

ماشین های میلینگ و کاربرد آنها در دندانپزشکی – یک مرور روایی

دکتر حمیرا انصاری لاری^۱، دکتر الهام مقدس^{۲*}

۱-متخصص پروتزهای دندانی

۲-دستیار تخصصی گروه پروتزهای دندانی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله، تهران، ایران

اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۱/۱۷ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۱/۲۵

وصول مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

Milling machine and its application in dentistry - A Narrative review

Received: Dec 2025

Acceptance: March 2025

Homeira Ansari Lari¹, Elham moghadas²

1-Specialist in Prosthodontics

2-Postgraduate Student, Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Baqiyatallah University of medical sciences, Tehran, Iran

Abstract:

Background and Aim: The design and manufacture of dental restorations with the help of milling machines has developed at a high speed since their introduction and offers more precision and options. The paradigm shift from traditional techniques to CAD/CAM technology has created a revolutionary change in the methods for fabrication of restorations. Modern milling machines dedicated to dental care are kinematic structures that work in 4 or 5 axis and represent one of the key parts of CAD/CAM. 4-axis and 5-axis machines are guided by the feed angle control and the direction of the milling cutter, which depends on the contact surface between the cutting tool and the block being turned, enabling a higher quality of surface integrity. The purpose of this review article is to investigate the types and applications of milling machines in dentistry.

Material and Method: This review study was conducted using the electronic version of articles available in the search engines PubMed and Google Scholar from 2000 to the end of 2024 using the keywords milling machine, CAD/CAM, 5-axis milling machine, 4-axis milling machine. All articles were in English and finally 32 articles were selected and reviewed.

Conclusion: Milling machines are available both for dental offices and general dental laboratories and for industrial dental laboratories. These machines increase the precision and quality of dental restorations. Restorations prepared by milling machines provide better results than conventional methods in terms of mechanical strength in chewing and aesthetics.

Keywords: Manufacturing, Computer-Aided, CAD-CAM, Dental Laboratories, Dental Technology

*Corresponding Author: elhammoghadas@gmail.com

J Res Dent Sci. 2024;22 (2):169-181

خلاصه:

سابقه و هدف: طراحی و ساخت رستوریشن های دندانی به کمک ماشین های میلینگ از زمان معرفی آنها با سرعت بالایی توسعه پیدا کرده است و دقت و گزینه های ساخت بسیاری را ارائه می کند. تغییر رویکرد از تکنیک های سنتی به فناوری CAD/CAM تغییری انقلابی در نحوه ساخت رستوریشن ها ایجاد کرده است. ابزارهای میلینگ امروزی با کنترل مختصاتی که برای درمان دندانپزشکی طراحی اختصاصی شده اند، ساختارهای سینماتیکی هستند که در ۴ یا ۵ محور کار می کنند و یکی از حلقه های کلیدی CAD/CAM را نشان می دهند. ماشین های ۴-محوره و ۵-محوره با کنترل زاویه feed و جهت تراش فرز (به سطح تماس بین ابزار برش و بلوک در حال تراش به آن بستگی دارد، هدایت می شود) کیفیت بالاتر یکپارچگی سطح تراش را امکان پذیر می کنند. هدف از این مقاله مروری، بررسی انواع و کاربردهای ماشین های میلینگ در دندان پزشکی است.

مواد و روش ها: این مطالعه مروری با استفاده از نسخه الکترونیک مقالات موجود در موتور های جستجوگر PubMed, google scholar از سال های ۲۰۰۰ تا پایان ۲۰۲۴ با استفاده از کلمات کلیدی Manufacturing, Computer-Aided, CAD-CAM, Dental Laboratories, Dental Technology انجام شد. همه ی مقالات به زبان انگلیسی بودند و در نهایت ۳۲ مقاله انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند.

نتیجه گیری: ماشین های میلینگ برای مطب ها و لابراتوار های دندانپزشکی موجود هستند. این ماشین ها دقت و کیفیت ساخت رستوریشن های دندانی را افزایش می دهند. رستوریشن های آماده شده توسط ماشین های میلینگ از نظر استحکام مکانیکی در جویدن و زیبایی نتایج بهتری نسبت به روش های سنتی ساخت ارائه می دهند.

کلمات کلیدی: Manufacturing, Computer-Aided, CAD-CAM, Dental Laboratories, Dental Technology

مقدمه:

در اواخر قرن بیستم، پیشرفتی در دندانپزشکی در زمینه معرفی یک فناوری جدید، یعنی سیستم طراحی به کمک رایانه/ساخت به کمک رایانه (CAD/CAM) رخ داد. عصر جدیدی در ساخت رستوریشن ها با ظهور این فناوری آغاز شد.^(۱) سیستم های CAD/CAM از سه بخش اصلی تشکیل شده اند: اول، یک واحد جمع آوری داده، که داده ها را از ناحیه آماده سازی، ساختارهای مجاور و مقابل جمع آوری می کند. (از طریق اسکنر های داخل دهانی یا اسکن مدل های تهیه شده به کمک قالب گیری های سنتی) دوم، نرم افزاری که برای طراحی رستوریشن ها و اپلاینس ها استفاده می شود. سوم، یک دستگاه کامپیوتری که برای ساخت رستوریشن با فرآیند های additive و subtractive انجام می شود.^(۱)

فناوری های CAD/CAM، خطای انسانی را در ساخت انواع رستوریشن ها و اپلاینس ها کاهش داده اند. این سیستم های دیجیتال همیشه در حال بهبود و توسعه هستند.^(۲) مواد ساخته شده توسط CAD/CAM شامل سرامیک های سیلیکات، سرامیک های اکسیدی، رزین های کامپوزیت، PMMA (پلی متیل متاکریلات)، پلی اترترکتون (PEEK) و مواد شبکه سرامیکی نفوذ شده با پلیمر (PICN) و فلز میباشد. تولید رستوریشن ها به کمک CAD/CAM با فرآیند های subtractive و additive انجام می شود.^(۳) در روش های کاهشی (milling)، پروتز از یک blank (به شکل بلوک یا دیسک) با استفاده از دستگاه های فرز چند محوره (milling machine) تراشیده می شوند.

