلانت‌های بافتی مختلفی از جمله Tisseel (Fibrin sealant)، Coseal (PEG sealant) و Bioglue (Albimin and glutaraldehyde) وجود دارند (۳۴). اگرچه این مواد محدودیت‌های خاص خود را دارند. به طور مثال از Tisseel در خون‌ریزی‌های وسیع نمی‌توان استفاده کرد و Coseal و Bioglue به عنوان یک درمان کمکی همراه با بخیه و بستن زخم به طور اولیه استفاده می‌شوند (۳۴). در مطالعه‌ای که به وسیله‌ی Hasani-Sadrabadi و همکاران انجام گرفت (۳۵)، از بیوگلس‌های Photo-crosslinkable با پایه‌ی آلژینات جهت قراردعی سلول‌های بنیادی مزانشیمی استفاده کردند و دریافتند که سیستم‌های ادهزیوی که باعث انتقال و قراردعی سلول‌ها

نسل جدید مواد دارای عملکرد ضد باکتریایی قوی که در پارگراف قبلی مورد ارزیابی قرار گرفت؛ می‌تواند با پاتوژن‌های پوسیدگی‌زا و عوامل ایجادکننده‌ی بیماری‌های پرپودنتال مقابله کنند و واحدهای تشکیل‌دهنده‌ی کلونی بیوفیلم را تا ۴ برابر کاهش دهند، یون‌های فسفات کلسیم را برای رمینرالیزاسیون و استحکام ساختار دندان را فراهم کنند و pH بیوفیلم را از pH پوسیدگی‌زا ۴/۵ به pH ایمن ۶/۵ افزایش دهند. این مواد جدید می‌توانند به دوام طولانی مدت‌تری دست یابند که به طور قابل توجهی فراتر از مواد کنترل تجاری فعلی بود. این نسل جدید از پلیمرهای نانو ساختار بیواکتیو، برای کاربردهای گسترده‌ی درمانی با ماندگاری بیشتر در ترمیم دندان‌ها، امیدوارکننده به نظر رسیدند (۳۰).

خاصیت بیوادهزیو مواد بیومتریال: خاصیت

بیوادهیژن به عنوان اتصال یک پلیمر طبیعی یا سنتتیک به یک ماده و سوبسترای بیولوژیکی تعریف می‌شود (۳۱).

در قرن حاضر، بیومتریال‌های با خاصیت بیوادهزیو به عنوان یک سری مواد با خاصیت جدید و نوآورانه در نظر گرفته می‌شوند که توانایی برقراری ارتباط نزدیک میان بافت‌های زنده را دارا هستند (۳۱). امروزه بیومتریال‌ها، در حال ایجاد انقلاب در بسیاری از جنبه‌های پیشگیری و درمانی در حوزه‌ی مراقبت‌های سلامتی هستند که نقش مهمی را به خصوص در تولید و ایجاد وسایل پزشکی جدید، پروتزها، بازسازی‌های بافتی، سیستم‌های انتقال دارو و تکنیک‌های تشخیصی دارند (۳۱).

مواد بیوادهزیو به طور عمده در ترمیم زخم و هموستاز و نیز به طور اولیه در سایر جنبه‌های بیومدیکال مانند مهندسی بافت و پزشکی بازساختی استفاده می‌شوند (۳۱). عدم یکپارچگی که میان بافت‌ها و بیومتریال‌ها وجود دارد به وسیله‌ی استفاده از ادهزیوهای بافتی در بازسازی بافت‌ها برطرف می‌شود (۳۲).

همچنان که در خصوص کاربرد عملی مواد بیوادهزیو در جنبه‌های مختلفی پزشکی بحث می‌کنیم، لازم به اشاره است

می‌شود، می‌تواند به بازسازی کامل دیفکت استخوانی اطراف ایمپلنت‌های دندانی که با از دست رفتگی همراه هستند منجر شوند.

بیواکتیو گلس‌ها: بیواکتیو گلس‌ها، گروهی از بیوسرامیک‌ها هستند که کاربرد بالینی بسیار وسیعی دارند (۲). ویژگی‌های این مواد از جمله زیست‌سازگاری بالا، داشتن عناصر ضد میکروبی و بیواکتیوی در داخل محیط بدن، آن‌ها را جهت استفاده در شاخه‌های مختلف پزشکی و دندان پزشکی مناسب کرده است (۳۶).

