

بررسی اثر پوشش‌دهی بور بر پاسخ بافتی اباتمنت‌های ایمپلنتی زیرکونیایی: یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی

آرش شیشه‌ئیان^۱، فریبرز وفایی^۱، حمید اصفهانی^۲، محمد بابایی^۳، سمیرا رضایی‌مقدمیان^۲،
مریم فرهادیان^۴، فاطمه عطایی^۱

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: اباتمنت‌های زیرکونیا به دلیل زیست‌سازگاری مطلوب و خواص زیبایی برتر، به طور گسترده در پروتزهای دندان استفاده می‌شوند. هدف از مطالعه‌ی حاضر، ارزیابی تأثیر پوشش بور بر پاسخ بافتی اباتمنت‌های ایمپلنت زیرکونیا با استفاده از یک مدل حیوانی بود.

روش‌ها: در این مطالعه‌ی تجربی، اباتمنت‌های زیرکونیا با و بدون پوشش بور در خرگوش‌های نیوزیلندی کاشته شدند. پس از یک دوره بهبودی پنج هفته‌ای، بافت‌های اطراف اباتمنت جمع‌آوری و از نظر تعداد سلول‌های التهابی، از جمله لنفوسیت‌ها، ماکروفاژها و نوتروفیل‌ها، از نظر هیستوپاتولوژی ارزیابی شدند. مورفولوژی سطح و ویژگی‌های شیمیایی پوشش بور با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف‌سنجی فوتوالکترتون اشعه ایکس (XPS) ارزیابی شد. داده‌ها با استفاده از روش‌های آماری مناسب تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تعداد لنفوسیت‌ها در گروه کنترل (اباتمنت‌های بدون پوشش) به طور قابل توجهی بیشتر از گروه پوشش داده شده با بور بود ($P < 0.001$). به طور مشابه، تعداد ماکروفاژها در گروه کنترل به طور قابل توجهی بیشتر از گروه پوشش داده شده با بور بود ($P < 0.001$). در مقابل، هیچ تفاوت آماری معنی‌داری بین دو گروه از نظر تعداد نوتروفیل مشاهده نشد ($P = 0.052$). این یافته‌ها نشان‌دهنده‌ی افزایش زیست‌سازگاری و کاهش بالقوه خطر پری ایمپلنتیت در گروه پوشش داده شده با بور است.

نتیجه‌گیری: پوشش بور، با افزایش خواص سطحی و کاهش پاسخ‌های التهابی بافت، پتانسیل قابل توجهی را به عنوان یک رویکرد نوآورانه برای بهبود طراحی پایه‌های ایمپلنت زیرکونیا نشان می‌دهد. مطالعات طولانی‌مدت و بالینی بیشتر برای تأیید و گسترش این یافته‌ها ضروری است.

واژگان کلیدی: اباتمنت زیرکونیا؛ پوشش بور؛ التهاب بافتی؛ زیست‌سازگاری؛ پری ایمپلنتیت

ارجاع: شیشه‌ئیان آرش، وفایی فریبرز، اصفهانی حمید، بابایی محمد، رضایی‌مقدمیان سمیرا، فرهادیان مریم، عطایی فاطمه. بررسی اثر پوشش‌دهی بور بر پاسخ

بافتی اباتمنت‌های ایمپلنتی زیرکونیایی: یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی. مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۴۰۵؛ ۴۴ (۸۶۴): ۸۴۶-۸۵۳.

مقدمه

ایمپلنت‌های دندان، نقش مهمی در دندانپزشکی مدرن دارند؛ با این حال، انتخاب مواد مناسب و افزایش دوام طولانی مدت آنها همچنان چالش‌های علمی و بالینی قابل توجهی است (۱). نیاز روزافزون به بهبود عملکرد و طول عمر این فناوری‌ها وجود دارد (۲). ایمپلنت‌ها و لب‌اتمنت‌های دندان از موادی مانند تیتانیوم، زیرکونیوم، سرامیک و پلیمر ساخته می‌شوند (۳). با وجود خواص مکانیکی و بیولوژیکی

مطلوب، برخی از این مواد با محدودیت‌هایی مانند تجمع میکروبی و التهاب همراه هستند (۴). علاوه بر این، زبری سطح مواد اباتمنت می‌تواند تجمع باکتری‌ها و پاسخ‌های التهابی را در بافت‌های اطراف اباتمنت تشدید کند (۵). در نتیجه، اصلاح سطح از طریق تکنیک‌های پوشش به عنوان یک استراتژی موثر برای افزایش زیست‌سازگاری ظهور کرده است (۶). تیتانیوم به دلیل استحکام مکانیکی بالا و زیست‌سازگاری قابل قبول، همچنان پرکاربردترین ماده اباتمنت است. با این

