قابل توجه دندان‌پزشکان محترم، این مقاله دارای امتیاز بازآموزی می‌باشد. لطفا جهت ثبت نام به آدرس زیر مراجعه شود:
www.ircme.ir

مروری بر کاربرد CAD/CAM در دندان‌پزشکی (قسمت اول)

دکتر امید صوابی[۱]، دکتر مهسا صحرانشین سامانی[*]، علی صحرانشین سامانی[۲]، دکتر مریم خروشی[۳]

اهداف آموزشی

۱. آشنایی مقدماتی با نقش و اهمیت سیستمهای طراحی و ساخت کامپیوتری
۲. آشنایی با روش‌های قالب‌گیری دیجیتال در دندان‌پزشکی و مراحل آن
۳. انواع سیستم‌های CAD/CAM از نظر ساخت ترمیم‌های دندان‌پزشکی
۴. آشنایی با سیستم‌های روز طراحی و ساخت کامپیوتری در دندان‌پزشکی و مزایا و معایب آن‌ها
۵. آشنایی با روش‌های کاهشی و افزایشی ساخت ترمیم‌های دندان‌پزشکی

چکیده

مقدمه: امروزه پیشرفت‌های جدید در زمینه‌ی نرم‌افزار و سخت‌افزارهای کامپیوتری به تولید وسایل و دستگاه‌های پیشرفته‌ای در زمینه‌ی صنعت و ازجمله دندان‌پزشکی منجر شده است. یکی از این وسایل، سیستم طراحی به کمک کامپیوتر (CAD یا Computer aided design) و ساخت با کمک کامپیوتر (CAM یا Computer aided manufacturing) است.

سیستم‌های CAD/CAM قادر به جمع‌آوری اطلاعات و طراحی و تولید طیف گسترده‌ای از رستوریشن‌های دندانی از جمله اینله، انله، ونیر، روکش، پروتز پارسیل ثابت، اباتمنت ایمپلنت و نیز اپلاینس‌های ارتودنسی می‌باشند. هدف از این مطالعه، مروری بر تاریخچه CAD/CAM، انواع دستگاه‌های CAD/CAM موجود، نحوه‌ی عملکرد آن‌ها و مفاهیم کاربردی در دندان‌پزشکی دیجیتال است

شرح مقاله: این مقاله مروری با جستجوی علمی در منابع الکترونیک، کتاب‌ها، پایگاه‌های اطلاعاتی PubMed و ISI Web of Science و در ارتباط با مقالات به چاپ رسیده به زبان انگلیسی تا سال ۲۰۱۳ و با موضوعات تاریخچه، مزایا و معایب، مروری بر اجزا و نیز نحوه‌ی عملکرد سیستم‌های CAD/CAM در دندان‌پزشکی گردآوری گردیده است.

نتیجه‌گیری: در طی سال‌های اخیر فن‌آوری دیجیتال در دندان‌پزشکی به سرعت در حال پیشرفت است و در حال حاضر این فن‌آوری می‌تواند در ساخت تمامی رستوریشن‌های دندانی مورد نیاز، از جمله بازسازی کامل دهان مورد استفاده قرار گیرد. تکنولوژی کامپیوتری، ساخت ترمیم‌ها را ساده‌تر، سریع‌تر، ارزان‌تر و قابل پیش‌بینی‌تر از قبل نموده است. با وجودی‌که سیستم‌های دیجیتال در دندان‌پزشکی مزایای زیادی را به‌همراه دارند، یادگیری نحوه‌ی عملکرد آن‌ها به‌منظور بهره‌وری از حداکثر مزایای این سیستم‌ها و ایجاد ترمیم‌هایی با تطابق مناسب برای تیم دندان‌پزشکی الزامی است.

کلید واژه‌ها: ساخت به کمک کامپیوتر، طراحی به کمک کامپیوتر، پروتزهای دندانی

* استادیار، گروه دندان‌پزشکی ترمیمی، دانشکده دندان‌پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، چهار محال و بختیاری، ایران (مؤلف مسؤول)
mahsa_sahraneshin@yahoo.com

۱: استاد، مرکز تحقیقات ایمپلنت‌های دندانی، گروه پروتزهای دندانی، دانشکده دندان‌پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲: کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته ارگونومی، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، آذربایجان غربی، ایران

۳: دانشیار، مرکز تحقیقات مواد دندانی، گروه دندان‌پزشکی ترمیمی، دانشکده دندان‌پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

این مقاله در تاریخ ۹۱/۲/۲ به دفتر مجله رسیده، در تاریخ ۹۲/۱۰/۲۱ اصلاح شده و در تاریخ ۹۲/۱۰/۲۴ تأیید گردیده است.