مرتبط به موضوع، از مطالعه کنار گذاشته شدند. در نهایت ۳۲ مقاله انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند.

ماشین های میلینگ با کنترل مختصاتی

فرآیند میلینگ با ماشین های کنترل مختصاتی اختصاصی انجام می شود که تحت کنترل کامپیوتری کار می کنند. این دستگاه ها بلوک پیش ساخته را توسط ابزار، تراش می دهند (milled). ماشین یک ابزار قدرت محور است که مواد را از قطعه کار (بلوک متریال - workpiece) حذف می کند و در نتیجه تراشه ایجاد می کند. قسمت اصلی ماشین، فریم (اسکلت) آن است. محورها برای ایجاد حرکت بین ابزار و قطعه کار اضافه می شوند. ابزارها توسط یک نگهدارنده ابزار روی spindle نگه داشته می شوند تا یک حرکت برش چرخشی ایجاد کنند. نگهدارنده ای که قطعه کار را می بندد روی ماشین ابزار نصب می شود.^(۸)

مطابق با استانداردهای ISO 841 و ISO 2806، محور به عنوان جهت اصلی تعریف می شود که بخشی از یک ماشین می تواند در حالت خطی یا چرخشی در آن جهت حرکت کند. حرکات خطی اصلی ماشین، که موازی با محورهای سیستم مختصات ماشین هستند، X، Y و Z تعیین می شوند. A، B و C به ترتیب نشان دهنده محورهای چرخشی در حول محورهای خطی X، Y و Z هستند. ماشین های میلینگ می توانند ابزار تراش مواد رستوریتیو را با بهره گیری از این محورهای سیستم مختصات فضایی X، Y و Z و محورهای چرخشی A، B، و C حول محورهای خطی مختصات فضایی فوق الذکر قرار دارند، هدایت کنند. جهت محور X بسته به موقعیت فضایی spindle (محور حرکت) اصلی دستگاه میلینگ

ماشین میلینگ یکی از پرکاربردترین ابزار آلات صنعتی است که طیف گسترده ای از درمان های دندانپزشکی بوسیله آن قابل انجام است. که یکی از این کاربردها با استفاده از تراش انواع آلیاژها قابل انجام است^(۴،۵). در دندانپزشکی ماشین های میلینگ مختلف می توانند مواد مختلفی را تراش دهند، که بسته نوع ماده انتخاب شده نوع دستگاه میلینگ می تواند متفاوت باشد^(۵-۷). ماشین های میلینگ جز جدایی ناپذیر و پرکاربرد در دندان پزشکی دیجیتال امروزی هستند. که میتوانند انواع رستوریشن های دندانی و ایمپلنتی را از بین دامنه گسترده ای از مواد دندان پزشکی با دقت بالایی بسازند که به طور رایج به سه دسته ماشین های میلینگ خشک، مرطوب و همزمان خشک و مرطوب تقسیم می شوند^(۷). بر اساس جستجوی ما تاکنون مقاله ای به بررسی و جمع بندی تمام ویژگی های ماشین های میلینگ نپرداخته است. هدف از این مقاله مروری، بررسی انواع و کاربردهای ماشین های میلینگ در دندان پزشکی است.

مواد و روش ها:

این مطالعه مروری با استفاده از نسخه الکترونیک مقالات موجود در موتور های جستجوگر PubMed، google scholar از سال های ۲۰۰۰ تا پایان ۲۰۲۴ با استفاده از کلمات کلیدی Manufacturing, Computer-Aided, CAD-CAM, Dental Laboratories, Dental Technology انجام شد. همه ی مقالات به زبان انگلیسی بودند. حدود ۴۰۰۰ مقاله استخراج شدند. مقالات تکراری و دارای طراحی ضعیف یا غیر

تماس آن با ابزار تراش باید با شکل هندسی، پروتز طراحی شده، مطابقت داشته باشد^(۸-۱۰). همچنین مطالعات نشان دادند که همبستگی سرعت تراش، که به طور مستقیم با فاصله بین محور میلینگ، ابزار میلینگ و منطقه تماس ابزار با بلوک در حال تراش و همچنین نیروهای گشتاور موجود برای دستیابی به نتایج بهینه بسیار مهم، مرتبط است.^(۱۱-۱۳) با ارزیابی پارامترهای میلینگ به نظر می رسد که یکی از کاستی های اصلی ماشین های میلینگ ۳-محوره عدم کنترل نقطه تماس بین ابزار تراش و بلوک در حال تراش است^(۱۰) این نقص که باعث کاهش یکپارچگی فیزیکی سطحی پروتز دندانی می شود در فرآیند تراش فلزات به خوبی مشخص شده است، همچنین محدودیت های حرکتی دستگاه های ۳ محوره شامل ناتوانی در تراشیدن آندرکات ها یا برش مؤثر جزئیات سطوح اکلوزال و مارژین ها که منجر به برخی اختلافات (discrepancy) آناتومیک می شود منجر به این شده امروزه که استفاده از این دستگاه ها کمتر شود.^(۱۰،۱۴،۱۵)

با توجه به حرکات همزمان بر روی محورهای انتقال و چرخش، ماشین های ۴-محوره و ۵-محوره، بر خلاف ماشین های میلینگ ۳-محوره، با کنترل شیب زاویه حرکت و جهت هدایت تراش، کیفیت بالاتری از یکپارچگی سطح تراشیده شده را فراهم می کنند، زیرا این پارامترها برای سطح تماس بین ابزار تراش و یلوک در حال تراش دندانی ضروری هستند^(۱۸-۱۶) در مورد ماشین های میلینگ ۴-محوره، به کمک محور چرخش A، ابزار برش فقط در صفحه YZ می چرخد، در حالی که در ماشین های میلینگ ۵ محوره،

