

بررسی شیشه‌ها و شیشه – سرامیک‌های بایوآکتیو در دندانپزشکی

مارال دبیر، واهاک کاسپاری مارقوسیان

دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

mdabir@yahoo.com

چکیده: سالهاست که از ایمپلنت‌ها برای بازسازی یا جانشینی اعضاء از دست رفته استفاده می‌کنند. برای ساخت این ایمپلنت‌ها از مواد مختلف فلزی، سرامیکی، پلیمری و کامپوزیتی استفاده می‌شود سرامیک‌ها خود شامل سرامیک‌های اکسیدی، کربن، شیشه و شیشه- سرامیک‌ها می‌باشد.

همیشه بین ایمپلنت و بافت اطرافش، اعم از سخت یا نرم، فعل و انفعالاتی صورت خواهد گرفت و دانستن این نکته که این واکنش برای بدن مفید یا مضر خواهد بود از اهمیت بسیار بالایی برخوردار بوده و هست. در قدیم برای کاهش ضررهای وارده سعی می‌شد که حتی الامکان از موادی استفاده شود که در بدن واکنش کمتری انجام دهد و از نظر زیستی غیرفعال باشند. اما بقای یک ایمپلنت نیازمند تشکیل یک فصل مشترک پایدار با بافت زنده میزان می‌باشد. با بررسی مواد بایوآکتیو در دندانپزشکی و مشاهده عملکرد مناسب و فواید فراوان آنها، در سالهای اخیر شیشه- سرامیک‌های بایوآکتیو برای ساخت ایمپلنت‌های دندانی مورد توجه خاصی قرار گرفته‌اند.

۱- مقدمه

به طور کلی به هر جسمی که در بدن کاشته شود ایمپلنت گفته می‌شود. هیچ ماده کاشتنی در بافت زنده خشی و بدون واکنش نیست. با ورود ماده جدید به سیستم ماهیچه‌ای- استخوانی، چهار نوع واکنش متفاوت بافتی انجام خواهد گرفت :

۱. مواد قابل جذب^۱ : با استفاده از این مواد در بدن بافت اطراف جایگزین آن می‌گردد.
 ۲. مواد تقریباً خنثی^۲ : با استفاده از این مواد در بدن بافت فیبری با ضخامتی متغیر تشکیل خواهد داد.
 ۳. مواد زیست فعال^۳ : با ادامه تولید بافت قبلی اتصالی در فصل مشترک بوجود خواهد آورد.
 ۴. مواد سمی: موجب مرگ بافت اطراف خود خواهد شد.
- زمانیکه واکنش بین ایمپلنت با محیط اطراف محدود شده، یا واکنش منجر به ایجاد یک بافت ضخیم فیبری در اطراف ایمپلنت گردد، دیگر اتصالی بین بافت و ایمپلنت وجود نخواهد داشت در نتیجه فصل مشترک نمی‌تواند تنفس زیادی را تحمل کند. این در حالی است که ایمپلنت‌ها باید در جای خود ثابت باشند. برای محکم کردن و ثابت نگه داشتن ایمپلنت‌ها از روش‌های مکانیکی مختلفی از قبیل چسباندن^۴، پیچاندن^۵ یا رشد بافت به درون سطح متخخلخ استفاده می‌کنند. ایمپلنت‌های ساخته شده از مواد بایوآکتیو قبل از ایجاد

¹ Resorbable

² Bioinert

³ Bioactive

⁴ Cementing

⁵ Screwing



کپسول فیبری، سریع و سخت محکم خواهد شد و با ایجاد اتصال قوی به استخوان و بافت اطراف، برای محکم شدن به عوامل مکانیکی که در قبل از آنها نام برده شد، احتیاجی ندارند. آپاتیت، یا بهتر بگوئیم کلسیم هیدروکسی آپاتیت ($\text{Ca}_{10}(\text{P}_2\text{O}_5)_6(\text{OH})_2$ یا HA) جزء اصلی تشکیل دهنده بافت‌های سخت، مانند استخوان، عاج و مینای دندان می‌باشد و با وجود هیدروکسی آپاتیت در استخوان، این ماده گزینه قابل توجهی برای استفاده در ایمپلنتهای دندانی پیشنهاد شده بود و در اواسط همین دهه هیدروکسی آپاتیت برای ایمپلنتهای استخوانی و دندانی پیشنهاد شده بود و در هفتم میلادی هیدروکسی آپاتیت متراکم و زینتر شده ساخته شد. متأسفانه هیچکدام از مواد HA و یا شیشه‌های زیست فعال، خواص مکانیکی مناسبی برای کاربردهایی با تنفس بالا ندارند و تنها هنگامی که روی موادی با خواص مکانیکی خوب، مانند تیتانیوم و آلیاژهای آن پوشش داده می‌شوند، می‌توان از آنها استفاده نمود. به همین دلیل تلاش برای ساخت موادی با خواص مکانیکی مناسب آغاز شد و در نهایت منجر به پیدایش شیشه-سرامیکهای بایوакتیو با خواص مکانیکی مطلوب گردید. [۱]

۲- شیشه‌های بایوакتیو

همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌کنید جزء اصلی ساختار شیشه‌های بایوакتیو SiO_2 است یعنی این شیشه‌ها در دسته شیشه‌های سیلیکاتی قرار دارند، هر چند که Na_2O و CaO نیز مقدار کمی نخواهند داشت، که در آینده جای خود را به CaF_2 و P_2O_5 خواهد داد.