۱- گروه پروتزهای دندان، دانشکده‌ی دندانپزشکی، مرکز تحقیقات دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

۲- گروه مهندسی مواد، دانشکده مهندسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۳- گروه علوم پایه، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۴- مرکز تحقیقات علوم سلامت، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

نویسنده‌ی مسؤول: فاطمه عطایی؛ گروه پروتزهای دندان، دانشکده‌ی دندانپزشکی، مرکز تحقیقات دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

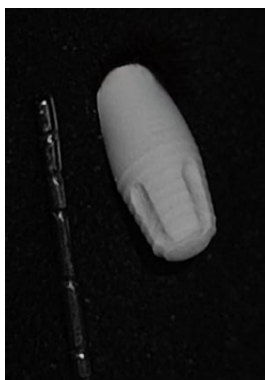
Email: Fatemeataei136@gmail.com

$$n = \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)(z_{1-\frac{\alpha}{2}} + z_{1-\beta})^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$$

با جایگذاری مقادیر در فرمول، حجم نمونه برای هر گروه ۳۰ نمونه محاسبه شد. بنابراین، مجموعاً ۶۰ نمونه (۳۰ نمونه برای گروه پوشش‌دار و ۳۰ نمونه برای گروه کنترل) در این مطالعه استفاده شدند. این تعداد با در نظر گرفتن سطح معناداری ۰/۰۵ و توان آزمون ۸۰ درصد تعیین شد تا از دقت آماری کافی برای شناسایی تفاوت‌های معنی‌دار بین گروه‌ها اطمینان حاصل شود (۱۶).

طراحی و ساخت اباتمنت‌ها

در مطالعه‌ی حاضر، ۶۰ ایمپلنت دندان‌ی یک تکه زیرکونیایی برای ارزیابی پاسخ بافت در قسمت مدیالی استخوان درشت نی چپ ۱۵ خرگوش نیوزیلندی ساخته شد. ایمپلنت‌های دندان‌ی زیرکونیایی یک تکه با استفاده از نرم‌افزار Meshmixer (نسخه ۵/۳؛ Autodesk Inc) به صورت قطعات استوانه‌ای با قطر ۲/۵ میلی‌متر و طول ۵ میلی‌متر، روی یک بلوک زیرکونیایی با شفافیت بالا (زیرکونیای HT) (Xtcera، چین) طراحی شدند. فرایند فرزکاری با استفاده از دستگاه فرز پنج محوره Pixdent Eco (شرکت Bonyan Mechatronics Iranian) انجام شد. متعاقباً، نمونه‌ها در کوره سیتترینگ (AzarKoureh، مدل F2L-1720) در دمای ۱۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد سیتتر شدند. پس از انقباض نهایی ناشی از فرایند سیتترینگ، ایمپلنت‌های دندان‌ی زیرکونیایی یک تکه به صورت قطعات استوانه‌ای با قطر نهایی ۲ میلی‌متر و طول ۴ میلی‌متر به دست آمدند.



شکل ۱. ایمپلنت یک تکه طراحی شده

روش پوشش دهی بور

برای فرایند پوشش‌دهی بور، نمونه‌ها در ظروف چدنی پر شده با پودر بور با خلوص بالا و یک لایه عایق آلومینا (Al2O3) قرار داده شدند. سپس ظروف در کوره (Nabertherm LHT 02/17) در دمای ۱۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت تحت عملیات حرارتی

حال، نگرانی‌هایی در مورد آزاد شدن یون‌های بالقوه سمی و بروز واکنش‌های آلرژیک، کاربرد آن را محدود می‌کند (۷). زیرکونیا، به دلیل رنگ مشابه دندان، مقاومت عالی در برابر خوردگی و ویژگی‌های مکانیکی مطلوب، به عنوان جایگزینی امیدوارکننده برای تیتانیوم معرفی شده است. تیتانیوم به دلیل رنگ فلزی خود، زیبایی‌شناسی نامطلوب‌تری ارائه می‌دهد.

با این وجود، سطوح زیرکونیا برای بهینه‌سازی عملکرد بیولوژیکی خود نیاز به اصلاح سطحی بیشتری دارند (۸). در این راستا، پوشش‌های زیست‌فعال برای بهبود خواص سطحی و ارتقای پاسخ‌های مطلوب بافت توسعه یافته‌اند (۹، ۱۰).