مجله دانشکده دندان‌پزشکی اصفهان
۱۳۹۳؛ ۱۰(۱)؛ ۸۶ تا ۹۴

مقدمه

تقاضا برای ترمیم‌های زیبایی به‌طور چشم‌گیری در طول دو دهه‌ی اخیر افزایش یافته است. تکنولوژی CAD/CAM (Computer-aided design and Computer-aided manufacturing) برای حل سه چالش مهم گسترش داده شده است. چالش اول اطمینان از ساخت رستوریشن‌هایی با دوام و استحکام کافی، به‌خصوص برای دندان‌های خلفی، چالش دوم ایجاد ترمیم‌هایی با ظاهر طبیعی و چالش سوم ساخت آسان‌تر، سریع‌تر و دقیق‌تر رستوریشن‌های دندانی بود. در برخی موارد، تکنولوژی CAD/CAM قادر است تنها ظرف مدت یک روز رستوریشن‌هایی را برای بیماران تولید نماید.

این مقاله مروری با جستجوی علمی در منابع الکترونیک، کتاب‌ها، پایگاه‌های اطلاعاتی PubMed و ISI Web of Science و در ارتباط با مقالات به چاپ رسیده به زبان انگلیسی تا سال ۲۰۱۳ و با موضوعات: تاریخچه، مزایا و معایب، مروری بر اجزا و نیز نحوه‌ی عملکرد سیستم‌های CAD/CAM در دندان‌پزشکی گردآوری گردیده است. هدف از این مطالعه، مروری بر تاریخچه CAD/CAM، انواع دستگاه‌های CAD/CAM موجود، نحوه‌ی عملکرد آن‌ها و مفاهیم کاربردی در دندان‌پزشکی دیجیتال است.

شرح مقاله

۱. تاریخچه CAD/CAM در دندان‌پزشکی

هم‌زمان با معرفی و به‌کارگیری طراحی به کمک کامپیوتر (CAD) و ساخت به کمک کامپیوتر (CAM) در صنعت در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، زمینه برای پیشرفت این سیستم در دندان‌پزشکی فراهم شد[۱].

Duret[۲] اولین کسی بود که دستگاه CAD/CAM دندانی را معرفی کرد، وی ساخت کراون را بر اساس قالب‌گیری نوری از دندان پایه و با استفاده از Numerically controlled milling machine در اوایل سال ۱۹۷۱ انجام داد. وی اولین رستوریشن CAD/CAM دندانی را در سال ۱۹۸۳ تولید کرد[۳].

در سال‌های بعد Duret سیستم Sopha را ارایه داد اما این سیستم، آن‌چنان مورد استفاده قرار نگرفت، شاید به این علت که هنوز برای ورود این سیستم به دندان‌پزشکی زود بود و علت این امر فقدان دقت کافی در دیجیتال‌گرها، قدرت کامپیوترها و نیز خصوصیات نامطلوب مواد بود[۴].

Mormman ارایه دهنده‌ی نخستین سری تجاری این سیستم CAD/CAM بود. وی در سال ۱۹۸۵، ساخت اولین اینله chairside را با استفاده از ترکیبی از اسکنر نوری و دستگاه تراش انجام داد. اسکن حفره اینله با کمک دوربین داخل دهانی به‌صورت مستقیم انجام می‌شد. این نوآوری فقط محدود به ساخت اینله بود. دستگاه ابداعی توسط وی (Chairside economical restoration of esthetic ceramic) CEREC، نام گرفت[۵].

در سال ۱۹۸۳ دکتر Andersson[۶] روش Procera را برای ساخت روکش‌های دندانی با دقت بالا معرفی کرد. وی هم‌چنین نخستین فردی بود که از سیستم CAD/CAM برای ساخت ونیر کامپوزیتی استفاده کرد و تلاش کرد با به‌کارگیری روش اسپارک اروژن، کوپینگ‌های تیتانیومی را بسازد. سیستم Procera بعدها به‌صورت مراکز تولیدی که توسط شبکه‌ای از دیجیتال‌گرهای ماهواره‌ای به‌هم مرتبط می‌شدند در سراسر دنیا معرفی شد[۴].

محبوبیت سیستم‌های CAD/CAM به‌طور فزاینده‌ای در مطب‌های دندان‌پزشکی در حال افزایش است. بر اساس اطلاعات موجود از شرکت Sirona، CEREC بیش از ۱۱۰۰۰ کاربر در ایالات متحده و ۳۴۰۰۰ کاربر در سطح بین المللی دارد[۷].

۲. انواع سیستم های CAD/CAM

۲-۱. CAD/CAM در مطب: در این سیستم دندان تراش خورده در داخل دهان اسکن می‌شود، ماده مورد نظر انتخاب می‌شود و رستوریش در یک جلسه ساخته و در دهان بیمار قرار داده می‌شود. این امکان به‌صورت گسترده در سیستم E4D-dentist و CEREC استفاده می‌شود.

۲-۲. CAD/CAM لابراتوری: در این روش غیرمستقیم دای دندانی به‌دست آمده از قالب‌گیری، در لابراتوار اسکن می‌شود. اغلب این سیستم‌ها کوپینگی را می‌سازند که برای ایجاد خواص و ویژگی‌های زیبایی نیازمند افزودن پرسلن توسط تکنیسین است.