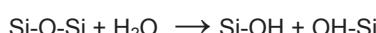
جدول ۱- ترکیب (درصد مولی) چند نمونه از شیشه‌های بایوакتیو معرفی شده توسط Hench و همکارانش [۱]

	45S5	52S4.6	455F
SiO_2	46.1	52.1	46.1
Na_2O	24.4	21.5	24.4
CaO	26.9	23.8	13.4
CaF_2	-	-	13.5
P_2O_5	2.6	2.6	2.6

پس از قرارگیری شیشه بایوакتیو در بدن واکنشهای پیچیده‌ای در نه مرحله به شرح زیر، بر روی سطح شیشه اتفاق خواهد افتاد [۱ و ۷]:

- تعویض Na^+ یا K^+ با H^+ یا H_3O^+ در محلول (دگرگونی اجزاء شیشه)
- از دست دادن سیلیکاتهای قابل حل شیشه به داخل محلول (باندهای Si-O-Si شکسته شده و تبدیل به گروههای $\text{Si}-\text{OH}$ و $\text{Si}(\text{OH})_4$ بر روی سطح شیشه خواهد شد)

۳. تراکم و پلیمریزه شدن مجدد با واکنش زیر بر روی سطح



۴. مهاجرت گروههای Ca^{2+} و PO_4^{3-}

۵. تشکیل فیلمهای غنی از $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5$

(روی لایه غنی از سیلیکا یک فیلم فسفات-کلسیا ژل تشکیل خواهد شد)

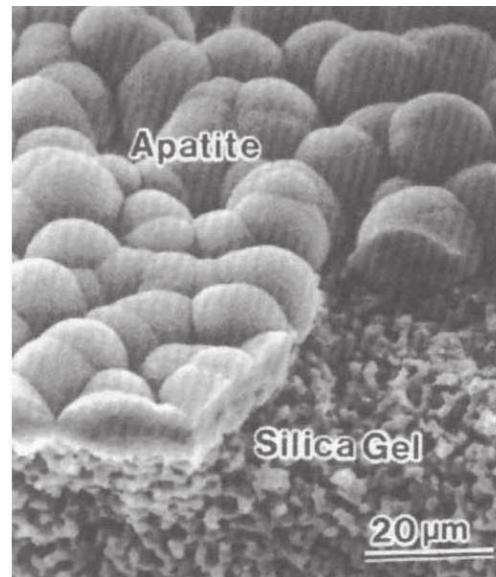
۶. رشد لایه SiO_2

۷. رشد لایه آمورف غنی از $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5$

۸. کریستالیزاسیون لایه آمورف غنی از $\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5$

۹. پیوستن اجزاء آلی





شکل ۱- شکل گیری یک لایه هیدروکسید آپاتیت بر روی سیلیکا ژل [۸]

۳- شیشه- سرامیکهای بایوакتیو

شیشه- سرامیکها پلی کریستالهای ریزدانه ای هستند که با عملیات حرارتی یک شیشه با ترکیب مطلوب و در نتیجه کریستالیزاسیون کنترل شده شکل می گیرند. همانطور که می دانیم تمامی شیشه ها قابلیت تولید شیشه- سرامیک را ندارند، بعضی شیشه ها بسیار پایدار بوده و به سختی تبدیل به کریستال می شوند در حالیکه بعضی دیگر به طور غیر قابل کنترلی که منجر به ایجاد ریز ساختار نامطلوب خواهد شد آماده کریستاله شدن هستند. ترکیب شیشه های اولیه برای تولید شیشه- سرامیک های قابل قبول، بسیار مهم است. برای تولید شیشه- سرامیکهای بایوакتیو نیاز به تولید یک فاز آپاتیت داریم، در نتیجه در تمامی شیشه- سرامیکهای بایوакتیو مورد بحث، فاز کریستالین هیدروکسی آپاتیت وجود دارد و برای ایجاد این فاز اکثر شیشه- سرامیکهای بایوакتیو بر پایه سیلیکوفسفاتها بنا شده اند. ترکیب چند نمونه از شیشه- سرامیک های بایوакتیو در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲- ترکیب چند نمونه از سرامیکهای بایوакتیو مورد استفاده در پزشکی [۸]

Ref.	1	2	3	4	5	6	7-9	10, 11
			Glass-Ceramic	Glass-Ceramic	Glass-Ceramic	Glass-Ceramic	Sintered Ceramic	Sintered HA* β-TCP*
Bioglass® 45S5		S53P4	Ceravital®	Cerabone® A-W	Ilmaplant® L1	Bioverit®	>99.2%	>99.7%
Composition (wt%)								
Na ₂ O	24.5	22.6	5-10	0	4.6	3-8		
K ₂ O	0		0.5-3.0	0	0.2	3-8		
MgO	0		2.5-5.0	4.6	2.8	2-21		
CaO	24.5	21.8	30-35	44.7	31.9	10-34		
Al ₂ O ₃	0		0	0	0	8-15		
SiO ₂	45.0	53.9	40-50	34.0	44.3	19-54		
P ₂ O ₅	6.0	1.7	10-50	16.2	11.2	2-10		
CaF ₂	0			0.5	5.0	3-23		
B ₂ O ₃	0							
Phase*	Glass	Glass	Apatite Glass	Apatite β-Wollastonite Glass	Apatite β-Wollastonite Glass	Apatite Phlogopite Glass	HA Whit-lockite	