بوریزاسیون یک تکنیک اصلاح سطح است که قادر به تشکیل یک پوشش نانوکریستالی بور است که مقاومت به سایش، مقاومت به خوردگی و زیست‌سازگاری کلی مواد زیستی را افزایش می‌دهد (۱۱). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که بور اثرات سیتوتوکسیک بر استئوبلاست‌ها ندارد و حتی ممکن است تکثیر و فعالیت سلولی را افزایش دهد (۱۳). این ویژگی‌ها، پوشش‌های مبتنی بر بور را به گزینه‌ای امیدوارکننده برای پایه‌های زیرکونیا تبدیل می‌کند. به طور خاص، پوشش‌های نیتريد بور خواص ضد باکتری و ضد التهابی نشان داده‌اند که ممکن است به کاهش التهاب کمک کند (۱۴، ۱۵).

هدف اصلی این پژوهش، بررسی تأثیر پوشش‌دهی بور بر پاسخ بافتی اطراف لباتمنت‌های ایمپلنتی زیرکونیایی است. به این منظور، میزان حضور سلول‌های التهابی شامل نوتروفیل‌ها، ماکروفاژها و لنفوسیت‌ها و همچنین شدت التهاب بافتی در اطراف اباتمنت‌های پوشش‌دهی‌شده با بور با اباتمنت‌های زیرکونیایی بدون پوشش مقایسه می‌شود. نتایج این مطالعه می‌تواند در ارزیابی زیست‌سازگاری پوشش بور و امکان استفاده از آن به عنوان یک راهکار نوین برای بهبود عملکرد اباتمنت‌های ایمپلنتی و کاهش عوارض التهابی اطراف ایمپلنت مؤثر باشد.

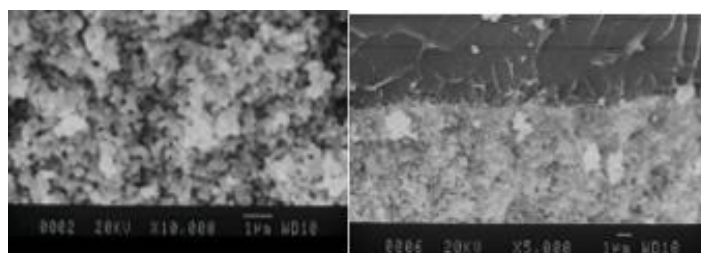
روش‌ها

طراحی مطالعه و محاسبه‌ی حجم نمونه

با توجه به نبود مطالعه‌ی مشابه در زمینه‌ی بررسی اثر پوشش بور بر پاسخ بافتی اباتمنت‌های زیرکونیایی، برای تعیین حجم نمونه از داده‌های مربوط به مقیاس درجه‌بندی التهاب (Inflammation grading scale scores) در پاسخ به اباتمنت‌های زیرکونیایی و تیتانیومی استفاده شد. با فرض اختلاف مورد انتظار ۰/۵ واحدی در میزان التهاب و انحراف معیار ۰/۷، حجم نمونه مورد نیاز برای هر گروه (اباتمنت‌های پوشش‌دار با بور و گروه کنترل بدون پوشش) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:



شکل ۲. فرایند پوشش‌دهی نمونه‌ها با بور



شکل ۳. آنالیزهای SEM، یکنواختی و ترکیب شیمیایی پوشش بور را تأیید کردند.

کاهش تأثیر متغیرهای درون تنی خرگوش‌ها نسبت به هم صورت گرفت. نمونه‌ها بصورت مستقل مورد ارزیابی قرار گرفتند.

پروپیل‌اکسی آنتی‌بیوتیکی پس از جراحی با تجویز عضلانی پنی‌سیلین (۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به مدت پنج روز متوالی برای جلوگیری از عفونت انجام شد.

جمع‌آوری نمونه و ارزیابی بافت

پنج هفته پس از جراحی کاشت، نمونه‌ها به همراه حاشیه‌ی ۵ میلی‌متری از بافت سالم اطراف برداشت شدند. نمونه‌ها در فرمالین ۱۰ درصد فیکس شدند، از طریق سری‌های اتانول درجه‌بندی‌شده آبدیاری شدند و سپس با یک لایه نازک طلا (۱۰ نانومتر) با روش اسپاتر پوشش داده شدند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) با ولتاژ شتاب‌دهنده ۱۵ کیلوولت و بزرگنمایی‌های بین ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ برابر برای ارزیابی مورفولوژی سطح و پاسخ التهابی بافت اطراف اباتمنت (۱۷) به دست آمد.

تعداد سلول‌های التهابی، شامل نوتروفیل‌ها و ماکروفاژها، در سه ناحیه اطراف اباتمنت ایمپلنت بصورت تصادفی انتخاب شده با مساحت کل آنالیز شده ۰/۱۹۲ میلی‌متر مربع، اندازه‌گیری شد. تعداد سلول‌ها نرمال‌سازی و به صورت تعداد سلول‌ها در هر میلی‌متر مربع (سلول در میلی‌متر مربع) بیان شد. شمارش سلول‌ها توسط دو مشاهده‌گر انجام شد و اختلافات توسط مشاهده‌گر سوم مورد بررسی قرار گرفت.

$$\text{سلول در هر میلی‌متر مربع} = \frac{\text{تعداد کل سلولهای شمارش شده}}{0/0192}$$

قرار گرفتند تا یک لایه بور نانوکریستالی روی سطح اباتمنت‌های زیرکونیا تشکیل شود (شکل ۲).