معمولاً افقی است. محور Z موازی با محور دوک اصلی دستگاه میلینگ است. محور Y بر محورهای X و Z عمود است (۸-۱۰). مشخصات ISO 841 همچنین تعیین حرکات خطی ثانویه یا ثالثیه، موازی یا غیر موازی با محورهای اولیه X، Y و Z، و همچنین حرکات چرخشی ثانویه که ممکن است موازی یا مرکب با محورهای چرخش اصلی A، B و C باشند را مشخص می کند^(۸-۱۰) حرکات خطی اولیه در مجاورت محور spindle اصلی ماشین میلینگ انجام می دهند، حرکات ثانویه در یک پلان دورتر، در حالی که حرکات خطی سوم در محیطی ترین صفحه تراش عمل می کنند. ابزارهای ماشین های مختصاتی که برای استفاده در فرآیند CAD-CAM دندان پزشکی اختصاص داده شده اند، ساختارهای سینماتیکی هستند که در ۴ یا ۵ محور عمل می کنند. ماشین های میلینگ ۴-محوره از ۳ حرکت انتقالی در محورهای X، Y و Z و یک حرکت چرخشی در محور A استفاده می کنند.^(۸-۱۰) در ماشین های میلینگ ۵-محوره، یک حرکت چرخشی دوم در امتداد محور B اضافه می شود. عملاً فقط از ۳ محور به طور مداوم استفاده می شود^(۱۰). فرآیند میلینگ رستوریشن های دندانی بر روی ماشین آلات لابراتواری (labside) به دلیل توانایی آن ها در عملکرد در ۴ یا ۵ محور امکان پذیر است. هندسه پیچیده رستوریشن های دندانی و نیاز به میلینگ یکپارچه رستوریشن که دندان پزشک را از عملکرد بهینه آنها در حین جویدن مطمئن سازد به حرکت های دقیق ماشین میلینگ بستگی دارد. برای جلوگیری از ایجاد ناهمواری و ترک در مواد رستوریتیو در طی فرایند میلینگ، سطح

خطاهای موقعیت یابی آنها می تواند منجر به تجمع براده ها و مسدود شدن سیستم خنک کننده شود. از این نظر بهتر است از ماشین های میلینگ با spindle اصلی در وضعیت عمودی استفاده شود^(۱۵و۱۶). بنابراین دستگاه های میلینگ بر اساس تعداد محور به صورت زیر طبقه بندی می شوند:

ماشین میلینگ ۳- محوره برای فناوری

دندانپزشکی

این نوع دستگاه میلینگ در سه جهت فضایی یعنی X, Y و Z حرکت می کند. آنها می توانند از بالا یا پایین بلوک پیش ساخته را تراش دهند، که برای روکش های تک و چندواحدهی رایج کافی است. از مزایای این دستگاه های میلینگ می توان به زمان تراش کوتاه و کنترل ساده با استفاده از سه محور اشاره کرد. به عنوان مثال، InLab (سیستم های دندانپزشکی Sirona، آلمان)، ماشین های میلینگ CNC (vhf، آلمان).^(۴)

ماشین میلینگ ۴- محوره برای فناوری

دندانپزشکی

این نوع دستگاه میلینگ در چهار جهت فضایی یعنی X, Y, Z و محور A حرکت می کند. میلینگ هایی با چهار محور می توانند بلوک های پیش ساخته را فقط در یک جهت تراش دهند. به طور کلی، ماشین های میلینگ ۴-محوره در دسته بندی های خشک، مرطوب و ترکیبی، بلوک های پیش ساخته یا نیمه پیش ساخته، قابلیت تعویض یا عدم تعویض ابزارهای تراش، نحوه جایگزینی دستی یا خودکار، متمایز می شوند، (۴) به عنوان مثال،

چرخش این ابزار در جهت سرعت حرکت، زاویه شیب مناسب، به سمت جلو انجام می شود^(۱۰). کیفیت تراش بهینه ارائه شده توسط ماشین های میلینگ ۵-محوره، نتیجه ترکیب دائمی حرکات چرخشی ابزار تراش در دو محور A و B است و در نتیجه کیفیت یکپارچگی فیزیکی سطح و بلوک در حال تراش را تضمین می کند.^(۱۰)

بسته به فناوری تعبیه شده، spindle روتور و محورهای تراش، یک ماشین میلینگ با کنترل مختصاتی باید بین کیفیت محصول نهایی و بهره وری تعادل ایجاد کند. زمان تراش کوتاه تر را می توان با توان بالاتر spindle اصلی دستگاه، که با افزایش سرعت چرخشی همراه می شود و با مواد دندانی پیش ساخته سازگار است، با توجه به رابطه زیر به دست آورد^(۱۵ و ۱۰):

توان (وات) = گشتاور (Nm) * سرعت چرخش (rad/sec)

برای افزایش بهره وری، سرعت چرخش spindle اصلی ماشین باید تا حد امکان بالا باشد، اما این مورد باید با توجه به تطابق بین سرعت تراش و گشتاور موجود باشد. به این دلایل، افزایش چرخش باعث کاهش گشتاور لازم برای تراش بهینه ی بلوک در حال تراش می شود که نه تنها به پارامترهای تراش بلکه به بلوک در حال تراش نیز بستگی دارد. گشتاور کاهش یافته زمان تراش را طولانی می کند، با این حال، باید به خاطر داشت که سرعت تراش علاوه بر این به نرخ feed (سرعت نسبی بین ابزار تراش و بلوک در حال تراش) بستگی دارد^(۱۵). از طرف دیگر، بهره وری ماشین های میلینگ به موقعیت spindle اصلی ماشین و محورهای تراش نیز بستگی دارد، زیرا

۴. SilaMill N4 (Siladent): یک دستگاه میلینگ ، ۴-محوره با زاویه برش بین ۱۹۰ درجه و ۱۰- درجه با استفاده از نرم افزار عمومی باز یک برنامه میلینگ اختصاصی، *vhf Cam* است. این دستگاه می تواند بلوک های گلس سرامیک ، زیرکونیا، کامپوزیت یا تیتانیوم را با استفاده از ۸ فرز اتوماتیک تراش دهد^(۵).