بیشتر اجزاء موجود در این شیشه- سرامیکها شبیه به اجزاء تشکیل دهنده شیشه های بایوакتیو هستند، اما معمولاً دارای درصد بالاتری از P₂O₅ و درصد کمتری Na₂O می باشند. به عنوان مثال در A/W و

CERVITAL درصد کمتری P_2O_5 مشاهده می‌شود. برای این شیشه- سرامیکها، P_2O_5 به عنوان عامل جوانه‌زا عمل می‌کند و می‌تواند جزء مهمی برای فاز آپاتیت کریستالینی باشد که وابسته به ترکیب شیشه‌های مادر ممکن است هیدروکسی آپاتیت، هیدروکسیل کربنات آپاتیت و یا فلئوروآپاتیت تشکیل شود. تأثیر گذاری P_2O_5 به عنوان یک عامل جوانه‌زا در شیشه‌ها به طور کلی وابسته به قدرت میدان بالای یون P^{5+} است. P_2O_5 جدایش فازی شیشه در شیشه را تشویق می‌کند، بدین صورت که شکل‌گیری یک ریزاساختار ظریف مشکل از دو شیشه با ترکیب متفاوت اتفاق خواهد افتاد، که می‌تواند منجر به جوانه‌زنی بسیار موثر گردد. قابل ذکر است که در شیشه- سرامیکهایی که ترکیشان از حالت نرمال خارج شده است، فاز اصلی کریستالین نخواهد بود. زمانیکه که شیشه- سرامیکها با روش معمولی ذوب و ریخته‌گری شیشه‌های اولیه و سپس کریستالیزاسیون آنها تولید شوند، ضروری است که جوانه‌زنی در حجم انجام گرفته و جوانه‌زنی در سطح محدود شود. معمولاً در جوانه‌زنی در دمای پائین، برای اطمینان از جوانه‌زنی حجمی به هسته‌های درونی کافی احتیاج داریم. [۸]

۳-۱-۳- کاربرد مواد بایواکتیو در دندانپزشکی

۳-۱-۳- ساختمان دندان

به طور کلی هر دندان از دو قسمت تاج^۶ و ریشه^۷ تشکیل شده است. تاج قسمت قابل رویت در دهان و ریشه بخشی از دندان است که داخل استخوان فک قرار دارد. در وسط هر دندان حفره ای وجود دارد که حاوی مغز دندان یا پالپ^۸ است که قسمتی از پالپ در وسط تاج و بقیه آن در ریشه قرار دارد. پالپ دندان حاوی عروق و اعصابی است که از استخوان وارد آن می‌شوند.

ساختمان تاج دندان: در هر دندان از خارج به داخل سه لایه وجود دارد: مینا^۹، عاج^{۱۰} و مغز. آن قسمت از تاج دندان که در دهان قابل مشاهده و لمس است مینا نامیده می‌شود. سایر قسمتهای تاج در زیر مینا قرار دارد. یکی از خصوصیات مینا سختی آن است به طوریکه استحکام آن از استخوان هم بیشتر است. مینا با داشتن ۹۶٪ مواد معدنی و آهکی سخت ترین بافت بدن محسوب می‌گردد. استحکام عاج بسیار کمتر از میناست و بر خلاف مینا بافتی زنده بوده و در مقابل تحрیکات حساسیت نشان می‌دهد.

ساختمان ریشه دندان : ریشه دندان نیز از سه نوع بافت تشکیل می‌شود که به ترتیب از خارج به داخل عبارتند از: سیمان^{۱۱}، عاج^{۱۲} و مغز^{۱۳}. سیمان لایه نازکی است که در سطح خارجی ریشه دندان قرار دارد. سیمان از نظر استحکام اندکی از عاج سست تر و رنگ آن نیز روشن تر است. در زیر سیمان لایه ای از عاج وجود دارد که ادامه عاج قسمت تاج است و تقریباً همان خصوصیات را دارد.