۲-۳. CAD/CAM برای استفاده به‌صورت شبکه‌ای و خارج از مبدا: در این سیستم اطلاعات مربوط به اسکن کست یا دهان بیمار به مراکزی که مسؤول تهیه رستوریشن هستند فرستاده می‌شود. به‌علت حساسیت تکنیکی بالا در طراحی و ساخت فریم ورک‌های فلزی و فریم ورک‌های سرامیکی با استحکام بالا، تکنولوژی جدید CAD/CAM از طریق اینترنت، با مراکز تولید شبکه‌ای در تعامل مشترک قرار گرفته است[۸].

۳. مزایا و معایب CAD/CAM

استفاده از تکنولوژی CAD/CAM برای ساخت رستوریشن‌های دندانی دارای مزایای متعددی است. این مزایا عبارتند از: سرعت بالا، سهولت استفاده، و کیفیت مطلوب. اسکن دیجیتال سریع‌تر و راحت‌تر از قالب‌گیری متعارف است زیرا ریختن گچ، موم‌گذاری، Investing، ریخته‌گری و حرارت‌دهی حذف می‌شوند (جدول ۱)[۹].

جدول ۱. مزایای سیستم‌های CAD/CAM

ردیف	مزایا
۱	دقت در قالب‌گیری
۲	فرصت برای دیدن، تنظیم و قالب‌گیری مجدد
۳	عدم حضور مراحل قالب‌گیری فیزیکی برای بیمار
۴	صرفه‌جویی در زمان و ساخت رستوریشن در یک جلسه در انواع in-office
۵	فرصت برای دیدن اکلوژن
۶	ایجاد رستوریشن‌هایی دقیق در مدل دیجیتال
۷	پتانسیل به اشتراک‌گذاری هزینه‌های دستگاه
۸	دقت و مقاومت در برابر سایش فیزیکی در مدل‌های ساخته شده به روش CAD/CAM
۹	فقدان خطاهای مراحل لایه‌گذاری و پخت
۱۰	فقدان خطاهای ناشی از مراحل لحیم‌کاری/ ریخته‌گری
۱۱	مقرون به‌صرفه بودن
۱۲	کنترل عفونت

داشتن یک دستگاه فرزکاری در محل کار به این معنی است که بیماران می‌توانند رستوریشن دایم خود را در همان روز مراجعه و بدون نیاز به یک قرار ملاقات دوم دریافت کنند. در ضمن بیماران به ترمیم‌های موقتی که ساخت و نیز تطابق آن‌ها زمان‌بر است نیازی ندارند و از انجام تزریقات مکرر و کاربرد ماده بی‌حسی طی جلسات ملاقات متعدد بی‌نیاز می‌باشند[۱۱، ۱۰].

کیفیت ترمیم‌های CAD/CAM بسیار بالا است، زیرا مراحل اندازه‌گیری و ساخت بسیار دقیق است. در یک مطالعه صورت گرفته توسط Henkel[۱۲] بر روی ۱۱۷ نفر، بیمارانی که نیاز به قراردهی دو روکش داشتند برای مطالعه انتخاب شدند، سپس یک روکش به روش قالب‌گیری فیزیکی و با استفاده از تری و مواد و روش‌های معمول استاندارد و دیگری به‌روش قالب‌گیری دیجیتال ساخته شد. جالب توجه این‌که بدون دانستن روش ساخت، دندان‌پزشکان تنها در ۶۸ درصد از موارد، قادر به تشخیص روکش ساخته شده به‌روش قالب‌گیری دیجیتال بودند.

در سال ۲۰۰۵ Christensen[۱۳] در مقاله‌ای، اظهار داشت که در بیش از ۵۰ درصد قالب‌های ارسال شده به لابراتوار مارژین‌ها قابل تشخیص نیست. قالب‌گیری سنتی دچار مشکلاتی، مانند ایجاد حباب و پارگی در مواد قالب‌گیری، گیر افتادن نخ و یا دبری‌های دیگر در ماده قالب‌گیری و ثبت نشدن دندان‌ها است.

ترمیم‌های CAD/CAM ظاهر طبیعی دارند زیرا بلوک‌های سرامیکی شفافیتی (ترانسلوسنسی) شبیه مینا دارند و در طیف رنگ گسترده‌ای در دسترس هستند. سرامیک، حتی زمانی‌که برای دندان‌های خلفی استفاده می‌شود، در دهان به میزان مطلوبی سایش می‌یابد. در ضمن سرامیک‌ها باعث سایش حداقل در دندان مقابل می‌شوند زیرا سایندگی بیش‌تری نسبت به کامپوزیت خلفی معمولی و هیبرید رزین‌ها ندارند[۹].

ترمیم‌های ساخته شده به روش CAD/CAM دوام مناسبی دارند، زیرا بلوک‌های سرامیکی پیش ساخته عاری از نقایص داخلی هستند. صرفه‌جویی در زمان و نیروی کار اثرات بالقوه‌ای در کاهش هزینه‌ها دارد، ترمیم‌های با کیفیت بالا همراه با آماده‌سازی سریع‌تر به بیماران وعده داده می‌شود و بیماران نیز از عدم نیاز به انجام مراحل قالب‌گیری تهوع برانگیز خوشنود هستند[۱۰].