ماشین میلینگ ۵-محوره برای تکنولوژی دندانپزشکی

در این ماشین میلینگ علاوه بر محورهای متحرک چرخشی که در ماشین های قبلی نیز وجود داشت، spindle میلینگ نیز قابل چرخش است (محور ۵). دستگاه های میلینگ پنج محوره می توانند بلوک های پیش ساخته را در هر جهت تراش دهند و به این دلیل در تراش اباتمنت های ایمپلنتی اختصاصی که ممکن است دارای طراحی های پیچیده باشند نیز مفید هستند. مشابه ماشین های میلینگ ۴-محوره، ماشین های میلینگ ۵-محوره با میلینگ خشک، مرطوب یا ترکیبی، طیف گسترده ای از مواد دندانی، فرز های تراش متعدد قابل تعویض و نحوه جایگزینی آنها که بصورت دستی یا اتوماتیک مشخص می شوند. ماشین های میلینگ ۵-محوره نسبت به نسل های قبلی، علاوه بر افزایش بهره وری، با معرفی سیستم کنترل sensor (حسگر)، تمرکز خود را بر بهبود عملکردهای موجود از جمله: آسپیراسیون براده های بلوک های در حال تراش، تکنیک های یکپارچه فیلتراسیون مرطوب، محافظت در برابر پخش شدن براده ها و حذف آنها توسط روان کننده مورد استفاده به عنوان

۱. Ceramill Mikro 4X (Amann Girrbach): یک ماشین میلینگ خشک ۴-محوره است که مجموعه داده های CAD ارائه شده را در قالب STL باز از طریق برنامه میلینگ CAM Ceramil Match 2 پردازش می کند. این دستگاه مواد دندانی مانند موم های میلینگ، رزین های مصنوعی، اکسیدهای زیرکونیوم، سرامیک های هیبریدی، PEEK و انواع آلیاژهای دندانی مانند کروم کبالت را تراش می دهد^(۵).

۲. CORITEC 140i (imes-icore): یک دستگاه میلینگ ۴-محوره کاملاً یکپارچه برای میلینگ مرطوب بلوک های پیش ساخته است که با ۶ نوع ابزار تراش و سیستم فیلتر ارائه می شود. این دستگاه از برنامه های پردازش CAD مبتنی بر STL و یک CAM open program برای تقریباً تمام سیستم های تولید CAM استفاده می کند. این دستگاه می تواند مواد دندانی مانند اباتمنت های پیش ساخته ایمپلنت، اکسیدهای زیرکونیوم، اکسیدهای آلومینیوم، PMMA، رزین های مصنوعی، کامپوزیت ها، موم ها، گلس سرامیک ها و سرامیک های هیبریدی تراش دهد^(۵).

۳. InLab MC XL (Sirona Dental System): یک ماشین میلینگ مرطوب ۴-محوره با نرم افزار اختصاصی *inLab CAD* و امکان وارد کردن داده های STL می باشد. این شرکت دارای برنامه اختصاصی CAM، *inLab CAM* است، اما با یک نرم افزار عمومی باز نیز ارائه شده است. موادی مانند زیرکونیا، PMMA، کامپوزیت ها، سرامیک های هیبریدی، گلس سرامیک ها، سرامیک های لیتیوم دی سیلیکات، آلیاژهای Co-Cr را تراش می دهد^(۵).

خنک کننده عملکرد هیبریدی خودکار که بین میلینگ خشک و مرطوب تغییر می کند، قرار دادن سنسور سیگنال دهنده آسیب و شکست ابزار تراش، کالیبراسیون خودکار فرز ها در حین تراش بلوک، افزایش تعداد فرز های تراش قابل تعویض و ظرفیت جایگزینی بلوک های مواد دندانی، به صورت دستی یا خودکار طبقه بندی می شوند. (۵۴)

۱. inLab MC X5 (Sirona Dental System)

یک ماشین میلینگ ۵-محوره برای میلینگ خشک یا مرطوب با نرم افزار اختصاصی inLab CAD است که قابلیت وارد کردن داده های STL را دارد. این ماشین میلینگ می تواند مواد دندانی مانند اکسیدهای زیرکونیوم، PMMA، موم ها، کامپوزیت، سرامیک های هیبریدی، گلس سرامیک ها، سرامیک های لیتیوم دی سیلیکات، آلیاژهای Co-Cr، تیتانیوم های پیش ساخته را تراش دهد (۵).

۲. DWX-52DC (DGSHAPE): یک ماشین

میلینگ خشک ۵-محوره است که با میلینگ خشک کار می کند و از برنامه های نرم افزار CAD مبتنی بر STL و یک برنامه CAM باز است. این ماشین میلینگ، اکسیدهای زیرکونیوم، موم ها، PMMA، کامپوزیت ها، PEEK، Co-Cr را با استفاده از ۱۵ نوع فرز اختصاصی در محیط خشک تولید می کند (۵).

۳. CORITEC 650i (imes-icore): یک

ماشین میلینگ خشک و مرطوب ۵-محوره است که تمام مواد دندانی رستوریتیو را پوشش می دهد که این امر با استفاده از برنامه های CAD

باز در فرمت STL و یک برنامه میلینگ CAM باز قابل انطباق با استراتژی های مختلف تراش مواد دندانی می باشد. توانایی تراش آلیاژهای Co-Cr، آلیاژهای غیرطلا، آلیاژهای تیتانیوم، اکسیدهای زیرکونیوم، اکسیدهای آلومینیوم، PMMA، رزین های مصنوعی، کامپوزیت ها، موم ها، گلس سرامیک ها و سرامیک های هیبریدی با استفاده از ۳۲ نوع ابزار فرز را دارا می باشد (۵).