بر این اساس می‌توان دو قسمت تاج و ریشه را صرف نظر از مغز یا پالپ، به صورت مصنوعی و با استفاده از شیشه- سرامیکها تولید کرد. [۹]

۳-۱-۱-۱- ایمپلنت ها

ایمپلنتها وابسته به جائی که کاشته می‌شوند نوع و شکل خاصی خواهند داشت. برای ساخت ایمپلنتها از مواد مختلفی مثل انواع فلزات پلیمرها و سرامیک‌ها استفاده می‌شود. اولین ماده به کار رفته در دهان سرامیک

⁶ Crown

⁷ Root

⁸ Pulp

⁹ Enamel

¹⁰ Dentin

¹¹ Cement

¹² Dentin

¹³ Pulp



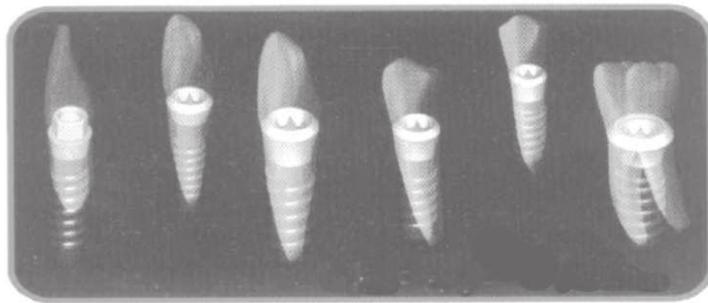


بوده است و تاریخچه استفاده از آن در دندانپزشکی به مصر باستان باز می‌گردد.

موارد استفاده از ایمپلنتهای دندانی را می‌توان به سه دسته مهم تقسیم نمود. دسته اول شامل ایمپلنتهایی می‌شود که برای جانشینی دندانهای از دست رفته به کار می‌روند، این دسته خود به دو زیر مجموعه تقسیم می‌شود: (الف) ایمپلنتهایی که خود با شکل آناتومیک دندان به طور مستقیم جایگزین خواهند شد یا زیرساختار و پایه ای را برای قرار گیری تاج، در زیر لثه مهیا خواهند کرد، (ب) ایمپلنتهایی که

به طور غیر مستقیم و به صورت تیغه‌های استخوانی به نگهداری دندانها کمک می‌کنند.^[۱۰]

در حال حاضر بیشترین کاربرد را دسته اول یعنی ایمپلنهای جانشین دندان دارند (شکل ۲). جانشین کردن هر نوع از دندانهای مصنوعی در دهان مشکلات عده‌ای را به دنبال دارد که تا چند سال پیش راه حلی جز کنار آمدن با آن وجود نداشت، ولی در حال حاضر ایمپلنت توانایی جایگزینی تمامی این موارد را بدون ایجاد مشکلات متعدد ثانویه دارد.



شکل ۲- ایمپلنت متشکل از دو قسمت تاج و پایه

مواد مختلفی مثل: استیل^{۱۴}، آلیاژهای PMMA، HDPE، آلومینا،

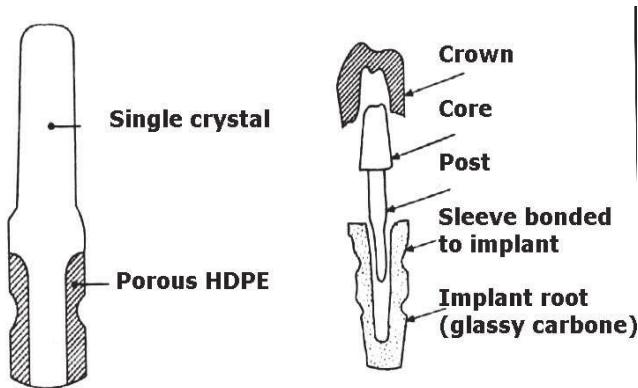
کلسیم آلومینا، بایوگلس، کربن پیرولیتیک و شیشه‌ای، برای ایمپلنتهای متخلخل دندانی آزمایش شده‌اند.

در مورد آلیاژهای مختلف فلزی و امکان ایجاد پایه هیدروکسی آپاتیت بر روی آنها در قبل به طور مختصر توضیحاتی ارائه شد. پلیمرها نیز همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌کنید می‌توانند به صورت متخلخل در ایمپلنتهای کار گرفته شوند.^[۱۱]

کربنها خواص متفاوت و منحصر به فردی دارند که در مواد دیگر یافت نمی‌شود. این مواد کاملاً می‌توانند با هر دو بافت سخت و نرم به صورت خنثی سطح مشترک داشته باشند. پس از معرفی کربن پیرولیتیک ایزوتروپ به علم پژوهشی در سال ۱۹۶۹، این ماده برای ایمپلنتهای عروقی به کار گرفته شد. این ماده به خاطر استحکام بالا و همچنین مدول الاستیک نزدیک به استخوان و همچنین نداشتن خستگی، گزینه خوبی برای استفاده در ایمپلنتهای است. پوشش‌های کربنی به طور گسترده‌ای در دریچه‌های قلب و پیوندهای رگهای خونی، کاربرد دارند. قابلیت جذب پروتئینها در کربن، بدون ایجاد تغییرات، مهمترین فاکتور در آن است. همانطور که گفته شد و در شکل (۳) ملاحظه می‌کنید کربن نیز می‌تواند در ایمپلنتهای دندانی استفاده شود.^[۱۲]

مشکل اساسی تمام مواد بالا اینست که کپسول فیبری تشکیل خواهند داد در نتیجه هیچکدام از این مواد ثبات فیزیکی نخواهند داشت و پس از مدتی لق خواهند شد مگر اینکه به طرق مختلفی در جای خود محکم شوند. بهترین مواد برای استفاده در ایمپلنتهای دندانی، شیشه- سرامیکها هستند که با زیست سازگاری و زیست فعالی بالا به سادگی در جای خود محکم خواهند شد، به همین دلیل در ادامه انواع شیشه- سرامیکهای بایوакتیو مورد مصرف در دندانپزشکی معرفی شده‌اند.