کنترل کیفیت

برای اطمینان از یکنواختی و ثبات پوشش بور، ضخامت و ویژگی‌های ساختاری لایه پوشش داده شده قبل از هر مرحله آزمایش با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) کالیبره و تأیید شدند (شکل ۳).

آماده‌سازی نمونه

هر دو نمونه‌ی پوشش داده شده با بور و بدون پوشش (کنترل) با استفاده از یک پاک‌کننده اولتراسونیک آزمایشگاهی در استون، اتانول ۹۶ درصد و آب مقطر به مدت ۱۵ دقیقه تمیز شدند. سپس نمونه‌ها در دمای ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد خشک شدند. متعاقباً تمام نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در DPBS در دمای ۳۷ درجه‌ی سانتی‌گراد غوطه‌ور شدند.

روش کار

در هر خرگوش، چهار ایمپلنت زیرکونیای یک تکه: دو ایمپلنت پوشش داده شده با بور و دو ایمپلنت کنترل بدون پوشش در قسمت مدیالی استخوان درشت نی چپ قرار داده شد. اباتمنت‌ها ۱ میلی‌متر بالاتر از استخوان قرار داده شدند و بافت نرم مجاور به عقب برگردانده شد.

استفاده از چهار ایمپلنت در هر خرگوش هم در راستای موارد اخلاق پژوهشی جهت کاهش حیوانات مورد آزمایش و هم در راستای

مقیاس ارزیابی کیفی التهاب بافتی

شدت التهاب بر اساس مقیاس درجه بندی زیر طبقه‌بندی شد (۱۷).

جدول ۱. مقیاس ارزیابی کیفی التهاب بافتی

درجه التهاب	تعداد سلول در هر میلی‌متر مربع
غیاب التهاب	عدم وجود ارتشاح التهابی
خفیف	۱ تا ۱۰۰ سلول التهابی در هر میلی‌متر مربع
متوسط	۱۰۰ تا ۲۵۰ سلول التهابی در هر میلی‌متر مربع
شدید	بیش از ۲۵۰ سلول التهابی در هر میلی‌متر مربع

تحلیل آماری

داده‌ها در نرم‌افزار SPSS نسخه‌ی ۲۱ (IBM, version 21, Armonk, NY Corporation) تجزیه و تحلیل شدند. میانگین‌ها، انحراف معیارها و فراوانی شدت التهاب گزارش شد. تفاوت‌های گروهی در شدت التهاب با آزمون Chi-square و تعداد سلول‌های التهابی با آزمون Mann-Whitney بررسی شد. سطح معنی‌داری $P < 0/05$ در نظر گرفته شد.

این مطالعه با کد اخلاق IR.UMSHA.AEC.1403.045 تأیید شده توسط کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی همدان انجام شد.

یافته‌ها

آمار توصیفی برای تعداد سلول‌های التهابی در هر دو گروه ($n = 30$) در هر گروه) در جدول ۲ ارائه شده است. میانگین تعداد لنفوسیت‌ها و ماکروفاژها در گروه A در مقایسه با گروه B به طور قابل توجهی بالاتر بود، در حالی که تفاوت در تعداد نوتروفیل‌ها کمتر بود. دامنه‌ی بین چارکی (IQR) برای نوتروفیل‌ها در هر دو گروه صفر بود، احتمالاً به دلیل خوشه‌بندی داده‌ها در مقادیر پایین چولگی مثبت داده‌ها، استفاده از آزمون‌های غیرپارامتری را بیشتر توجیه کرد.

نتایج آزمون Mann-Whitney در جدول ۳ خلاصه شده است. برای لنفوسیت‌ها و ماکروفاژها، میانگین رتبه‌های گروه A به طور قابل توجهی بالاتر از گروه B بود ($P < 0/001$)، که نشان‌دهنده‌ی کاهش قابل توجه این سلول‌های التهابی در گروه پوشش داده شده با بور است. در مقابل، هیچ تفاوت آماری معنی‌داری برای نوتروفیل‌ها مشاهده نشد ($P = 0/393$)، که ممکن است به نقش محدودتر نوتروفیل‌ها در التهاب مزمن یا تنوع بالای داده‌ها نسبت داده شود.