۴. PrograMill PM7 (Ivoclar Vivadent):

یک ماشین اتوماتیک هیبریدی ۵-محوره بین محیط میلینگ خشک و مرطوب با استفاده از نرم افزار باز 3Shape Dental System CAD هر نرم افزار CAD دیگری است که با فایل های STL کار می کند. با یک برنامه CAM معروف به PrograMill CAM V4 کار می کند. این سیستم می تواند بلوک های CAD-CAM را مانند IPS e.max CAD، IPS Empress CAD، ZirCAD، Colado CAD، CoCr4، Colado CAD، Ti2، CAD، Ti5، Colado CAD، SR، Ivo Base CAD، Vivodent CAD، ProArt CAD تراش دهد. این دستگاه مجهز به ۲۰ نوع ابزار تراش است (۵).

۵. cara Mill Mill 3.5 / cara Mill 3.5L(Kulzer):

یک ماشین میلینگ خشک و مرطوب ۵-محوره است که بر اساس برنامه پردازش Dental Designer (3Shape) CAD، برنامه های سازگار با STL متعلق به مراکز میلینگ cara CAD، سیستم های سازگار

WorkNC استفاده می کند. این دستگاه می تواند آلیاژ فولاد، آلیاژهای غیر آهنی، رزین های مصنوعی، اکسیدهای زیرکونیوم، Co-Cr یا آلیاژهای تیتانیوم را با استفاده از ۲۲ نوع ابزار تراش قابل تعویض پردازش کند. همچنین مجهز به حسگر شکستن ابزار میلینگ در حین تولید قطعات پروتز است و امکان تعویض ۵۶ بلوک از مواد دندانی را که به طور خودکار از یک جعبه ذخیره سازی خارجی برداشته می شود را می دهد (۵).

۸. *Zfx™ Inhouse5x wet & dry (Zfx)*: یک ماشین میلینگ مرطوب و خشک ۵-محوره با نرم افزار رابط CAD باز با استفاده از فایل های STL و *HyperDent inkl* است. نرم افزار میلینگ CAM، *Zfx Templates* برای پردازش همزمان مواد با قوام های مختلف (سخت، شکننده یا نرم) استفاده می شود. این دستگاه می تواند مواد پروتزی از نوع دی اکسید زیرکونیوم، PMMA، Co-Cr، موم ها، تیتانیوم، ZLS (سرامیک لیتیوم سیلیکات زیرکونیا)، سرامیک هیبریدی، سرامیک فلدسپات، گلس سرامیک ها، سرامیک لیتیوم دی سیلیکات، با استفاده از ۲۸ ابزار تراش اتوماتیک جایگزین شده را تراش دهد (۵).

توالی میلینگ

سه روال اساسی در توالی میلینگ وجود دارد، یعنی *roughing*، *finishing* و *detail*. مرحله ای است که در آن بلوک های پیش ساخته به سرعت با بزرگترین ابزار تراش موجود حذف می شوند.

با مجموعه داده های STL، PLY، ASC و برنامه *cara CAM Mill 4 & 5* می باشد. قادر به تراش بلوک های موم ها، PMMA، زیرکونیا، سرامیک، سرامیک هیبریدی، آلیاژ Co-Cr یا آلیاژ تیتانیوم با استفاده از حداکثر ۲۰ نوع فرز است (۵).

۶. *Organical® Desktop 8-S (Metaux Precieux Dental)*: یک ماشین میلینگ ۵-محوره در محیط خشک و مرطوب با استفاده از نرم افزار CAD است که به مجموعه داده های STL از طریق USB دسترسی دارد. برنامه CAM باز است و می تواند هر مجموعه داده STL را بدون توجه به برنامه CAD که در آن طراحی شده است، وارد کند. همچنین مجهز به سیستم رابط LAN برای اتصال به دستگاه میلینگ است. این می تواند هر بلوک از مواد دندانی با قطر حداکثر ۱۲۰ میلی متر را بدون توجه به سختی آن و همچنین بلوک های IPS CAD *e.max* را تراش دهد. این دستگاه با حداکثر کارایی خود در بازتولید جزئیات دقیق تر از سایر ابزارهای تراش است زیرا می تواند شیارهایی با قطر ۷۵ میکرومتر ایجاد کند. مجهز به سنسور سیگنال دهی آسیب و شکست های ابزار تراش بوده و امکان تعویض خودکار ۱۸ نوع ابزار فرز را دارد (۵).

۷. *Datron C5 Linear Scales (Datron AG)*: یک ماشین میلینگ ۵-محوره است که از نرم افزارهای رابط (*3Shape*، *Exocad*) و نرم افزار *Dentalwings* و نرم افزار *DATRON CAM*، *Hyperdent*،

است تا از آسیب ناشی از گرما جلوگیری شود. در صورتی که از هیبرید کامپوزیت یا سرامیک اکسید زیرکونیوم با درجه پیش پخت (pre-sinter) بالاتر برای فرآیند میلینگ استفاده شود، wet milling توصیه می شود. درجه بالاتر پره سینتر منجر به کاهش انقباض می شود و اعوجاج پخت (sintering distortion) کمتر میشود. این روش عمدتاً برای تراش و پرداخت مواد سخت (به عنوان مثال، گلس سرامیک و تیتانیوم) استفاده می شود.^(۲۳)

ماشین های میلینگ خشک (dry milling)

ماشین های میلینگ خشک تراش محصول نهایی را بدون استفاده از اسپری خنک کننده آب انجام می دهد. این نوع ماشین در هنگام کار با مواد خاصی مانند موم، PMMA و انواع خاصی از رزین ها روش انتخابی است. این مواد، هنگامی که برای مدت طولانی در شرایط مرطوب قرار می گیرند، ممکن است رطوبت را جذب کنند، خواص فیزیکی آنها را تغییر داده و بر خصوصیات مکانیکی و زیبایی محصول نهایی تأثیر منفی بگذارند. با توجه به عدم نیاز به فرایندهای پس از تراش که در ماشین های میلینگ مرطوب نیاز است، در روش میلینگ خشک زمان کلی ساخت محصول به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. با این حال، عدم وجود مایع خنک کننده می تواند منجر به افزایش تولید گرما شود، بنابراین میلینگ خشک برای موادی که در معرض آسیب حرارتی نیستند، انتخاب مناسب تری است^(۲۰-۲۲). Dry milling عمدتاً برای بلوک های اکسید زیرکونیوم با درجه پایین پره سینتر، peek، PMMA، موم ها، کامپوزیت رزین و کروم کبالت پره سینتر استفاده میشود.^(۲۳)

finishing یک مرحله میانی است که مواد باقی مانده از بلوک را با ابزار کوچکتر حذف می کند. در مرحله نهایی میلینگ با ابزار برش کوچکتر از ابزار finishing انجام می شود^(۱۹).