^{۱۴} Stainless steel



شکل ۳- دو نمونه از ایمپلنتها با استفاده از کربن شیشه‌ای و پلیمر متخلخل

اخیراً ماده جدیدی به نام SiC بایومورفیک نیز معرفی شده است که با پوشش بایواکتیو برای استفاده در ایمپلنتها به کار می‌رود. این ماده با توجه به پوشش بایواکتیوی که دارد ایجاد کپسول نکرده و در جای خود ثابت خواهد ماند و به دلیل استحکام بالا، دانسته‌پائین و خواص مطلوب آینده روشی را برای کاربردهای دندانپزشکی و ارتودوکس نشان داده است. [۱۳]

۳-۲-شیشه-سرامیک‌های دندانی

با پیشرفت شیشه-سرامیک‌های زیست سازگار و زیست فعال برای کاربردهای دندانپزشکی، دو دسته ماده معرفی شده اند که در محیط کاربری و خواص مطلوب متفاوت هستند:

۱. مواد مورد استفاده برای اعضاء کاشته شده (ایمپلنت‌ها)
۲. مواد مورد استفاده برای دندانپزشکی ترمیمی

شرط لازم برای ساخت شیشه-سرامیک‌ها در دو دسته فوق کاملاً متفاوت است. برای ایمپلنت‌ها خواص زیست سازگاری و زیست فعالی بیشتر مورد نظر است، یک شیشه-سرامیک بایواکتیو که یک لایه هیدروکسی آپاتیت زیست فعال با قدرت اتصال بالا به بافت‌های نرم و سخت، تولید کند. بسته به کاربرد شیشه-سرامیک‌ها، برای برآورده شدن انتظارات ما، استحکام خمی، چermگی و مدول یانگ خاصی مطلوب است، اگرچه خواص اپتیکی مثل شفافیت، رنگ در این دسته برای ما اهمیتی ندارند. این وضعیت در مورد شیشه-سرامیک‌های ترمیمی متفاوت است. این مواد می‌بایست با محیط اطراف خود یعنی محیط دهان سازگار باشند. در حالیکه بایواکتیویت سطح این نوع مواد اهمیتی ندارد، خواص سطحی مهمتری در این شیشه-سرامیک‌ها مثل تیرگی رنگ^{۱۵}، شفافیت^{۱۶}، چermگی و سایش آنها باید مشابه با دندان طبیعی باشد. برای پایداری شیمیایی این مواد استانداردهای بالاتری نسبت به دندان طبیعی قرار داده شده است در نتیجه از ایجاد تخلخل در این شیشه-سرامیک‌ها به شدت جلوگیری می‌شود. به خاطر وجود این تفاوتها، سیستمهای شیمیایی مختلفی استفاده می‌شوند. برای روشن تر شدن تفاوت‌های این دو گروه، ابتدا در مورد شیشه-سرامیک‌های بایواکتیو دندانی صحبت می‌کنیم.

۳-۳-شیشه-سرامیک‌های بایواکتیو دندانی:

این دسته از مواد پزشکی برای جراحی‌های ارتودوکس سر و گردن به کار می‌رودن، به طور مثال ایمپلنت‌های دندانی و پرکننده‌های ریشه^{۱۷} که وارد بدن انسان می‌شوند، به این گروه تعلق دارند. همانطور که در قسمت اول بحث شد برای پر کردن ریشه دندان می‌توان از ذرات و یا پودرهای بایواکتیو

¹⁵ shade

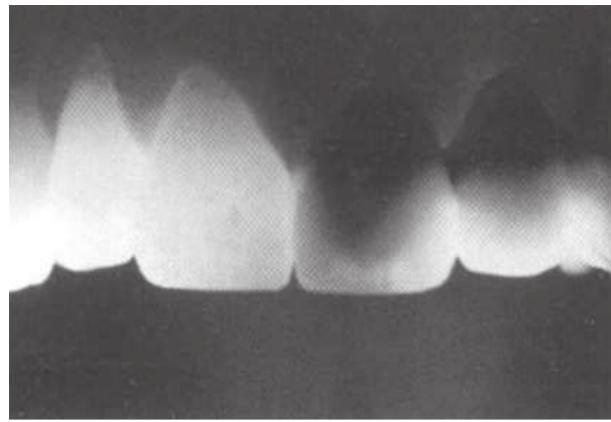
¹⁶ translucency

¹⁷ root fillers





استفاده نمود، ولی برای ایمپلنت‌ها خواص زیست سازگاری و زیست فعالی با قدرت اتصال بالا به بافت‌های نرم و سخت بیشتر مورد نظر است. علی‌رغم اینکه در حال حاضر ساخت ایمپلنت‌ها از پوششهای بایوآکتیو بر روی قطعات تیتانیومی رایج است، اما با توجه به نوبودن مبحث ایمپلنت‌های دندانی و خواص مکانیکی و فیزیک مطلوب شیشه-سرامیک‌ها (مانند شفافیت و رنگ مناسب)، این مواد با توانایی ایجاد همزمان هر دو خاصیت مورد نیاز مواد دندانی، جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴) به همین دلیل ما نیز برای آشنایی بیشتر در این قسمت به معرفی چند نمونه از شیشه-سرامیک‌های بایوآکتیو با توجه به فازهای رسوبی ناشی از ترکیب اولیه پرداخته ایم.