بیواکتیو گلس‌ها با داشتن ویژگی‌های مفید بسیار، مانند توانایی ساپورت ساختار بافت‌های بیولوژیکی، توانایی استفاده از آن‌ها به عنوان داربست‌های مناسب و همچنین دارا بودن خاصیت جلوگیری از رشد باکتری‌ها در شاخه‌های مختلف دندان پزشکی بسیار مورد استفاده می‌باشند (۳۷).

بیواکتیو گلس‌ها می‌توانند در محصولات متنوعی از دندان پزشکی به خصوص خمیردندان‌ها مورد استفاده قرار بگیرند (۳۸، ۳۹). مشاهده شده است که استفاده از بیواکتیو گلس‌ها در فرمولاسیون خمیرهای دندان، به دلیل توانایی آن‌ها در آزادسازی عوامل ضد میکروبی، می‌تواند باعث تحریک ریمینرالیزاسیون بافت دندان و کاهش حساسیت بشود (۴۰).

در حوزه‌ی پرودانتیکس، مطالعات بر روی سگ‌ها نشان داده است که ذرات بیواکتیو گلس توانایی درمان دیفکت‌های پرودنتال را بوسیله‌ی افزایش مینرالیزاسیون استخوان دارند (۴۱). یکی از بیواکتیو گلس‌هایی که بر روی دیفکت‌های استخوانی اثر می‌گذارد، پروگلس نام دارد، که فرمولاسیونی شبیه به بیوگلس 45S5 دارد و به طور عمده در مواد پیوند استخوان که جهت بازسازی دیفکت‌های استخوانی استفاده می‌شود، وجود دارد (۴۲، ۴۳).

بیوگلس‌ها در درمان‌های ریشه نیز کاربرد دارند (۴۴، ۴۵). در بیماری‌های پالپی، درمان‌های مختلفی مانند پالپوتومی، پالپکتومی و پالپ کپینگ‌ها وجود دارند و موادی که جهت این درمان‌ها استفاده می‌شوند، نقشی بسیار اثرگذاری را در

پروگنوز و موفقیت درمان برعهده دارند (۴۶). در مطالعه‌ای که بر روی موش‌ها انجام گرفت، یک بیواکتیو گلس جدید، به عنوان ماده‌ی پالپ کپینگ مورد استفاده قرار گرفت. سپس نتیجه نشان داد که بیواکتیو گلس توانسته است تشکیل پل‌های عاجی سنگینی را توسط واکنش‌های التهابی همانند MTA تحریک کند (۴۷). همچنین گوتا پرکا در ترکیب با بیوگلس 45S5 (بیو-گوتا) می‌تواند به عنوان یک جایگزین گوتا پرکاهای معمول در درمان‌های ریشه استفاده شود. بیوگوتا می‌تواند به دیواره‌های عاجی بدون نیاز به هیچ گونه سیلری متصل شده و نیز یک متریال زیست‌سازگارپذیر می‌باشد (۴۸، ۴۹).

کاربرد بیومتریال‌ها در جراحی‌های فک و صورت، در مقایسه با سایر ترکیبات کلسیم فسفات مانند هیدروکسی آپاتیت و تری کلسیم فسفات، تشکیل استخوان را چه از لحاظ میزان و چه از لحاظ کیفیت افزایش می‌دهد (۵۰). بیواکتیو گلس‌ها در سال ۲۰۰۵ به وسیله‌ی سازمان غذا و دارو آمریکا به عنوان یک ماده‌ی مؤثر جهت تحریک استخوان‌سازی تأیید شدند (۵۱). بیوگلس‌ها به عنوان ماده‌ی پیوند استخوان سنتتیک تحت نام‌های تجاری Novabone در ارتوپدی و Perioglass در جراحی‌های فک و صورت مورد استفاده قرار می‌گیرند (۵۲، ۵۳). در مطالعات آزمایشگاهی همچنین بیان شده است که بیواکتیو گلس‌ها می‌توانند به وسیله‌ی تحریک استخوان‌سازی، باعث رژنراسیون استخوان بشوند (۵۴).