ماشین های میلینگ مرطوب (wet milling)

ماشین های میلینگ مرطوب از اسپری خنک کننده آب در طی فرآیند ساخت محصول استفاده می کنند که این خنک کننده دو نقش اصلی را ایفا می کند: خنک کردن ابزار تراش و جلوگیری از گرمای بیش از حد و آسیب حرارتی، و شستشوی براده ها مواد تراش داده شده در طول فرآیند تراش، و حفظ یکپارچگی محصول نهایی. هنگام کار با موادی مانند زیرکونیوم و لیتیوم دی سیلیکات، ماشین های میلینگ مرطوب روش ترجیحی است. فرآیند milling کارآمد، سریع و کاملاً خودکار است و زمان مورد نیاز برای تولید رستوریشن ها را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد و در عین حال دقت و کیفیت بالای محصول نهایی را حفظ می کند. کار با این ماشین ها به سبب معرفی نرم افزارهای پیشرفته ای که به کاربران امکان طراحی، ایجاد و تولید رستوریشن ها را فراهم میکند به راحتی قابل انجام است. در این ماشین ها همچنین پارامترهای مختلف طراحی و ساخت کاملاً قابل تنظیم هستند که می توان آنها را متناسب با نیازها و ترجیحات دندان پزشک شخصی سازی کند. علاوه بر این، ماشین های میلینگ مرطوب، محصول نهایی با خشونت سطحی کمتر و خصوصیات مکانیکی و زیبایی بالاتری ایجاد می کند که در نهایت منجر به رضایت مندی بالاتری در بیماران می گردد^(۲۰-۲۲). این روش برای تمام فلزات و مواد گلس سرامیک ضروری

ماشین های میلینگ مرطوب و خشک ترکیبی (combination dry/wet)

ماشین های میلینگ ترکیبی مرطوب و خشک، ترکیبی از قابلیت های ماشین های میلینگ مرطوب و خشک را ارائه می دهند. آنها برای تراش طیف گسترده ای از مواد دندان پزشکی موجود مانند زیرکونیا، سرامیک های لیتیوم دی سیلیکات، و آلیاژهای فلزی تا انواع رزین ها و موم ها طراحی و ساخته شده اند. این ماشین های اختصاصی برای تغییر یکپارچه از میلینگ مرطوب به خشک و یا برعکس، بر اساس مواد مورد استفاده طراحی شده اند و در نتیجه نیازی به ماشین های جداگانه ندارند. این تطبیق پذیری تضمین می کند که همه مواد در شرایطی که به بهترین وجه با خواص فیزیکی آنها مطابقت دارد، پردازش بهینه شوند (۷ و ۲۰-۲۲). در حالی که این مزیت است که می توان مواد مختلفی را با یک دستگاه تراش و پرداخت نمود، اما این دستگاه ها معایبی نیز دارند: اتلاف زمان بسیاری در زمان تغییر از حالت wet به dry وجود دارد، مانند زمان تمیز کردن و خشک کردن دستگاه و سایر مسائل رایج cross contamination که به لابراتوار تحمیل میشود. معایب دیگری که عموماً برای داشتن هر دو عملکرد در یک دستگاه ذکر شده است، قابلیت های پردازش ناکافی و سرمایه گذاری اولیه بالا است. در خیلی از موارد، راندمان تولید با ماشین های اختصاصی که به ترتیب در پراسسینگ DRY یا WET تخصص دارند بالاتر است. (۲۳)

مواد

تولید کنندگان مواد را به شکل بلوک جامد آماده برای فرآیند تراش می سازند. این ماده باید قابلیت تراشیده شدن را داشته باشد بدون اینکه به مواد آسیبی وارد

شود. بسته به نوع ماده، می توان از روش میلینگ خشک یا مرطوب استفاده کرد. برخی از مواد سرامیکی مانند لیتیوم دی سیلیکات، پرسن های فلدسپاتیک و فلزات نیاز به میلینگ مرطوب دارند در حالی که زیرکونیا و تیتانیوم را می توان خشک یا مرطوب تراش داد. به طور کلی، موم و آکريل به صورت خشک تراشیده می شوند. این مواد باید به طور کلی در کمتر از ۲۰ دقیقه با حداقل زمان پردازش پس از تراش برای ساخت ترمیم chairside CAD/CAM، استفاده شوند. علاوه بر این، مواد تراش داده شده بایستی ویژگی های زیبایی را تامین کنند و بتوانند به رنگ دلخواه ساخته شوند. بلوک های سرامیکی [3M ESPE Paradigm MZ 100]، سرامیک های فلدسپاتیک VITABLOCS Mark II (Zahnfabrik، آلمان)، و سرامیک های با استحکام بالا مانند لیتیوم دی سیلیکات (Ivoclar Liechtenstein، Vivadent Schaan) معمولاً به عنوان مواد رستوریتو chairside CAD/CAM استفاده می شوند. مواد مورد استفاده برای ساخت رستوریشن ها با استفاده از سیستم های CAD/CAM لابراتواری شامل سرامیک، آلیاژهای فلزی، کامپوزیت ها، تیتانیوم و PEEK می باشد. (۲۴)

کاربردها

با ظهور مواد بهتر و چند لایه، کاربردهای دندانپزشکی ماشین های میلینگ به شدت در هر زمینه ای از دندانپزشکی گسترش یافته است. رستوریشن های های غیرمستقیم مانند inlay، onlay، روکش های تکی، پروتز های دندانی ثابت و اسپلینت های اکلوزال