شکل ۴- مقایسه‌ای از شفافیت ایمپلنت‌های فلزی و شیشه-سرامیکی

۱-۳-۳ - $P_2O_5-Na_2O-CaO-SiO_2$ (آپاتیت)

اواخر دهه ۱۹۶۰ نقطه شروع رشد شیشه-سرامیک‌های آپاتیتی در این سیستم، محصول موفقیت آمیز اولین شیشه بایوآکتیو برای جانشینی استخوان در بدن انسان بود. اما Hench از نظر بایوآکتیویته یعنی شکل گیری سریع و اتصال مستقیم، بدون وجود بافت مرتبط کننده، بین بایومتریال و استخوان زنده از شیشه ای در سیستم بایوگلس نتایج بهتری نسبت به شیشه-سرامیک ساخته شده از همان ترکیب گرفت.

۲-۳-۳ - $F-P_2O_5-CaO-MgO-SiO_2$ (آپاتیت، ولاستونیت)

این سیستم شیشه-سرامیک از ابتدا با هدف ساخت بایومتریالهای جایگزین استخوان انتخاب شد. دستیابی به مقدار زیاد آپاتیت در شیشه-سرامیک و تأمین منبع Ca^{2+} برای اطمینان از رهایش یون در ایمپلنت اهمیت ویژه‌ای داشت در نتیجه CaO و P_2O_5 به ترکیب شیشه-سرامیک افزوده شدند.

پژوهشگران کامپوزیتی شبیه به استخوان طبیعی بدن را با استفاده از فرآیندهای کریستالیزاسیون شیشه تهیه کرده‌اند. آنها β -ولاستونیت ($CaO \cdot SiO_2$) را که از یک ساختار زنجیره‌ای سیلیکاتی تشکیل شده است، به عنوان فاز تقویت کننده انتخاب نمودند. در سال ۱۹۹۳ با کنترل کریستالیزاسیون سطحی پودر شیشه، شیشه-سرامیک، آپاتیت-ولاستونیت (CERABONE یا A/W) ساخته شد. مقدار کمی CaF_2 به ترکیب شیشه مادر افزوده شده و پور شیشه‌ای تهیه شده، در دمایی نزدیک به $830^{\circ}C$ متراکم شد. در نتیجه این فرآیند پودر شیشه به طور کامل متراکم شده و سپس اکسی فلئورو آپاتیت ($Ca_{10}(PO_4)_6(O, F)$) و ولاستونیت رسوب کردند و شیشه-سرامیکی یکنواخت و بدون ترک و تخلخل بدست آمد.^[۱۴]

این شیشه-سرامیک با استحکام خمی $215 MPa$ ، استحکام فشاری $1080 MPa$ و چقرمگی شکست خواص مکانیکی بسیار مطلوبی را، به خصوص برای ایمپلنت‌هایی که متحمل بار هستند، نشان داد

۳-۳-۳ - $P_2O_5-CaO-K_2O-Na_2O-MgO-SiO_2$ (آپاتیت)

شیشه-سرامیک‌های مختلفی بر پایه $P_2O_5-CaO-K_2O-Na_2O-MgO-SiO_2$ و فاز کریستالین آپاتیت توسط

کمپانی Leitz, Wetzlar ^{۱۸} تحت نام تجاری سروایتال ^{۱۸} تولید شده است. جوانه زنی شیشه پایه پس از ۲۴ ساعت در ۶۰۰°C انجام شده و کریستالیزاسیون آپاتیت در ۷۵۰°C پس از ۲۴ ساعت رخ می دهد. در سال ۱۹۷۷ این شیشه- سرامیکها برای ایمپلنت‌های ریشه دندان آزمایش شدند. شیشه- سرامیکهای سروایتال با اندازه کریستالی بین ۵۰-۴۰nm ۱۵۰MPa استحکام خمشی و استحکام فشاری ۵۰۰MPa مشخص می‌شوند.^[۱۴]

۴-۳-۳ - $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-P}_2\text{O}_5$ (آپاتیت، میکا)

کریستالهای میکا خواص ماشینکاری قابل پیش بینی ایجاد می کنند. شیشه- سرامیکهای پایه میکایی قابل ماشین کاری اولین بار توسط Beal و برای کاربردهای فنی ساخته شدند. ترکیب شیشه اولیه از سیستم سیلیکات- فلئور، بور و قلیایی ها انتخاب شده بود. برای تولید ماده ای با یوواتکتیو و قابل ماشینکاری هر دو فاز میکا و آپاتیت لازم هستند.