ازجمله مزایای دیگر CAD/CAM این است که تمامی اسکن‌ها را می‌توان در کامپیوتر ذخیره نمود، درحالیکه، مدل‌های گچی فضاگیر هستند و در صورت ذخیره‌سازی به شیوه نادرست مستعد شکستن و یا لب پریدگی می‌باشند[۱۴]. در ضمن دندان‌پزشک امکان می‌یابد دندان آماده شده را بر

روی صفحه نمایش کامپیوتر از زوایای مختلف مشاهده نماید و رستوریشن را در حالی طراحی نماید که دندان‌های فک مقابل در کامپیوتر نمایان است. علاوه بر آن نمایش فوری دندان از طریق مانیتور انجام سریع اصلاحات لازمه را ممکن می‌سازد[۱۰].

با این حال، سیستم‌های CAD/CAM دارای معایبی نیز هستند. دوران یادگیری چگونگی عملکرد سیستم طولانی است و ممکن است از چند روز تا چند ماه متغیر باشد که این امر می‌تواند منجر به از دست دادن بیماران مطب شود[۱۱]. هزینه‌ی اولیه تجهیزات و نرم‌افزار بالا است و دندان‌پزشک نیاز به صرف زمان و هزینه برای آموزش نحوه‌ی کار با دستگاه دارد[۹]. دندان‌پزشکانی که حجم کاری زیادی در زمینه ساخت رستوریشن ندارند ممکن است نتوانند بازگشت سرمایه‌گذاری خود را داشته باشند.

در اسکن نوری نیز به مانند قالب‌گیری متعارف، دندان‌پزشک نیاز به ثبت دقیق دندان مورد نظر، ثبت خط خاتمه تراش، نسخه‌برداری دقیق از دندان‌های اطراف و مقابل، کنترل و کنار زدن بافت نرم، کنترل رطوبت و برقراری هموستاز دارد[۱۵، ۱۰].

۴. بررسی اجمالی CAD/CAM

سه مرحله اصلی در سیستم CAD/CAM عبارتند از:

۴-۱. اکتساب داده‌ها از طریق انجام قالب‌گیری دیجیتال. ۴-۲. پردازش داده‌ها با کمک نرم‌افزار و ۴-۳. تولید توسط ماشین تراش[۱۷، ۱۶].

۴-۱. قالب‌گیری دیجیتال: مفهوم اسکنر در دندان‌پزشکی، ابزاری است که ساختارهای سه بعدی فک و دندان‌ها را ثبت کرده و تبدیل هندسه فیزیکی به داده‌های دیجیتال را بر عهده دارد. پس از آماده‌سازی کامل دندان و کنار زدن بافت‌ها به منظور تجسم مارژین‌های دندان، دندان خشک و برای اسکن آماده می‌شود. تعدادی از اسکنرها نیاز به استفاده از پودر اکسید تیتانیوم بر روی دندان، به‌منظور حذف نور شدید منعکس شده از سطح آن و ارتقا کیفیت تصویربرداری (Scanning) ندارند. اسکنرها با استفاده از یک سری تصاویر استاتیک (ثابت) و یا یک سری تصاویر ویدیویی، هندسه‌ی دندان آماده‌سازی شده را به تصویر می‌کشند[۱۸].

اساساً انجام دو نوع اسکن امکان‌پذیر است: اسکن نوری و اسکن مکانیکی.

الف. اسکنر نوری: اساس این نوع اسکنر در جمع‌آوری ساختارهای سه بعدی طی روندی است که به اصطلاح "Procedure triangulation" نامیده می‌شود. منبع نور (به‌عنوان مثال لیزر) و دستگاه گیرنده در زاویه‌ی مشخصی در ارتباط با یک‌دیگر هستند. به این طریق، کامپیوتر قادر به جمع‌آوری مجموعه‌ای از داده‌های سه بعدی از تصاویر بر روی واحد گیرنده است[۱۹].

اسکنرهای زیر را می‌توان به‌عنوان نمونه‌هایی از اسکنرهای نوری در بازار دندان‌پزشکی نام برد: Lava scan ST (3M ESPE)، Everest scan (KaVo) و es1 (etkon)[۲۰].

ب. اسکنر مکانیکی: در این نوع اسکنر، دای اصلی یا مستر دای به‌صورت مکانیکی و خط به خط با استفاده از یک توپچه یاقوتی اسکن می‌شود و ساختار سه بعدی آن ثبت می‌شود. اسکنر Procera scanner یک اسکنر مکانیکی در دندان‌پزشکی است. وجه تمایز این نوع اسکنر دقت بالای اسکن در این سیستم است، زیرا قطر توپچه یاقوتی متناسب با کوچک‌ترین فرز در سیستم تراش است و در نتیجه تمامی داده‌های جمع‌آوری شده توسط این سیستم می‌توانند در ماشین تراش شناسایی شده و پردازش شوند[۲۲، ۲۱].

از جمله اشکالات این سیستم مکانیک پیچیده دستگاه و در نتیجه قیمت بالای دستگاه و نیز زمان پردازش طولانی در مقایسه با اسکنرهای نوری است[۲۰].

