

Configuración de las superficies de masticación mediante CAD/CAM: estado de la tecnología

Alessandro Devigus, Dr. med. dent.

En las últimas décadas se ha producido un importante avance en los métodos y materiales para la confección de restauraciones dentales. En virtud del incremento exponencial de la potencia de los sistemas informáticos, las superficies masticatorias digitales diseñadas en el ordenador están actualmente muy extendidas en la clínica y el laboratorio. Los programas CAD para el diseño de la morfología de las reconstrucciones han experimentado una mejora sustancial, y brindan diversas posibilidades de visualización tridimensional. Además de superficies oclusales procedentes de bibliotecas dentales, el cálculo biogénérico de la morfología dental se ha revelado como preciso y eficiente. Los factores limitadores de la transformación de datos digitales en restauraciones utilizables son las máquinas y las herramientas para el procesamiento de los distintos materiales como la cerámica, la resina o el metal. En el futuro, los sistemas de funcionamiento principalmente abrasivo serán complementados por sistemas aditivos, lo cual ampliará en gran medida las posibilidades de los sistemas CAD/CAM. En función de los materiales empleados, por ejemplo en restauraciones de cerámica las fisuras profundas en la superficie oclusal conducen a un debilitamiento innecesario de la estructura. Los sistemas actuales y las superficies oclusales diseñadas con su ayuda pueden calificarse como aptos para la aplicación práctica. Sin embargo, los costes de inversión relativamente elevados y los sistemas mayoritariamente cerrados impiden todavía hoy en día una mayor generalización de los sistemas CAD/CAM en la clínica y en el laboratorio.

(Quintessenz. 2012;63(2):161-9)

Correspondencia: A. Devigus.
Privatpraxis.
Gartematt 7, CH-8180 Bülach, Suiza.
Correo electrónico: devigus@dentist.ch

Introducción

En las últimas décadas se han registrado enormes avances en cuanto a los métodos y materiales para la confección de restauraciones dentales. Métodos convencionales en la prótesis dental, tales como los procedimientos de colado, modelado y sinterización para el procesamiento de metales, resinas y cerámicas, se han consolidado como tecnologías de laboratorio. La colaboración entre el protésico dental y el odontólogo posibilita, por medio de estos métodos, la confección fiable de restauraciones dentales de alta calidad. No obstante, el trabajo en el laboratorio protésico continúa requiriendo mucho tiempo y depende tanto de la experiencia como de las capacidades del protésico dental. La creciente demanda de restauraciones estéticas por parte de los pacientes ha conducido al desarrollo de materiales cerámicos altamente resistentes¹¹. Dado que estos nuevos materiales, sobre todo el dióxido de zirconio, no podían procesarse utilizando los métodos clásicos, se han introducido en la odontología tecnologías CAD/CAM para el diseño y el procesamiento. Sin embargo, el desarrollo de los sistemas CAD/CAM dentales se inició ya en los años 80 por parte de pioneros como Duret², Rekow^{12,13}, Mörmann⁹ y otros investigadores del mundo entero. Pero hubo de pasar mucho tiempo hasta que los sistemas CAD/CAM dentales lograron imponerse. Ello obedece a diversos motivos:

- costes relativamente elevados de adquisición de los aparatos;
- curva de aprendizaje pronunciada hasta garantizar la equivalencia de la fabricación CAD/CAM con la confección convencional (inversión de tiempo y material);
- precisión del registro de datos;
- morfología de los dientes y articulación digital;
- procesamiento digital y fabricación⁸.

Configuración de las superficies de masticación

El término oclusión designa cualquier contacto entre las arcadas dentarias de los maxilares superior e inferior. Un concepto de oclusión constituye un ideal, basado en la reflexión, el análisis y la experiencia adquirida, de cuándo y cómo los dientes deberían entrar en contacto entre sí o cuándo y cómo deberían eliminarse contactos. La perspectiva mecánica de las relaciones de contacto entre las arcadas dentarias fue la base del primer concepto oclusal de la «tripodización». Por entonces todavía se consideraba la oclusión como la constante estabilizadora mecánicamente de los dientes en la arcada dentaria para la referencia precisa y superficie de deslizamiento de los movimientos masticatorios. Cabe diferenciar entre tres conceptos de oclusión para la oclusión dinámica: la oclusión equilibrada bilateralmente, la oclusión equilibrada unilateralmente y la guía anterior o bien guía canina anterior. Además existen también tres conceptos para la posición del maxilar inferior en posición de oclusión terminal, esto es, en oclusión estática: «point centric», «long centric» y «freedom in centric»³.