این شیشه- سرامیکها با یووریت ^{۱۹} نامیده شده و بر سه نوع هستند، در نوع اول و دوم شیشه مادر جدایش فازی یافته و در حین عملیات حرارتی کریستالهای دو فاز میکا و آپاتیت جوانه زنی و رشد می کنند. این دو نوع به دلیل وجود فاز میکا قابلیت ماشینکاری زیادی دارند تا حدی که در هنگام جراحی با ابزار فلزی استاندارد به راحتی می توان اصلاحشان کرد. در نوع سوم که از شیشه مادری، معروف به شیشه معکوس فسفاتی ساخته می شود، جدایش فازی نداشته و کریستالهای آپاتیت و دیگر کریستالهای فسفاتی از فرآیندهای دیگری در طی عملیات حرارتی تشکیل می شوند. ویژگیهای مکانیکی شیشه- سرامیکهای با یووریت نوع اول و دوم همچون استحکام خمشی و چرمگی شکست، آنها را برای کاربرد به عنوان جایگزین استخوان مناسب ساخته است. این شیشه- سرامیکها به صورت ایمپلنت در جراحی های سر و گردن، و ارتودنسی به طور موقتی آمیزی به کار گرفته شده اند. ویژگیهای مکانیکی شیشه- سرامیکهای با یووریت نوع سوم به ویژه استحکام مکانیکی اش از شیشه- سرامیکهای میکایی کمتر است ولی ویژگیهای حرارتی آن برای ساخت کامپوزیت با فلزات معین بویژه آلیاژهای Co-Cr-Ni بسیار مناسب است.^[۱۶]

۴-۳-۴ - $\text{SiO}_2\text{-MgO-CaO-TiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ (آپاتیت، تایتانات منیزیم)

اکثر شیشه- سرامیکهای آپاتیتی با عنوان با یوواتکتیو معرفی شده اند. این سیستم از شیشه- سرامیکها با وجود زیست سازگاری و فاز آپاتیت فاقد با یوواتکتیویته، و به اصطلاح خشند ^{۲۰} می باشد. برای تولید این دسته از جوانه زنی و کریستالیزاسیون حجمی استفاده می شود و جدایش فازی در شیشه سرامیک پایه برای جوانه زنی عامل مهمی می باشد.

شیشه- سرامیکهایی با درصد بالایی از CaO و P_2O_5 (بالای ۱۵٪ وزنی CaO و بالای ۹٪ وزنی P_2O_5) در سیستم $\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO-P}_2\text{O}_5$ با فاز کریستالی اصلی فلئوروآپاتیت، آپاتیت و دایپوساید ^{۲۱} (MgO.CaO.2SiO_2) با تولید با یومتریالها برای کاربردهای دندانپزشکی، رشد یافته اند. برای مواد دندانی خواص ویژه اپتیکی مثل عبور نور بالا به همراه مقاومت شیمیایی و استحکام لازم هستند در صورتیکه این مواد تا حدی این انتظارات را برآورده می کنند. در نتیجه این شیشه- سرامیکها برای مدت محدودی توسط Kyocera ژاپن تحت نام تجاری CeraPearl تولید شدند.

این نوع از شیشه سرامیکها بیشتر برای ساخت تاج دندان به کار می روند. پس از اینکه فازهای اصلی کریستالی، آپاتیت و تایتانات منیزیم شکل گرفتند، شیشه- سرامیک با لایه های تا ضخامت ۱mm از خود

^{۱۸} Cervital

^{۱۹} Bioverit

^{۲۰} Bioinert

^{۲۱} Diopside





شفافیت^{۲۲} نشان می‌دهند. این شیشه- سرامیکها استحکام خمشی 205 MPa و چرمه‌گی شکست $46/1\text{ MPa.m}^{0.5}$ را از خود نشان می‌دهند. [۱۴]

۶-۳-۳ - F- P_2O_5 - $\text{K}_2\text{O-Na}_2\text{O-CaO-Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (آپاتیت، لوسایت^{۲۳})

بر پایه پیشرفت‌های شیشه- سرامیک‌های لوسایتی، با گسترش دامنه ترکیب و استفاده از عوامل جوانه زا، یک ماده جدید با پایداری شیمیایی بالا و شفافیت مناسب به نام شیشه- سرامیک آپاتیت- لوسایتی ساختند. آپاتیت به صورت فلئور آپاتیت رسوب می‌کند. در اینجا، در شیشه- سرامیک‌های سفید اپک، آپاتیت‌های سوزنی شکل یا سوزن‌های آپاتیتی مولایتی مشاهده شده‌اند. در مقایسه با سیستم لوسایت، ماده جدید CaO ، F ، P_2O_5 و افروزنهای متعدد دیگری را در بر دارد. [۱۷]

کریستالیزاسیون کنترل شده این پایه شیشه با پودر شیشه‌ای در اندازه دانه $20-40\text{ }\mu\text{m}$ انجام می‌گیرد. جوانه‌زنی و زینترینگ منجر به تولید یک بدنی یکپارچه در دمایی بین $1100^{\circ}-800^{\circ}$ خواهد شد. پس از بررسی جوانه‌زنی و رشد، کریستالیزاسیون همزمان دو فاز مشاهده گشت، لوسایت با جوانه‌زنی سطحی و آپاتیت با جوانه‌زنی در حجم شکل گرفتند. در اینجا مرحله نامحلولی شیشه به سرعت گذشته و آپاتیت سریعاً در مرز فازهای آمورف (قطره- قطره‌ها) رشد خواهد کرد، از سوی دیگر هیچ انتیزوتروبی در رشد مشاهده نمی‌شود. پس از جوانه‌زنی در شیشه- سرامیک‌های آپاتیت- لوسایتی، آپاتیت به صورت انتیزوتروب در جهات ترجیحی به صورت سوزنی رشد می‌کند. در قبیل این کریستالها فقط در شرایط هیدروترمال تولید می‌شوند.