۴-۲. نرم‌افزار طراحی: نرم‌افزار مسؤول پردازش داده‌های اسکن شده و ایجاد تصویر از شی دیجیتال است. هر سیستم شامل نرم‌افزاری اختصاصی به‌منظور تجسم داده‌های اسکن شده و طراحی رستوریشن است. رستوریشن‌ها توسط تعامل بین دندان‌پزشک و کامپیوتر طراحی می‌شوند، کانتورها در هماهنگی با دندان‌های مجاور و مقابل قرار می‌گیرند. یک تصویر مجازی به‌منظور فرم دادن صحیح امبراژور پروفایل، تماس‌های بین دندانی، و طرح اکلوزال استفاده شده است. دندان‌های فک مقابل می‌تواند از طریق مسیرهای گردان حرکت داده شود تا مسیرهای فانکشنال اکلوزالی را نمایان سازد[۱۸].

افزایش در قدرت کامپیوترها به پیشرفت‌های عمده‌ای در تمامی این مراحل انجامید. به‌ویژه در سال‌های اخیر فرم‌های گوناگونی از اسکنرهای داخل دهانی به بازار معرفی شده است. در حال حاضر نرم‌افزارهای بسیاری برای طراحی رستوریشن‌های دندانی به‌صورت روکش، بریج و فریم ورک‌های پروتز پارسیل موجود است. در حال حاضر برخی از ارایه دهندگان نرم‌افزار ادعا می‌کنند که نرم‌افزار تولیدی آن‌ها قادر است در کمتر از ۲۰ دقیقه بررسی (Survey)، طراحی و موم‌گذاری فریم ورک پروتز پارسیل را انجام دهد.

۴-۳. دستگاه‌های تراش: فن‌آوری ساخت، تبدیل داده‌های دیجیتال را به یک محصول فیزیکی بر عهده دارد. سیستم‌های ساخت مختلف در مطب‌های دندان‌پزشکی، لابراتوارهای دندان‌پزشکی و یا لابراتوارهای مرکزی موجود هستند. دو نوع از سیستم‌های CAD/CAM برای مطب‌های دندان‌پزشکی شامل Acquisition تنها (قالب‌گیری دیجیتال) و اسکن و تراش (Scan and mill) است[۱۰].

سیستم‌هایAcquisition تنها، قالب‌گیری دیجیتال را از طریق ثبت تصاویر دندان‌های آماده شده در مطب دندان‌پزشکی انجام می‌دهند و سپس فایل دیجیتال به یک مرکز ارسال شده و در آن‌جا تکنسین لابراتوار مدلی را بر روی تصاویر می‌سازد. دستگاه‌های iTero و (Lava chairside oral scanner) Lava COS تنها قادر به تهیه تصویر می‌باشند و قالب‌های دیجیتالی تولید می‌کنند که نیاز به طراحی و تراش در لابراتوارهای دندان‌پزشکی یا مراکز تراش را دارند[۱۸، ۱۰]. دستگاه‌های CEREC و E4D سیستم‌های اسکن و تراش (Scan and mill) هستند و می‌توانند با دستگاه طراحی و تراش In-office ترکیب شوند[۱۰].

در مراکز تراش و لابراتوارهای دندان‌پزشکی رستوریشن‌ها می‌توانند از مواد مختلفی از قبیل مواد کامپوزیتی، فلدسپاتیک پرسلن، سرامیک تقویت شده با لوسایت، سرامیک لیتیم دی سیلیکات و زیرکونیا ساخته شوند. الگوهای مومی و رستوریشن‌های اکریلیک موقتی نیز می‌توانند ساخته شوند. مدل‌های دیجیتالی می‌توانند در لابراتوارهای دندان‌پزشکی برای تولید رستوریشن از طریق روش‌های سنتی مرسوم نیز مورد استفاده قرار گیرند[۱۸].

دستگاه‌های تراش توسط تعداد محورهای تراش آن‌ها متمایز می‌شوند. کیفیت محصول نهایی لزوماً به تعداد محورهای تراش فرز بستگی ندارد اما تعداد محورها میزان پیچیدگی هندسی که دستگاه می‌تواند تولید کند را تحت تأثیر قرار می‌دهند[۱۸]. کیفیت محصول بیش‌تر نتیجه Digitalization، پردازش داده‌ها و فرایند تولید است[۲۰].

دستگاه‌های سه محوره در سه جهت فضایی قادر به حرکت هستند. آن‌ها قادر به واگرایی و هم‌گرایی محور فرز نیستند. در طول پردازش دستگاه‌های سه محوره می‌توانند بلوک مواد را ۱۸۰درجه بچرخانند[۱۸]. مثال‌هایی از این دسته شامل موارد زیر است: inLab MC XL (Sirona)، Lava (3M ESPE) و Cercon brain (DeguDent)[۲۰].

دستگاه‌های چهار محوره توانایی چرخش بی‌نهایت بلوک مواد را دارا هستند. این امر ساخت پروتزهای ثابت با اختلاف زیاد در ارتفاع عمودی را ممکن می‌سازد[۱۸]. نمونه‌ای از این دستگاه Zeno (Wieland-Imes) است[۲۰].