در لنفوسیت‌ها، اندازه‌ی اثر بزرگ و معنی‌دار است ($g = 0/34$ ، $CI: 0/15 - 0/53$)، در ماکروفاژها اندازه اثر بسیار بزرگ است ($g = 0/41$ ، $CI: 0/31 - 0/51$) و بیشترین تفاوت بین دو گروه دیده می‌شود. در نوتروفیل‌ها اندازه اثر کوچک است و فاصله اطمینان شامل صفر می‌شود ($g = 0/22$ ، $CI: -0/29 - 0/73$). بنابراین تفاوت معناداری دیده نمی‌شود (جدول ۴).

جدول ۲. آمار توصیفی تعداد سلول‌های لنفوسیت، ماکروفاژ و نوتروفیل در هر میلی‌متر مربع بافت اطراف اباتمنت‌های ایمپلنتی زیرکونیایی با و بدون پوشش بور

متغیر	گروه	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
لنفوسیت	A	۳۰	۱۷۸/۷۸	۶۵/۲۱	۵۲/۱۰	۳۱۲/۵۰
	B	۳۰	۳۸/۱۹	۵۶/۲۷	۰/۰۱	۱۵۶/۲۰
ماکروفاژ	A	۳۰	۲۷۲/۵۶	۴۲/۵۸	۱۵۶/۲۰	۳۱۲/۵۰
	B	۳۰	۷۴/۶۶	۵۰/۵۸	۰/۰۱	۱۵۶/۲۰
نوتروفیل	A	۳۰	۶/۹۵	۱۸/۰۱	۰/۰۱	۵۲/۱۰
	B	۳۰	۳/۴۷	۱۳/۲۲	۰/۰۱	۵۲/۱۰

جدول ۳. مقایسه‌ی رتبه‌های میانگین و نتایج آزمون Mann-Whitney برای تعداد سلول‌های لنفوسیت، ماکروفاژ و نوتروفیل در بافت اطراف اباتمنت‌های ایمپلنتی با و بدون پوشش بور. اندازه‌ی اثر بر اساس g Hedges محاسبه شد.

متغیر	گروه	رتبه میانگین	مجموع رتبه‌ها	مقدار U	مقدار Z	P
لنفوسیت‌ها	A	۶۳/۴۳	۱۳۰۹/۰۰	۵۶/۰۰	-۶/۱۴۴	$< 0/001$
	B	۳۷/۱۷	۵۲۱/۰۰			
ماکروفاژها	A	۴۲/۴۵	۱۳۶۲/۵۰	۵۰/۲۵	-۶/۷۱۸	$< 0/001$
	B	۵۸/۱۵	۴۶۷/۵۰			
نوتروفیل‌ها	A	۵۰/۳۱	۹۴۵/۰۰	۴۲۰/۰۰	-۰/۸۵۳	۰/۳۹۳
	B	۵۰/۲۹	۸۸۵/۰۰			

جدول ۴. نتایج اندازه‌ی اثر و فاصله اطمینان ۹۵٪

متغیر	تعداد در گروه A	تعداد در گروه B	اندازه اثر (Hedges g)	CH ۹۵٪
لنفوسیت (در میلی‌متر مربع)	۳۰	۳۰	۲/۳۳۹۳	۱/۷۰۵۲ تا ۳/۰۳۵۰
ماکروفاژ (در میلی‌متر مربع)	۳۰	۳۰	۴/۱۷۸۰	۳/۳۱۱۳ تا ۵/۱۵۴۶
نوتروفیل (در میلی‌متر مربع)	۳۰	۳۰	۰/۲۱۷۰	۰/۲۸۷۸ تا ۰/۷۲۷۵

بحث

این مطالعه با هدف ارزیابی تأثیر پوشش بور بر پاسخ بافتی اباتمنت‌های زیرکونیایی انجام شد. نتایج نشان داد که پوشش بور به طور قابل توجهی تعداد لنفوسیت‌ها و ماکروفاژها را در بافت اطراف لب‌اتمنت کاهش می‌دهد، در حالی که هیچ تأثیر معنی‌داری بر تعداد نوتروفیل‌ها ندارد. این یافته‌ها نشان‌دهنده‌ی پتانسیل پوشش‌های بور برای کاهش التهاب مزمن و افزایش زیست‌سازگاری اباتمنت‌های زیرکونیایی است.

لایه‌ی نانوکریستالی بور، زبری سطح را کاهش می‌دهد و چسبندگی میکروبی و اتصال سلول‌های التهابی را به حداقل می‌رساند (۱۸). خواص ضد باکتری و ضد التهابی بور، در کاهش التهاب نقش دارد (۱۴). عدم تفاوت معنی‌دار در تعداد نوتروفیل‌ها ممکن است به دلیل نقش محدود آنها در التهاب مزمن و رفع التهاب حاد در دوره مشاهده پنج هفته‌ای باشد.