مورفولوژی این ساختار بسیار شبیه به ساختار هیدروکسی آپاتیت طبیعی دندان (enamel) است. [۱۴] از میان شیشه- سرامیک‌هایی که معرفی شدند، شیشه- سرامیک‌های سربون^{۲۴} (آپاتیت- ولاستونیت)، سروایتال (آپاتیت- دوایترایت^{۲۵}) و بایووریت^{۲۶} (میکا- آپاتیت)، برای ساخت ایمپلنت‌های دندانی مورد بررسی قرار گرفته و در حال حاضر بیشترین احتمال را برای تولید به خود اختصاص داده‌اند.

باید توجه داشت شیشه‌های بایوکتیوی نیز وجود دارند که با نام تجاری بایوگلس^{۲۷} برای جراحی‌های سر و گردن، و ساخت قطعات مورد استفاده در گوش میانی به کار می‌روند. در پزشکی دهان این شیشه‌ها به شکل ابزار نگهداری پلهای داخل فک و یا ذرات قابل تزریق به کار می‌روند اما شیشه- سرامیک‌هایی با ترکیب مشابه با این شیشه‌ها قابل استفاده در چنین دامنه وسیعی از کاربردها نیستند.

منابع

- Rees D.Rawlings , Bioactive Glasses and Glass- Ceramics,Clinical Materials,vol. 14, 1993, pp.155-179
- by Allison A.Campbell, Bioceramics for implant coatings , Elsevier 2003
- L.L.Hench, Bioactive Glasses and Glass- Ceramics, Materials Sience Forum, vol.293, 1999, pp. 37-64
- Kaj H. Karlsson , Heimo Ylanen , Hannu Aro ,Porous bone implants , Ceramics International ,vol. 26,2000 , pp. 897-900
- A.U.J.Yap ,Y.S.Pek ,R.A.Kumar ,P.Cheang ,K.A.Khor, Experimental studies on a new bioactive material: HAionomer cements,Biomaterials,vol. 23 , 2002,pp. 955-962
- O.Peitl, E . Dutra , Zanotto, L.L.Hench, highly bioactive $\text{P}_2\text{O}_5 - \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ glass-ceramics, Jornal of Non-Crystalline Solids, vol 292, 2001, pp. 115-126
- P.Gonzalez,J.Serra,S.Liste,S.Chiussi,B.Leon,M.Perez-Amor,J.Martnez-Fernandez,A.R.de Arellano-Lopez,F.M.Varela-Feria , New biomorphic SiC ceramics coated with bioactive glass for biomedical applications, Biomaterials, Vol. 24, 2003, pp. 4827-4832

²² Translucency

²³ Leucite

²⁴ Cerabone

²⁵ Devitrite

²⁶ Bioverit

²⁷ Bioglass

8. T.Kokubo, Novel Biomedical Materials Based on Glasses, Materials Sience Forum, vol. 293, 1999, pp. 65-82
۹. هادیان، داریوش ، نکات و مطالب مهم در دندانپزشکی، سهند، ۱۳۷۳، صفحات ۷-۱۴
10. D.Williams, Dental Implants, Encyclopedia of medical and dental materials, Deragamon Press, 1990, pp.134-139
11. Sojata , V.Bahat, Dental Materials, Biomaterials, Alpha Science, 2002, pp.201-206
12. Sojata , V.Bahat, Ceramics, Biomaterials, Alpha Science, 2002, pp.39-50
13. P.Gonzalez,J.Serra,S.Liste,S.Chiussi,B.Leon,M.Perez-Amor,J.Martnez-Fernandez, A.R.de Arellano-Lopez, F.M.Varela-Feria , New biomorphic SiC ceramics coated with bioactive glass for biomedical applications, Biomaterials, Vol. 24, 2003, pp. 4827-4832
14. W. Holand , G.Beal , Glass- Ceramic technology, The American Ceramic Society, 2002, pp.145-159 and pp. 272-308
15. U.M.Gross, C.Muller-Mai, C.Voigt, Cervital bioactive glass- ceramics, in An Introduction to Bioceramics, ed. L.L.Hench & J.Wilson, World Sientific, Singapore, 1993, pp.105-123
16. W.Holand, W.vogel, Machinable and Phosphate glass- ceramics, in An Introduction to Bioceramics, ed. L.L.Hench & J.Wilson, World Sientific, Singapore, 1993, pp.125-137
17. I.Szabo, B.Nagy , G.Volksch, W.Holand, structre, chemical durability and microhardness of glass- ceramics containing apatite leucite crystals, Jornal of Non-Crystalline Solids, vol 272, 2000, pp. 19 1-199