En los años 80 se calmaron los esfuerzos científicos en torno a la oclusión estática y dinámica. No fue hasta finales de los años 90 cuando la investigación mostró un interés renovado por el tema de la gnatología, apoyado también por el avance de las posibilidades técnicas de los sistemas asistidos por ordenador. La configuración de las superficies de masticación en el ordenador obedece a los principios de la oclusión anteriormente descritos, tal como se conocen de prostodoncia. Sobre todo los conceptos tomados de la prótesis completa han sido y siguen siendo utilizados hasta hoy por numerosos fabricantes para la implementación de las formas dentales en el ordenador.

Tal como se describe más adelante en este artículo, los modernos sistemas CAD/CAM permiten procesar una gran variedad de materiales. La elección del material y el tipo de restauración influyen en el concepto de oclusión seleccionado. Los metales son relativamente fiables a este respecto, e incluso con grosores de capa reducidos son materiales resistentes que pueden adoptar cualquier forma y adaptarse a cualquier concepto de oclusión. Su principal inconveniente radica en la escasa aceptación por los pacientes, quienes prefieren las restauraciones de color dental.

Las cerámicas, cada vez más utilizadas en las restauraciones indirectas, deben presentar según las indicaciones de los fabricantes unos grosores de capa mínimos y homogéneos en la medida de lo posible. Esto aconseja renunciar a fisuras profundas en la configuración de su-

perficies oclusales de cerámica, a fin de no debilitar innecesariamente el material. Las cerámicas son más propensas a los problemas derivados de las sobrecargas o cargas erróneas (parafunciones, contactos prematuros). De ahí que numerosos autores postulen una guía de grupo en restauraciones de cerámica de gran envergadura, a fin de distribuir mejor las fuerzas. Este problema se ha manifestado sobre todo en restauraciones basadas en estructuras de dióxido de zirconio, en las que se han observado con frecuencia desprendimientos de la cerámica de recubrimiento. Sin embargo, éstos no son atribuibles únicamente a las cargas erróneas, sino que también se deben a un diseño incorrecto de las estructuras, las cuales no proporcionaban un apoyo correcto para la cerámica de recubrimiento.

En la práctica, los composites se utilizan sobre todo como material de obturación directo para restauraciones pequeñas a medianas, son más elásticos que las cerámicas y por lo tanto pueden trabajarse en grosores de capa menores, lo cual posibilita una configuración anatómica más refinada. En las restauraciones indirectas, los composites se utilizan frecuentemente en implantes en virtud de su «efecto amortiguador», y en la reconstrucción de denticiones abrasionadas se emplean como «prótesis provisionales de larga duración» diagnósticas, las cuales pueden adaptarse fácilmente a la situación oclusal individual.

Software CAD/CAM

El desarrollo de los sistemas CAD/CAM se basa en tres pilares: el registro de los datos, el procesamiento de los datos y la fabricación. El incremento exponencial de la potencia de los sistemas informáticos ha conducido a grandes avances en todos estos ámbitos. En este proceso se ha pasado de los modelados en cera convencionales a la reconstrucción CAD virtual de superficies dentales. La idea subyacente consiste en ahorrar tanto tiempo como costes y al mismo tiempo garantizar un nivel de calidad elevado. Para ello se aplican diversos conceptos. Pueden tomarse dientes estándar modelados por protésicos experimentados aplicando técnicas de encerado^{1,5}, escanear impresiones de dientes naturales y ponerlas a disposición como conjunto de datos o bien llevar a cabo la reconstrucción CAD empleando espátulas para cera y herramientas de software.