دستگاه‌های پنج محوره توانایی چرخش اسپیندل تراش را دارند بنابراین می‌تواند هندسه‌های پیچیده را در چندین مقطع تراش دهند، این امر منجر به تطابق با اشکالی مانند دندان پایه متقارب (مولر انتهایی که به‌سمت مزیال تیلت یافته است) می‌شود[۱۸]. مثال‌هایی از این دسته شامل موارد زیر است: Everest Engine (KaVo) و HSC Milling Device (etkon)[۲۰].

۵. تولید کاهشی و افزایشی

۵-۱. تولید کاهشی: CAD/CAM در دندان‌پزشکی در درجه‌ی اول متکی بر روند تولید کاهشی است. تکنولوژی که اغلب افراد با آن مأنوس هستند ماشین‌کاری از طریق کنترل عددی کامپیوتری است، این تکنولوژی بر اساس فرآیندی است که در آن ابزارآلات ماشینی فعال شونده با نیرو، مانند اره، ماشین تراش، دستگاه فرز و مته استفاده می‌شوند تا به‌صورت مکانیکی مواد را برای رسیدن به هندسه مورد نظر تراش دهند. تمام مراحل توسط یک برنامه‌ی کامپیوتری کنترل می‌شود. بنابراین دستگاه با یک بلوک از ماده شروع به‌کار می‌کند و دستگاه برش بخش‌های ناخواسته بلوک را حذف می‌کند. به‌طور کلی با استفاده از این روش زمان تولید، به‌طور قابل توجهی

کاهش خواهد یافت و مدل‌های پیچیده، که ساخت آن‌ها با فرایندهای متعارف دندان‌پزشکی دشوار و یا غیر ممکن است به‌راحتی می‌توانند ساخته شوند. این فن‌آوری‌ها با کمک تکنولوژی‌های جدید مانند ماشین‌کاری تخلیه‌ی الکتریکی، ماشین الکتروشیمیایی، ماشین‌کاری پرتو الکترون، ماشین‌کاری فتوشیمیایی و ماشین‌کاری اولتراسونیک به درجه بالایی از پیچیدگی دست یافته‌اند[۲۳]. امروزه تمام این مسیرهای پردازش زیر چتر ماشین‌کاری کاهشی قرار می‌گیرند. با این حال، این روش تا حدودی اتلاف کننده مواد است زیرا به‌منظور ایجاد شکل محصول نهایی ماده بسیاری حذف می‌شود. درحال حاضر یکی دیگر از محدودیت‌های سیستم‌های CAD/CAM دندانی این است که روند تولید به آسانی نمی‌تواند انبوه روکش‌ها و بریج‌ها را تولید نماید، زیرا تنها یک بخش را می‌توان در آن واحد توسط ماشین تراشید[۱۶].

۵-۲. تولید افزودنی: تولید افزودنی روند اتصال یافتن مواد به‌صورت لایه بر لایه برای ساخت یک شی سه بعدی از داده‌های مدل است.

این فرایند در اصل با دریافت یک فایل سه بعدی کامپیوتری و ایجاد یک مجموعه از برش‌های مقطعی عمل می‌کند. سپس هر لایه بر روی لایه دیگر فشرده می‌شود تا شی سه بعدی حاصل شود[۲۴]. از ویژگی‌های این روش آن است که ضایعات و اتلاف ماده وجود ندارد. بنابراین سرآغازی در نمونه‌سازی سریع یا Rapid prototyping است، که عنوان اطلاق شده به تولید سریع الگوها با استفاده از تولید افزایشی لایه به لایه است.

استفاده از روش افزودنی برای تولید باصرفه‌تر است به‌طوریکه بر بسیاری از مشکلات مرتبط با تراش می‌توان به آسانی غلبه نمود. مزیت اصلی این نوع روش توانایی ایجاد جزئیات ریز مثل اندرکات‌ها، تخلخل‌ها و هندسه‌های داخلی پیچیده است.

استفاده از این فن‌آوری درحال رشد است به‌طوریکه درحال حاضر امکان خرید یک پرینتر سه بعدی به قیمت کم‌تر از ۳۵۰۰ دلار وجود دارد. در نتیجه مراکز ارایه کننده خدمات چاپ سه بعدی در سراسر جهان گسترده شدند[۱۵]. یکی از این پیشرفت‌های جالب توجه RepRap است، که یک چاپگر دسکتاپ سه بعدی است و قادر به چاپ اشیا پلاستیکی می‌باشد[۲۵]. RepRap به‌عنوان یک دستگاه خود همانند ساز توصیف شده است، زیرا بسیاری از قطعات آن از پلاستیک ساخته شده و RepRap می‌تواند آن قسمت‌ها را تولید کند.

به موازات این تحولات، تعداد موادی که در صنعت استفاده می‌شود افزایش زیادی یافته است و ماشین آلات مدرن می‌توانند طیف وسیعی از پلیمرها، فلزات و سرامیک‌ها را به‌کار بگیرند. روند تولید افزایشی در واقع یک فرصت عالی در دندان‌پزشکی است[۱۶].