برخلاف استفاده‌ی وسیع از بیواکتیو گلس‌ها در دندان پزشکی، چالش‌هایی جهت استفاده از آن‌ها وجود دارد. به طور مثال، باقی ماندن دیفکت‌های استخوانی در جراحی‌های ارتوپدی و دندان پزشکی یک چالش اصلی می‌باشد. محدودیت مکانیکی داربست‌های بیوگلس موجود، همراه با چالش‌ها و استراتژی‌های مرتبط جهت بهبود آنان، به مطالعات بیشتری نیازمند است (۳۶). همچنین استفاده از بیواکتیو گلس‌ها در مجاورت با بافت نرم، نیازمند اصلاح عوامل بیومکانیکی جهت مناسب‌سازی بافت‌های کلاژنی

ظریف و آسیب پذیر می باشد (۵۵).

نتیجه گیری

با توجه به پیشرفت روزافزون علم در زمینه مواد و تجهیزات دندان پزشکی، آشنایی با مواد جدید و خواص آنها به ما کمک می کند تا به درمان های بهتری دست پیدا کنیم. نوآوری، کشف و اختراع مواد بیواکتیو جدید مسیری روشن و نویدبخش را در دندان پزشکی ایجاد کرده تا بتوان راهکاری برای مشکلات حل نشده در رشته های مختلف دندان پزشکی پیدا کرد. همچنین این مواد در دندان پزشکی محافظه کارانه، نوید رسیدن به کمترین آسیب به دندان و مشابه ترین ساختار به بافت های تخریب شده را به ما می دهند.

محدودیت ها و پیشنهادات مطالعه: با توجه به نتایج

بیان شده، همچنان مطالعات و شواهد بیشتری لازم است تا به طور دقیق تری در خصوص تأثیر و کاربرد مواد بیواکتیو در علم مواد دندان و دندان پزشکی بتوان موارد را بیان نمود. همچنین توصیه می شود تا مطالعاتی به بررسی مواد بیواکتیو در زیرشاخه های مختلف دندان پزشکی، مانند دندان پزشکی اطفال، درمان ریشه، ترمیمی و همچنین تأثیر مواد بیواکتیو در درمان های مختلف از جمله کاهش حساسیت عاجی و غیره به صورت جداگانه پردازند.

References

1. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. Emerging trends. In: Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR, editors. Phillip's science of dental materials. 12th ed. ST. Louis, Missouri: Elsevier Saunders; 2012. p. 519.
2. Bhaskar SN, Beasley JD, Ward JP, Cutright DE. Human pulp capping with isobutyl cyanoacrylate. J Dent Res 1972; 51(1): 58-61.
3. Zhang N, Ma J, Melo MA, Weir MD, Bai Y, Xu HH. Protein-repellent and antibacterial dental composite to inhibit biofilms and caries. Journal of dentistry 2015; 43(2): 225-34.
4. Chow LC. Next generation calcium phosphate-based biomaterials. Dent Mater J 2009; 28(1): 1-10.
5. Dong Q, Chow LC, Wang T, Frukhtbeyn SA, Wang F, Yang M, et al. A new bioactive polylactide-based composite with high mechanical strength. Colloids Surf a Physicochem Eng Asp 2014; 457: 256-62.
6. Chatzistavrou X, Fenno JC, Faulk D, Badylak S, Kasuga T, Boccaccini AR, et al. Fabrication and characterization of bioactive and antibacterial composites for dental applications. Acta Biomater 2014; 10(8): 3723-32.
7. Zarrabi MH, Javidi M, Jafarian AH, Joushan B. Histologic assessment of human pulp response to capping with mineral trioxide aggregate and a novel endodontic cement. J Endod 2010; 36(11): 1778-81.
8. Zhong Y, Liu J, Li X, Yin W, He T, Hu D, et al. Effect of a novel bioactive glass-ceramic on dentinal tubule occlusion: An in vitro study. Aust Dent J 2015; 60(1): 96-103.
9. Rath SN, Brandl A, Hiller D, Hoppe A, Gbureck U, Horch RE, et al. Bioactive copper-doped glass scaffolds can stimulate endothelial cells in co-culture in combination with mesenchymal stem cells. PLoS One 2014; 9(12): e113319.
10. Chen L, Shen H, Suh BI. Bioactive dental restorative materials: A review. Am J Dent 2013; 26(4): 219-27.
11. Fernando D, Attik N, Pradelle-Plasse N, Jackson P, Grosgeat B, Colon P. Bioactive glass for dentin remineralization: A systematic review. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl 2017; 76: 1369-77.
12. Laurent P, Camps J, De Méo M, Déjou J, About I. Induction of specific cell responses to a Ca(3)SiO(5)-based posterior restorative material. Dent Mater 2008; 24(11): 1486-94.
13. Camilleri J, Sorrentino F, Damidot D. Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. Dent Mater 2013; 29(5): 580-93.
14. Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physiochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. J Endod 2005; 31(2): 97-100.
15. Torabinejad M, White DJ. Tooth filling material and use. US Patent Number 5, 769, 638; 1995.
16. Camilleri J. The chemical composition of mineral trioxide aggregate. J Conserv Dent 2008; 11(4): 141-3.

17. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod* 2010; 36(3): 400-13.
18. Schröder U. Effects of calcium hydroxide-containing pulp-capping agents on pulp cell migration, proliferation, and differentiation. *J Dent Res* 1985; 64(Spec No): 541-8.
19. Chandra BS, Krishna VG, editors. Vital pulp therapy, pulpotomy and apexification. In: Chandra BS, editor. *Grossman's endodontic practice*. 12th ed. Gurgaon, India: Wolters Kluwer; 2010. p. 315
20. Addison WN, Azari F, Sørensen ES, Kaartinen MT, McKee MD. Pyrophosphate inhibits mineralization of osteoblast cultures by binding to mineral, up-regulating osteopontin, and inhibiting alkaline phosphatase activity. *J Biol Chem* 2007; 282(21): 15872-83.
21. Jalan AL, Warhadpande MM, Dakshindas DM. A comparison of human dental pulp response to calcium hydroxide and Biodentine as direct pulp-capping agents. *J Conserv Dent* 2017; 20(2): 129-33.
22. Tronstad L. Reaction of the exposed pulp to Dycal treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1974; 38(6): 945-53.
23. Dammaschke T, Stratmann U, Wolff P, Sagheri D, Schäfer E. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate: An immunohistologic comparison with calcium hydroxide in rodents. *J Endod* 2010; 36(5): 814-9.
24. Aeinehchi M, Eslami B, Ghanbariha M, Saffar AS. Mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide as pulp-capping agents in human teeth: A preliminary report. *Int Endod J* 2003; 36(3): 225-31.
25. Accorinte Mde L, Holland R, Reis A, Bortoluzzi MC, Murata SS, Dezan E, Jr, et al. Evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide cement as pulp-capping agents in human teeth. *J Endod* 2008; 34(1): 1-6.
26. Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M, Torabzadeh H. Sealing ability of three commercial mineral trioxide aggregates and an experimental root-end filling material. *Iran Endod J* 2006; 1(3): 101-5.
27. Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M, Ghoddusi J, Kheirieh S, Brink F. Comparison of mineral trioxide aggregate's composition with Portland cements and a new endodontic cement. *J Endod* 2009; 35(2): 243-50.
28. Yoshimine Y, Maeda K. Histologic evaluation of tetracalcium phosphate-based cement as a direct pulp-capping agent. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995; 79(3): 351-8.
29. Gandolfi MG, Siboni F, Prati C. Chemical-physical properties of TheraCal, a novel light-curable MTA-like material for pulp capping. *Int Endod J* 2012; 45(6): 571-9.
30. Zhang N, Zhang K, Xie X, Dai Z, Zhao Z, Imazato S, et al. Nanostructured polymeric materials with protein-repellent and anti-caries properties for dental applications. *Nanomaterials (Basel)* 2018; 8(6): 393.
31. Saha N, Saha N, Saha T, Öner ET, Brodnjak UV, Redl H, et al. Polymer based bioadhesive biomaterials for medical application-a perspective of redefining healthcare system management. *Polymers (Basel)* 2020; 12(12): 3015.
32. Rathi S, Saka R, Domb AJ, Khan W. Protein-based bioadhesives and bioglues. *Polym Adv Technol* 2018; 30(2): 217-34.
33. Palacio MLB, Bhushan B. Bioadhesion: A review of concepts and applications. *Philos Trans R Soc A Math Phys Eng Sci* 2012; 370(1967): 2321-47.
34. Duan W, Bian X, Bu Y. Applications of bioadhesives: a mini review. *Front Bioeng Biotechnol* 2021; 9: 716035.
35. Hasani-Sadrabadi MM, Sarrion P, Pouraghaei S, Chau Y, Ansari S, Li S, et al. An engineered cell-laden adhesive hydrogel promotes craniofacial bone tissue regeneration in rats. *Sci Transl Med* 2020; 12(534): eaay6853.
36. Jafari N, Habashi MS, Hashemi A, Shirazi R, Tanideh N, Tamadon A. Application of bioactive glasses in various dental fields. *Biomater Res* 2022; 26(1): 31.
37. Tabatabaei FS, Torres R, Tayebi L. Biomedical materials in dentistry. In: Tayebi L, editor. *Applications of biomedical engineering in dentistry*. 1st ed. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer; 2020. p. 3-20.
38. Tai BJ, Bian Z, Jiang H, Greenspan DC, Zhong J, Clark AE, et al. Antigingivitis effect of a dentifrice containing bioactive glass (NovaMin®) particulate. *J Clin Periodontol* 2006; 33(2): 86-91.
39. Farooq I, Imran Z, Farooq U, Leghari A, Leghari MA. Bioactive glass: a material for the future. *World J Dent* 2012; 3(2): 199-201.
40. Skallevoid HE, Rokaya D, Khurshid Z, Zafar MS. Bioactive glass applications in dentistry. *Int J Mol Sci* 2019; 20(23): 5960.