Tanto las reglas del encerado como los análisis morfológicos revisten en esencia un carácter puramente descriptivo y contienen pocos puntos de referencia métricos. A menudo, este concepto requiere adaptaciones circunstanciales que no pueden interpretarse fácilmente

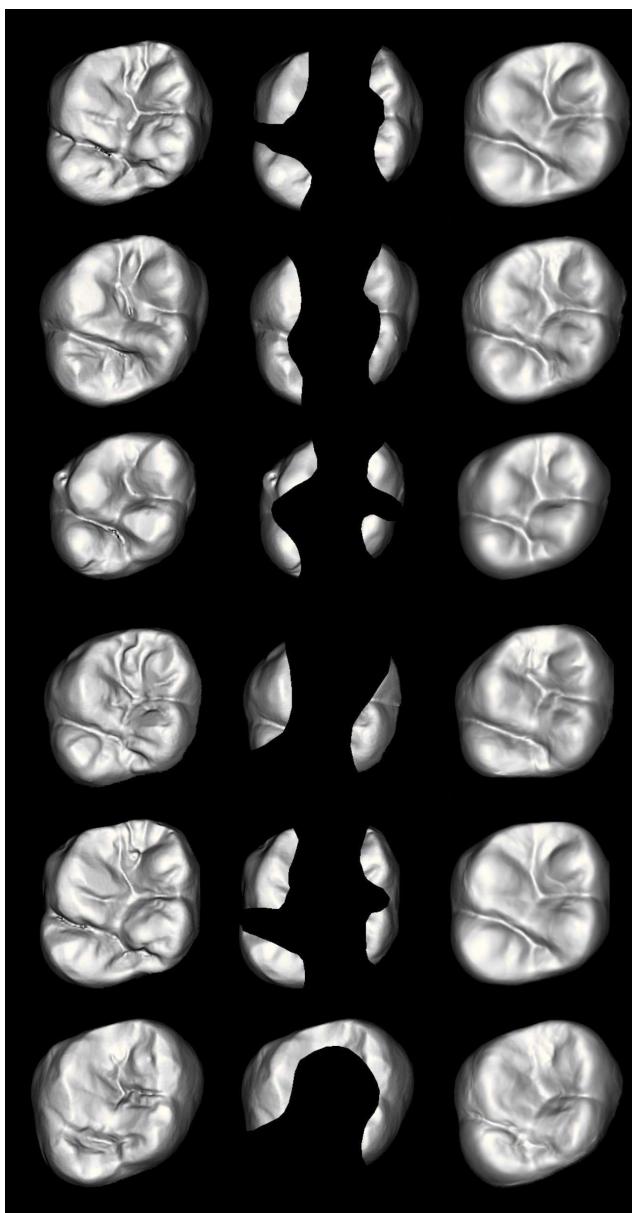


Figura 1. Ejemplos del cálculo biogenérico de superficies dentales (extraído de: Richter y Mehl¹).

en una pantalla bidimensional. No obstante, la configuración de la superficie masticatoria constituye un elemento importante en la odontología restauradora, desde el punto de vista tanto funcional como masticatorio. La superficie oclusal debería imitar una forma dental natural con cúspides y fisuras, que tenga en cuenta también la forma de los dientes contiguos y de los antagonistas. Los conceptos de configuración se corresponden con las ideas sobre el funcionamiento de una superficie masticatoria vigentes en cada momento⁴.

En los sistemas CAD/CAM basados en laboratorio, a menudo se confeccionan mecánicamente estructuras que a continuación el protésico dental recubre a mano y de manera convencional con cerámica o composite. El hecho de que la confección convencional de superficies masticatorias arroje buenos resultados se debe a que, además de las reglas aprendidas de la técnica de encerado, es sobre todo la experiencia la que decide qué superficie dental se adapta mejor a la situación clínica concreta con dientes contiguos y antagonistas. Para el proceso de reconstrucción automatizado probablemente no bastan las reglas del encerado por sí solas. Deben tomarse en consideración informaciones adicionales tomadas de la situación clínica concreta, a fin de alcanzar una superficie dental adaptada al resto de la morfología. Este concepto ha sido bautizado como «modelo dental biogenérico» en diversas publicaciones por el grupo en torno al Prof. Albert Mehl^{6,7,14}. El modelo dental biogenérico puede describir matemáticamente un tipo de diente determinado a partir de unos pocos parámetros. El punto de partida es una biblioteca con dientes libres de caries y abrasión medidos tridimensionalmente (300 a 400 superficies dentales por tipo de diente). La confección del modelo dental biogenérico tiene lugar en primer lugar mediante el cálculo de un diente promedio (fig. 1).