را می توان با استفاده از این فناوری ساخت. یکی دیگر از کاربردهای مناسب آن شامل استنت های جراحی، framework ها و اباتمنت ایمپلنت زیرکونیایی و تیتانیوم اختصاصی شده است^(۲۵). اخیراً ماشین های میلینگ کاربردهای خود را در پروتزهای متحرک، پروتزهای فک و صورت و ارتودنسی پیدا کرده است^(۲۶). ترکیب مواد قابل استفاده و انواع رستوریشن که می توانند توسط ماشین های مختلف تولید شوند، متفاوت است^(۱۹ و ۲۷-۲۹). برخی از ماشین های میلینگ می توانند رستوریشن نهایی را با برخی مواد انجام دهند. به عنوان مثال، با سرامیک های سیستم CEREC می توان به استحکام و زیبایی قابل قبولی (حداقل برای برخی از اندیکاسیون های بالینی) بدون پردازش بیشتر دست یافت. روکش ها، inlay ها، onlay ها و veneer ها را می توان در یک جلسه ساخت. سرامیک های دیگر، مانند سرامیک های مبتنی بر آلومینا و زیرکونیا، بسیار قوی هستند اما زیبایی ندارند و برای دستیابی به زیبایی قابل قبول، نیاز به ونیر های سرامیک بعدی با استفاده از روش های سنتی دارند. تراش مواد کاملاً متراکم مبتنی بر زیرکونیا بسیار دشوار است. در نتیجه، بسیاری از سیستم های CAD/CAM با استفاده از فرایند تراش، رستوریشن ها را از این ماده به فرم خام اولیه ی آن (فاز green stage که نسبتاً متخلخل است) شکل می دهند. سپس رستوریشن تحت عملیات حرارتی پخت قرار می گیرد (سینتر می شود تا ماده کاملاً متراکم شود و محصول فوق العاده قوی ایجاد می کند). فرآیند پخت اجازه می دهد تا رنگ و سایه (با استفاده از عملیات دستی) قبل از مرحله پخت نهایی اختصاصی شود و در نتیجه زیبایی رستوریشن بهبود یابد. همچنین این

دستگاه ها به طور خودکار مواد میلینگ مانند زیرکونیا، سرامیک، موم، PMMA و فلز را برای تولید روکش، veneer، onlay، inlay، bridge، پروتز کامل، framework و اباتمنت ایمپلنت تراش می دهند. در دندانپزشکی نوین، اگر دندانپزشک دستگاه CAD/CAM Chairsaide داشته باشد، میتواند درمان کامل بیمار را در یک جلسه انجام دهد. این یک مزیت قابل توجه است، زیرا نیاز به ادامه کار در لابراتوار های دندانپزشکی را بی نیاز می کند، همچنین هزینه های اضافی را حذف می کند و رضایت مندی بیماران فراهم میشود. (۲۶-۲۹) اما اگر فناوری CAD/CAM در لابراتوار دندانپزشکی قرار داشته باشد و توسط تکنسین دندانپزشکی استفاده شود، بیمار نیاز به دو بار مراجعه به دندانپزشک دارد. با استفاده از این فناوری رستوریشن های بسیار دقیقی تولید می شود. بطور کلی مزایای استفاده از ماشین های milling برای دندانپزشکان عبارتند از^(۱۹ و ۲۷-۳۲):

- بیمار زمان کمتری را در مطب می گذراند
- کاهش قابل توجه هزینه ها برای لابراتوارهای دندان پزشکی
- کاهش مصرف مواد
- افزایش بهره وری
- روش ساده تر تولید
- رستوریشن های دقیق تولید شده

نتیجه گیری

همانطور که صنعت دندانپزشکی با تکنولوژی در حال تغییر به تکامل خود ادامه می دهد، این ماشین آلات پیشرفته - چه مرطوب، چه خشک و چه همزمان -

References:

1. Abdullah AO, Muhammed FK, Zheng B, Liu Y. An Overview of Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing (CAD/CAM) in Restorative Dentistry. J. dent. mater. tech. 2018 Jan 1;7(1).
2. Basniak R, Catapan MF. Design of a PCB milling machine. In ABCM Symposium Series in Mechatronics 2012 (Vol. 5, pp. 1339-1348).
3. Van Noort R. The future of dental devices is digital. Dent. Mater.. 2012 Jan 1;28(1):3-12.
4. Turkyilmaz I, Wilkins GN. Milling machines in dentistry: A swiftly evolving technology. J Craniofac Surg. 2021 Oct 1;32(7):2259-60.
5. Iliescu AA, Perlea P, Iliescu MG, Gheorghiu IM. Milling Machines Tools Used in Cad-cam Technology of Dental Prostheses. Rom. J. Oral Rehabil.. 2018 Oct 1;10(4).
6. Sulaiman TA. Materials in digital dentistry—A review. Journal of Esthetic and Restorative Dentistry. 2020 Mar;32(2):171-81.
7. Ho CM, Ding H, Chen X, Tsoi JK, Botelho MG. The effects of dry and wet grinding on the strength of dental zirconia. Ceram. Int.. 2018 Jun 15;44(9):10451-62.
8. Lebon N, Tapie L, Duret F, Attal JP. Understanding dental CAD/CAM for restorations-dental milling machines from a mechanical engineering viewpoint. Part A: chairside milling machines. Int J Comput Dent. 2016 Jan 1;19(1):45-62.
9. Kamm K, Kamm S. CAD/CAM: Unverzichtbare Technologie für Zahnärztliche Praxis und Dentallabor. Oemus TR (editor). Jahrbuch digitale dentale Technologien 2016, Oemus Media AG, Leipzig, 2016, 8-14;.
10. Lebon N, Tapie L, Duret F, Attal JP. Understanding dental CAD/CAM for restorations--dental milling machines from a mechanical engineering viewpoint. Part B: Labside milling machines. Int J Comput Dent.. 2016 Jan 1;19(2):115-34.
11. Axinte DA, Dewes RC. Surface integrity of hot work tool steel after high speed milling-experimental data and empirical models. J. Mater. Process. Technol.. 2002 Oct 3;127(3):325-35.
12. Ginting A, Nouari M. Surface integrity of dry machined titanium alloys. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2009 Mar 1;49(3-4):325-32.
13. Yin L, Song XF, Qu SF, Han YG, Wang H. Surface integrity and removal mechanism in simulated dental finishing of a feldspathic porcelain. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2006 Nov;79(2):365-78. doi: 10.1002/jbm.b.30551. PMID: 16680684.