این یافته‌ها با تحقیقات قبلی مطابقت داشت. Özmeriç و همکاران در یک مطالعه‌ی حیوانی روی ایمپلنت‌های تیتانیومی پوشش داده شده با نیتريد بور، کاهش التهاب و افزایش تشکیل استخوان را گزارش کردند (۱۴). مطالعه‌ی حاضر، این یافته‌ها را به اباتمنت‌های زیرکونیایی تعمیم داد و قابلیت کاربرد پوشش‌های بور را برای ماده‌ای با خواص زیبایی‌شناسی و زیست‌سازگاری برتر تأیید کرد.

به طور مشابه، Raval و همکاران، کاهش رشد باکتری‌هایی مانند استرپتوکوک موتانس را با پوشش نیتريد بور نشان دادند که با کاهش پاسخ التهابی مشاهده شده در اینجا به دلیل کاهش بار میکروبی مرتبط بود (۱۵).

Çakal و همکاران، بهبود زبری سطح و مقاومت در برابر خوردگی را پس از پوشش نیتريد بور گزارش کردند که توضیحی مکانیکی برای کاهش التهاب در گروه پوشش داده شده ارائه دادند (۱۸). علاوه بر این، Lahiri و همکاران، افزایش زیست‌سازگاری و تکثیر سلولی را با پوشش بور تأیید کردند که با مشاهدات مطالعه‌ی حاضر در مورد کاهش سلول‌های التهابی مطابقت داشت (۱۹).

Alansy و همکاران گزارش دادند که پوشش‌های نیتريد بور اصلاح‌شده با نانوذرات اکسید روی، فعالیت ضدباکتریایی را در کامپوزیت رزین دندان‌های افزایش می‌دهند که ممکن است کاهش پاسخ التهابی مشاهده شده در گروه پوشش داده شده با بور را بیشتر توضیح دهد (۲۰).

برخلاف مطالعات قبلی که عمدتاً بر ایمپلنت‌های تیتانیومی متمرکز بودند، این مطالعه اولین بررسی اثرات پوشش بور بر روی لب‌اتمنت‌های زیرکونیایی را نشان داد که این مطالعه را از تحقیقات قبلی متمایز می‌کند و به یک شکاف دانش قابل توجه پرداخت.

یافته‌های این پژوهش نشان داد که پوشش‌دهی بور با کاهش معنادار تعداد سلول‌های لنفوسیت و ماکروفاژ در بافت‌های اطراف، نقش موثری در تعدیل پاسخ‌های ایمنی مزمن و کاهش التهاب بافتی ایفا می‌کند. این پدیده را می‌توان به چند مکانیسم کلیدی نسبت داد:

اصلاح توپوگرافی سطحی: پوشش بور با ایجاد لایه‌ای نانوکریستالی، زبری سطح زیرکونیوم را کاهش داده و با ایجاد سطحی صاف‌تر، چسبندگی میکروارگانیسم‌ها و تشکیل بیوفیلم را به حداقل می‌رساند.

تعدیل مسیرهای التهابی: بور با مهار سایتوکاین‌های پیش‌التهابی (نظیر $TNF-\alpha$ و $IL-1\beta$) پاسخ ایمنی میزبان را کنترل کرده و از بروز التهاب‌های مزمن مانند پری‌امپلنتیت جلوگیری می‌کند.

بهبود مهر و موم بافتی: این پوشش محافظتی نانوساختار، تعامل بافت نرم و سخت را تقویت کرده و سد دفاعی محکمی در برابر نفوذ باکتری‌ها ایجاد می‌کند.

عدم مشاهده‌ی اختلاف معنادار در شمارش نوتروفیل‌ها بین دو گروه احتمالاً به بازه زمانی ارزیابی مربوط می‌شود؛ چرا که نوتروفیل‌ها واسطه‌های اصلی فاز حاد التهاب هستند و در مراحل بعدی مطالعه، پاسخ التهابی حاد در هر دو گروه فروکش کرده است.

استفاده از پوشش بور بر روی اباتمنت‌های زیرکونیایی با کاهش سلول‌های التهابی مزمن (لنفوسیت‌ها و ماکروفاژها)، پاسخ بافتی و زیست‌سازگاری اباتمنت‌ها را به طور چشمگیری بهبود می‌بخشد. این روش نوین می‌تواند با پیشگیری از عوارض بلندمدت مانند پری‌امپلنتیت، به عنوان یک استراتژی کارآمد در طراحی و ارتقای عملکرد پروتزهای دندان‌های مورد استفاده قرار گیرد.

هزینه‌ی این فرایند پوشش‌دهی بور با توجه به مزایای آن منطقی و قابل قبول است.