۶. ساختار باز یا بسته

تفاوت اصلی بین ساختار بسته و باز در سیستم CAD/CAM این است که سیستم بسته نمی‌تواند با اجزای تولید شده توسط یک شرکت دیگر ادغام شود. به‌عبارت دیگر، سیستم‌های بسته ساختار کاملاً اختصاصی دارند، درحالیکه سیستم باز CAD/CAM می‌تواند با اجزای ساخته شده توسط بسیاری از سازندگان دیگر ادغام شود[۲۶]. در سیستم‌های بسته داده‌های دیجیتال می‌توانند تنها با استفاده از نرم‌افزار و سخت‌افزار همسانی که متعلق به همان شرکت تولید کننده اسکنر داخل دهانی است مورد بررسی قرار گیرند[۲۷]. توسعه در فن‌آوری‌های CAD/CAM دندان‌پزشکی همراه با گذار از سیستم دسترسی بسته به باز است. درحالیکه در گذشته دیجیتال سازی، طراحی و ساخت به‌صورت یک سیستم بسته بود (به‌عنوان مثال CEREC)، با پیشرفت بیش‌تر این فن‌آوری گسترش یافت و امروزه بخش‌های مختلف یک سیستم CAD/CAM می‌توانند به‌صورت جداگانه خریداری شوند. این امر باعث انعطاف‌پذیری بسیار بیش‌تری شده است به‌طوریکه داده‌ها می‌توانند از طیف وسیعی از منابع (مانند اسکنرهای داخل دهان، دیجیتایزر تماسی یا لیزری، (Computed tomography) CT، (Magnetic resonance imaging) MRI به‌دست آیند[۳۱-۲۸]. نتیجه‌ی بسیار مهم دیگر ناشی از انتقال از سیستم‌های بسته به باز دسترسی به طیف وسیع‌تری از تکنیک‌های تولیدی است به‌طوریکه بیش‌تر فرایندهای تولیدی مقتضی و مواد مرتبط با آن‌ها می‌توانند انتخاب گردند[۱۶].

نتیجه‌گیری

چند دهه‌ی قبل استفاده از تکنولوژی CAD/CAM در لابراتوارها و مطب‌های دندان‌پزشکی به مانند داستان‌های علمی تخیلی به‌نظر می‌رسید، اما امروزه واقعیت دارد. درحال حاضر فن‌آوری CAD/CAM توانایی ساخت اینله، انله، ونیر، روکش، پروتزهای ثابت دندانی، اباتمنت ایمپلنت و بازسازی کامل دهان را دارا است.

سیستم‌های CAD/CAM به ساخت رستوریشن‌ها توسط سیستم ماشینی، با کیفیت استاندارد و در زمان کوتاه می‌انجامد، خطر انتقال عفونت متقاطع را کاهش و دقت ساخت را افزایش می‌دهد. استحکام مکانیکی، دوام و تطابق این رستوریشن‌ها مطلوب می‌باشد. گرچه این محاسن باید در کنار قیمت بالای سیستم‌های CAD/CAM و نیاز به یادگیری روش کار با این سیستم در نظر گرفته شود.

سیستم‌های CAD/CAM هنوز برای خرید گران هستند اما با کاهش قیمت‌ها و کاربرد بیش‌تر این فن‌آوری توسط مراقبان بهداشتی، انتظار می‌رود کاربرد اسکنرهای دیجیتال و طراحی و ساخت به کمک کامپیوتر به استانداردی در دندان‌پزشکی تبدیل شود.

References

1. Rekow ED. Dental CAD/CAM systems: a 20-year success story. J Am Dent Assoc 2006; 137 Suppl: 5S-6S.
2. Duret F, Preston JD. CAD/CAM imaging in dentistry. Curr Opin Dent 1991; 1(2): 150-4.
3. Priest G. Virtual-designed and computer-milled implant abutments. J Oral Maxillofac Surg 2005; 63(9 Suppl 2): 22-32.
4. Miyazaki T, Hotta Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. Aust Dent J 2011; 56 Suppl 1: 97-106.
5. Rohde J. Chairside economical restoration of esthetic ceramic (CEREC); 2005 [Cited 2012 Nov 1]. Available from: http://www.dentalcompare.com/Featured-Articles/2160-Chairside-Economical-Restoration-of-Esthetic-Ceramic-CEREC.
6. Andersson M, Carlsson L, Persson M, Bergman B. Accuracy of machine milling and spark erosion with a CAD/CAM system. J Prosthet Dent 1996; 76(2): 187-93.
7. Harsono M, Simon M, Stein JM, Kugel G. Evolution of chairside CAD/CAM dentistry. Inside Dentistry 2012;8(10).
8. Mantri SS, Bhasin AS. CAD/CAM in dental restorations: an overview. Annals and Essences of Dentistry 2010; 2(3): 123-8.
9. Mormann WH, Brandestini M, Lutz F, Barbakow F. Chairside computer-aided direct ceramic inlays. Quintessence Int 1989; 20(5): 329-39.
10. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. Dent Clin North Am 2011; 55(3): 559-70, ix.
11. Trost L, Stines S, Burt L. Making informed decisions about incorporating a CAD/CAM system into dental practice. J Am Dent Assoc 2006; 137 Suppl: 32S-36S.
12. Henkel GL. A comparison of fixed prostheses generated from conventional vs digitally scanned dental impressions. Compend Contin Educ Dent 2007; 28(8): 422-8, 430-1.
13. Christensen GJ. The state of fixed prosthodontic impressions: room for improvement. J Am Dent Assoc 2005; 136(3): 343-6.
14. Birnbaum NS, Aaronson HB. Dental impressions using 3D digital scanners: virtual becomes reality. Compend Contin Educ Dent 2008; 29(8): 494, 496, 498-505.
15. Wiersema EJ, Kreulen CM, Creugers NH. The conventional and the digital impression method for single-unit and multi-unit fixed dental prostheses. Ned Tijdschr Tandheelkd 2013; 120(7-8): 401-10.
16. van Noort R. The future of dental devices is digital. Dent Mater 2012; 28(1): 3-12.
17. Patzelt SB, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. Clin Oral Investig 2013 Nov 17 [Epub ahead of print].
18. Sakaguchi RL, Powers JM. Craig's restorative dental materials. 13 ed. St.Louis: Mosby; 2011. p. 349-53.
19. Mehl A, Gloger W, Kunzelmann KH, Hickel R. A new optical 3-D device for the detection of wear. J Dent Res 1997; 76(11): 1799-807.
20. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. Br Dent J 2008; 204(9): 505-11.
21. May KB, Russell MM, Razzoog ME, Lang BR. Precision of fit: the Procera AllCeram crown. J Prosthet Dent 1998; 80(4): 394-404.