بدون شک نقش مهمی را ایفا خواهند کرد، گردش کار را ساده می کند و دقت و کیفیت رستوریشن های دندانی را افزایش می دهد. توانایی انطباق و کار با طیف وسیع و رو به رشدی از مواد برای برآوردن نیازهای مختلف بیماران، چه از نظر زیبایی، عملکرد، دوام و یا زیست سازگاری، کلیدی خواهد بود. انتخاب بین ماشین های میلینگ مرطوب، خشک یا همزمان در درجه اول به نیازها و قابلیت های خاص یک لابراتوار دندانپزشکی خاص بستگی دارد.

دستیابی به یک ماشین میلینگ با کنترل مختصاتی که بر اساس اصل CAD-CAM کار می کند تا پروتزهای دندانی یا قطعات پروتز تولید کند، باید با هدف دستیابی به کیفیت برتر باشد. با این حال، فناوری های پیشرفته باید به طور هماهنگ با الزامات مالی و آگاهی از قابلیت ها و عملکرد های دستگاه ماشین ترکیب شود، تا بتوان به بهترین نتایج رسید.

بنابراین بطور کلی ماشین های میلینگ بخشی از "امروز" در دندانپزشکی نوین است و آینده را سریعتر از آنچه فکر می کنیم تعریف می کند. این ماشین ها به بهبود راندمان تولید و ارائه خدمات بهتر به بیماران کمک می کند. با این حال، قابل پیش بینی بودن رستوریشن به یک آماده سازی خوب، تراش دقیق و یک رستوریشن زیبایی و عملکردی با طراحی خوب بستگی دارد.

14. Song ES, Lim YJ, Lee J, Moon JB, Kim B. Application of soundproofing materials for noise reduction in dental CAD/CAM milling machines. *Applied Sciences*. 2020 Apr 16;10(8):2768.
15. Willer J, Rossbach A, Weber HP. Computer-assisted milling of dental restorations using a new CAD/CAM data acquisition system. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1998 Sep 1;80(3):346-53.
16. Pilecco RO, da Rosa LS, Baldi A, Machry RV, Tribst JP, Valandro LF, Kleverlaan CJ, Scotti N, Pereira GK. How do different intraoral scanners and milling machines affect the fit and fatigue behavior of lithium disilicate and resin composite endocrowns?. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2024 Jul 1;155:106557.
17. Maiti N, Mahapatra N, Patel D, Chanchad J, Shah AS, Rahaman SM, Surana P. Application of CAD-CAM in Dentistry. *Bioinformation*. 2024;20(5):547.
18. Katsumata A, Fujita H. Progress of computer-aided detection/diagnosis (CAD) in dentistry CAD in dentistry. *Japanese Dental Science Review*. 2014 Aug 1;50(3):63-8.
19. Yin L, Jahanmir S, Ives LK. Abrasive machining of porcelain and zirconia with a dental handpiece. *Wear*. 2003 Aug 1;255(7-12):975-89.
20. Kadirgama K, Noor MM, Rahman MM, Bakar RA, Abou-El-Hossein KA. Fourth order torque prediction model in end milling.
21. Tapie L, Lebon N, Mawussi B, Fron-Chabouis H, Duret F, Attal JP. Understanding dental CAD/CAM for restorations--accuracy from a mechanical engineering viewpoint. *International journal of computerized dentistry*. 2015 Jan 1;18(4):343-67.
22. Hamza TA, Ezzat HA, El-Hossary MM, Katamish HA, Shokry TE, Rosenstiel SF. Accuracy of ceramic restorations made with two CAD/CAM systems. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2013 Feb 1;109(2):83-7.
23. Rudolph H, Luthardt RG, Walter MH. Computer-aided analysis of the influence of digitizing and surfacing on the accuracy in dental CAD/CAM technology. *Computers in biology and medicine*. 2007 May 1;37(5):579-87.
24. Shenoy VK, Prabhu MB. Computer-aided design/computer-aided manufacturing in dentistry—Future is present. *Journal of Interdisciplinary Dentistry*. 2015 May 1;5(2):60-4.
25. Sousa VF, Silva FJ. Recent advances on coated milling tool technology—a comprehensive review. *Coatings*. 2020 Mar 4;10(3):235.
26. Li Y, Li S, Wang X. Influence of different machining methods on the surface roughness of TC4: dry milling, water-based fluid wet milling, and foam spray milling. *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*. 2024 Jun 21;48(3):447-58.
27. Pratap A, Patra K, Dyakonov AA. A comprehensive review of micro-grinding: emphasis on toolings, performance analysis, modeling techniques, and future research directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019 Sep 1;104:63-102..
28. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *British dental journal*. 2008 May 10;204(9):505-11.
29. Fasbinder DJ. CAD/CAM ceramic restorations in the operatory and laboratory. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ: 1995)*. 2003 Aug 1;24(8):595-8.
30. Fuster-Torres MA, Albalat-Estela S, Alcañiz-Raya M, Peñarocha-Diogo M. CAD/CAM dental systems in implant dentistry: update. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2009 Mar 1;14(3):E141-5.
- 31-Ciocca L, Mingucci R, Gassino G, Scotti R. CAD/CAM ear model and virtual construction of the mold. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2007 Nov 1;98(5):339-43.
- 32-Vera V, Corchado E, Redondo R, Sedano J, Garcia AE. Applying soft computing techniques to optimise a dental milling process. *Neurocomputing*. 2013 Jun 3;109:94-104.