این مطالعه محدودیت‌های خاصی داشت، از جمله حجم نمونه کوچک (۱۵ خرگوش)، دوره مشاهده کوتاه پنج هفته‌ای و پیچیدگی فرایند بورونیزاسیون، تفاوت مدل حیوانی با نتایج انسانی، عدم ارزیابی میکروبی، نبود آزمون‌های مکانیکی، عدم ارزیابی استخوان اطراف

ماند، این پوشش نویدبخش بهبود عملکرد پروتز دندان است. علیرغم داده‌های محدود، پوشش بور برای اباتمنت‌های زیرکونیایی، امیدوارکننده به نظر می‌رسد و نیاز به اعتبارسنجی بالینی بیشتر دارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله منتج از پایان‌نامه‌ی مقطع دکترای تخصصی رشته‌ی پروتزهای دندانی با کد ۱۴۰۳۰۸۰۱۶۵۵۲ می‌باشد که در دانشگاه علوم پزشکی همدان به تصویب رسیده است. بدین‌وسیله از زحمات اساتید محترم بخش پروتز تخصصی دانشگاه علوم پزشکی همدان، دانشکده مهندسی مواد و دانشکده دامپزشکی دانشگاه بوعلی سینا همدان تقدیر و تشکر می‌شود.

ایمپلنت. پروتکل‌های جراحی استاندارد و استفاده از آنالیزهای SEM به کاهش تنوع کمک کردند. با این حال، مطالعات طولانی‌مدت با نمونه‌های انسانی و ارزیابی اندازه اثر برای ارائه شواهد قوی‌تر ضروری است. بهینه‌سازی فرآیند بورونیزاسیون برای کاهش هزینه و پیچیدگی، کاربرد بالینی آن را بیشتر تسهیل می‌کند. از دیگر محدودیت‌های این پژوهش، می‌توان به محدود بودن مطالعات و پژوهش‌های مشابه در این زمینه اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

پوشش بور تعداد لنفوسیت‌ها و ماکروفاژها را در اطراف اباتمنت‌های زیرکونیایی کاهش داد، که نشان‌دهنده‌ی التهاب مزمن کمتر و زیست‌سازگاری بهتر است. در حالی که نوتروفیل بدون تغییر باقی

References

- Jafarian M, Iezadi M. Clinical Outcomes of Conventional and Immediate Placement of Dental Implants in a Group of Iranian War-wounded Patients. *Avicenna J Dent Res* 2012; 4(1): 16-27.
- Vishwakarma V, Kaliaraj GS, Amirtharaj Mosas KK. Multifunctional coatings on implant materials—A systematic review of the current scenario. *Coatings* 2022; 13(1): 69.
- Saini M, Singh Y, Arora P, Arora V, Jain K. Implant biomaterials: A comprehensive review. *World Journal of Clinical Cases: WJCC*. 2015;3(1):52.
- Ribeiro M, Monteiro FJ, Ferraz MP. Infection of orthopedic implants with emphasis on bacterial adhesion process and techniques used in studying bacterial-material interactions. *Biomater* 2012; 2(4): 176-94.
- Kligman S, Ren Z, Chung C-H, Perillo MA, Chang Y-C, Koo H, et al. The impact of dental implant surface modifications on osseointegration and biofilm formation. *J Clin Med* 2021; 10(8): 1641.
- Rupp F, Gittens RA, Scheideler L, Marmur A, Boyan BD, Schwartz Z, et al. A review on the wettability of dental implant surfaces I: theoretical and experimental aspects. *Acta Biomater* 2014; 10(7): 2894-906.
- Sansone V, Pagani D, Melato M. The effects on bone cells of metal ions released from orthopaedic implants. A review. *Clin Cases Miner Bone Metab* 2013; 10(1): 34-40.
- Zakaria O, Madi M, Kasugai S. A novel osteogenesis technique: The expansible guided bone regeneration. *J Tissue Eng* 2012; 3(1): 2041731412441194.
- Trueba Muñoz P, Navarro Pintado C, Rodríguez-Ortiz JA, Beltrán AM, García-García FJ. Fabrication and characterization of superficially modified porous dental implants. *Surface and Coatings Technology* 2021; 408: 126796.
- Dong H, Liu H, Zhou N, Li Q, Yang G, Chen L, et al. Surface modified techniques and emerging functional coating of dental implants. *Coatings* 2020; 10(11): 1012.
- Flink H, Bergdahl M, Tegelberg Å, Rosenblad A, Lagerlöf F. Prevalence of hyposalivation in relation to general health, body mass index and remaining teeth in different age groups of adults. *Community Dent Oral Epidemiol* 2008; 36(6): 523-31.
- Yao Q, Sun J, Fu Y, Tong W, Zhang H. An Evaluation of a Borided Layer Formed on Ti-6Al-4V Alloy by Means of SMAT and Low-Temperature Boriding. *Materials (Basel)* 2016; 9(12): 993.
- Avila G, Misch K, Galindo-Moreno P, Wang H-L. Implant surface treatment using biomimetic agents. *Implant Dent* 2009; 18(1): 17-26.
- Özmeriç N, Çakal GÖ, Gökmenoğlu C, Özmeriç A, Oduncuoğlu BF, Hacaloğlu T, et al. Histomorphometric and biomechanical evaluation of the osseointegration around micro-and nano-level boron-nitride coated titanium dental implants. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg* 2022; 123(6): e694-e700.
- Raval A, S. Yadav N, Narwani S, Somkuwar K, Verma V, Almubarak H, et al. Antibacterial efficacy and surface characteristics of boron nitride coated dental implant: An in-vitro study. *J Funct Biomater* 2023; 14(4): 201.
- Van Brakel R, Meijer GJ, Verhoeven JW, Jansen J, De Putter C, Cune MS. Soft tissue response to zirconia and titanium implant abutments: an in vivo within-subject comparison. *J Clin Periodontol* 2012; 39(10): 995-1001.
- Jamalpouri MR, Shahabi S, Baghestani M, Shokri A, Jamshidi S, Khazaei S. Complementarity of surgical therapy, photobiomodulation, A-PRF and L-PRF for management of medication-related osteonecrosis of the jaw (MRONJ): an animal study. *BMC Oral Health* 2022; 22(1): 241.
- Çakal G, Gökmenoğlu C, Kaftanoğlu B, Özmeriç N. Surface characterization and corrosion resistance of