41. Felipe ME, Andrade PF, Novaes AB Jr, Grisi MF, Souza SL, Taba M Jr, et al. Potential of bioactive glass particles of different size ranges to affect bone formation in interproximal periodontal defects in dogs. *J Periodontol* 2009; 80(5): 808-15.
42. Lovelace TB, Mellonig JT, Meffert RM, Jones AA, Nummikoski PV, Cochran DL. Clinical evaluation of bioactive glass in the treatment of periodontal osseous defects in humans. *J Periodontol* 1998; 69(9): 1027-35.
43. Singh M, Mehta D. Clinical evaluation of Biogran as a graft material in the treatment of periodontal osseous defects. *J Indian Soc Periodontol* 2000; 3: 69-72.
44. Gholami S, Labbaf S, Baharlou Houreh A, Ting HK, Jones JR, Nasr Esfahani MH. Long term effects of bioactive glass particulates on dental pulp stem cells in vitro. *Biomed Glasses* 2017; 3(1): 96-103.
45. Macwan C, Deshpande A. Mineral trioxide aggregate (MTA) in dentistry: A review of literature. *J Oral Res Rev* 2014; 6(2): 71-4.
46. Hilton TJ. Keys to clinical success with pulp capping: a review of the literature. *Oper Dent* 2009; 34(5): 615-25.
47. Long Y, Liu S, Zhu L, Liang Q, Chen X, Dong Y. Evaluation of pulp response to novel bioactive glass pulp capping materials. *J Endod* 2017; 43(10): 1647-50.
48. Belladonna FG, Calasans-Maia MD, Novellino Alves AT, de Brito Resende RF, Souza EM, Silva EJ, et al. Biocompatibility of a self-adhesive gutta-percha-based material in subcutaneous tissue of mice. *J Endod* 2014; 40(11): 1869-73.
49. Mehrvarzfar P, Dahi-Taleghani A, Saghiri MA, Karamifar K, Shababi B, Behnia A. The comparison of MTA, Geristore(R) and amalgam with or without bioglass as a matrix in sealing the furcal perforations (in vitro study). *Saudi Dent J* 2010; 22(3): 119-24.
50. Peltola MJ, Aitasalo KMJ, Suonpää JTK, Yli-Urpo A, Laippala PJ, Forsback AP. Frontal sinus and skull bone defect obliteration with three synthetic bioactive materials. A comparative study. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2003; 66(1): 364-72.
51. Hench LL. Bioceramics. *Am Ceram Soc Bull* 1998; 81(7): 1705-1728.
52. Fetner A, Hartigan M, Low S. Periodontal repair using PerioGlas in nonhuman primates: clinical and histologic observations. *Compendium* 1994; 15(7): 935-8.
53. Elshahat A. Correction of craniofacial skeleton contour defects using bioactive glass particles. *Egypt J Plast Reconstr Surg* 2006; 30(2): 113-9.
54. Hench LL. Chronology of bioactive glass development and clinical applications. *New J Glass Ceramics* 2013; 3(2): 67-73.
55. Kaur G, Kumar V, Bains F, Mauro JC, Pickrell G, Evans I, et al. Mechanical properties of bioactive glasses, ceramics, glass-ceramics and composites: state-of-the-art review and future challenges. *Mater Sci Eng C* 2019; 104: 109895.