22. Webber B, McDonald A, Knowles J. An in vitro study of the compressive load at fracture of Procera AllCeram crowns with varying thickness of veneer porcelain. J Prosthet Dent 2003; 89(2): 154-60.
23. Van Roekel NB. Electrical discharge machining in dentistry. Int J Prosthodont 1992; 5(2): 114-21.
24. Silva NR, Witek L, Coelho PG, Thompson VP, Rekow ED, Smay J. Additive CAD/CAM process for dental prostheses. J Prosthodont 2011; 20(2): 93-6.
25. Kasparova M, Grafova L, Dvorak P, Dostalova T, Prochazka A, Eliasova H, et al. Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models. Biomed Eng Online 2013; 12: 49.
26. Jablow M. Closed, open, and selectively open CAD/CAM architecture: what does it mean? [Cited 2012 Nov 1]. Available from: www.dentistryiq.com/articles/2010/10/closed-open-and-selectively-open-cad-cam-architecture-what-does-it-mean.html
27. Fasbinder DJ. Digital dentistry: innovation for restorative treatment. Compend Contin Educ Dent 2010; 31 Spec No 4: 2-11.
28. Flugge TV, Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2013; 144(3): 471-8.
29. Morris JB. CAD/CAM options in dental implant treatment planning. J Calif Dent Assoc 2010; 38(5): 333-6.
30. Patel N. Integrating three-dimensional digital technologies for comprehensive implant dentistry. J Am Dent Assoc 2010; 141 Suppl 2: 20S-4S.
31. Metzger MC, Hohlweg-Majert B, Schwarz U, Teschner M, Hammer B, Schmelzeisen R. Manufacturing splints for orthognathic surgery using a three-dimensional printer. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2008; 105(2): e1-e7.

An overview of application of CAD/CAM in dentistry (Part I)

Omid Savabi, Mahsa Sahraneshin Samani*, Ali Sahraneshin Samani, Maryam Khoroushi

Abstract

Introduction: *Today, new developments in the field of computer hardware and software have led to the production of advanced equipment and devices in industry, including the dental field. One of these devices is computer-aided design (CAD) and computer-aided manufacture (CAM) system. CAD/CAM systems are able to collect data and design and manufacture a wide range of dental restorations such as inlays, onlays, veneers, crowns, fixed partial dentures, orthodontic appliances and dental implant abutments. The aim of this article is to review the history of CAD/CAM, types of available CAD/CAM systems, how they function and application concepts in digital dentistry.*
Article description: *This article was collected by scientific search in electronic resources, books, Pubmed and ISI Web of Science websites, in articles published in English until 2013, and with the following key words: history, advantages and disadvantages, an overview of the components and the performance of CAD/CAM systems in dentistry.*
Conclusions: *In recent years, digital technology is advancing rapidly in dentistry and now it can be applied to almost any restorative situation, including full-mouth rehabilitation. Computer technology has made fabrication of restorations easier, faster, cheaper and more predictable than before. While there are many benefits for dental digital systems, it is necessary for the dental team to master their function in order to maximize their advantages for creating well-fitting restorations.*

Key words: *Computer-aided design, Computer-aided manufacturing, Dental prosthesis*

Received: 21 Apr, 2012 **Accepted:** 14 Jan, 2014

Address: Assistant Professor, Department of Operative Dentistry, School of Dentistry, Shahrekord University of Medical Sciences, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran
Email: mahsa_sahraneshin@yahoo.com

Citation: Savabi O, Sahraneshin Samani M, Sahraneshin Samani A, Khoroushi M. **An overview of application of CAD/CAM in dentistry (Part I).** J Isfahan Dent Sch 2014; 10(1): 86-94.