- boron nitride coated titanium dental implants. *Prot Met Phys Chem Surf* 2019; 55(3): 608-14.
19. Lahiri D, Singh V, Benaduce AP, Seal S, Kos L, Agarwal A. Boron nitride nanotube reinforced hydroxyapatite composite: mechanical and tribological performance and in-vitro biocompatibility to osteoblasts. *J Mech Behav Biomed Mater* 2011; 4(1): 44-56.
20. Alansy AS, Saeed TA, Al-Attab R, Guo Y, Yang Y, Liu B, et al. Boron nitride nanosheets modified with zinc oxide nanoparticles as novel fillers of dental resin composite. *Dent Mater* 2022; 38(10): e266-e74.

Evaluation of the Effect of Boron Coating on the Tissue Response of Zirconia Implant Abutments: An in Vitro Study

Arash Shisheian¹, Fariborz Vafaei¹, Hamid Esfahani², Mohammad Babaei³,
Samira Rezaei Moghaddam², Maryam Farhadian⁴, Fatemeh Ataei¹

Original Article

Abstract

Background: Zirconia abutments are widely used in dental prosthetics due to their favorable biocompatibility and superior esthetic properties. The present study aimed to evaluate the effect of a boron coating on the tissue response of zirconia implant abutments using an animal model.

Methods: In this experimental study, zirconia abutments with and without a boron coating were implanted in New Zealand rabbits. After a five-week healing period, peri-abutment tissues were harvested and histopathologically evaluated for the number of inflammatory cells, including lymphocytes, macrophages, and neutrophils. The surface morphology and chemical characteristics of the boron coating were assessed using scanning electron microscopy (SEM) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). Data were analyzed using appropriate statistical methods.

Findings: The results demonstrated that the number of lymphocytes in the control group (uncoated abutments) were significantly higher than that in the boron-coated group ($P < 0.001$). Similarly, the macrophage count was significantly greater in the control group than in the boron-coated group ($P < 0.001$). In contrast, no statistically significant difference was observed between the two groups in terms of neutrophil count ($P = 0.052$). These findings indicate enhanced biocompatibility and a potential reduction in risk of peri-implantitis in the boron-coated group.

Conclusion: Boron coating, by enhancing surface properties and reducing inflammatory tissue responses, shows considerable potential as an innovative approach for improving the design of zirconia implant abutments. Further long-term and clinical studies are warranted to confirm and expand upon these findings.

Keywords: Zirconia abutment, Boron coating, Tissue inflammation, Biocompatibility, Peri-implantitis

Citation: Shisheian A, Vafaei F, Esfahani H, Babaei M, Rezaei Moghaddam S, Farhadian M, Ataei F. **Evaluation of the Effect of Boron Coating on the Tissue Response of Zirconia Implant Abutments: An in Vitro Study.** J Isfahan Med Sch 2026; 44(864): 846- 53.

1- Department of prosthodontics, School of Dentistry, Dental Research center, Hamedan University of Medical Sciences, Iran

2- Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

3-Department of Basic Science, Faculty of Veterinary Medicine, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

4- Research Center for Health Science, Department of Biostatistics, School of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran

Corresponding Author: Fatemeh Ataei, Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Dental Research Center, Hamedan University of Medical Sciences, Iran; Email: Fatemeataei136@gmail.com