Las figuras 2 hasta la 5 muestran ejemplos de superficies oclusales tomadas de los programas de proveedores de software CAD actuales. La lista podría ampliarse indefinidamente, y la elección de los ejemplos no implica ninguna valoración de los distintos sistemas. El producto utilizado depende de preferencias personales y del sistema CAD/CAM escogido. Las superficies oclusales suelen proceder de bibliotecas dentales que contienen como base copias de dientes naturales o modelados en cera. La fidelidad al detalle es de muy alta calidad en todos los proveedores actuales. Actualmente todavía cabe criticar las deficiencias en cuanto a compatibilidad. Sin embargo, se están haciendo esfuerzos por lograr un intercambio de información más abierto entre los fabricantes de sistemas CAD/CAM. De esta manera, en el futuro podrían tener lugar el registro, el procesamiento y la producción con la combinación perfectamente adaptada a las necesidades personales, lo cual reduciría los costes y aumentaría la eficiencia.

Técnicas de confección

Actualmente, en la mayoría de sistemas CAD/CAM se utiliza una técnica de confección sustractiva¹⁷. Esto significa que se emplean máquinas dotadas de control numérico para mecanizar y tallar la geometría deseada de

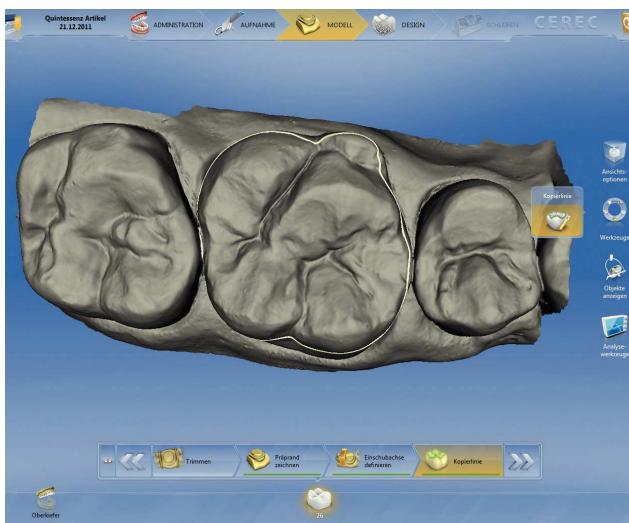


Figura 2a. Superficie dental «ideal» escaneada mediante el sistema Cerec.

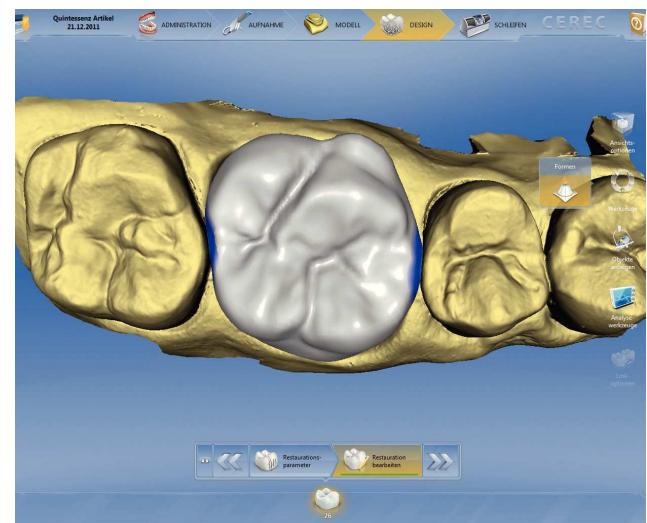


Figura 2b. Copia de esta superficie en el programa CAD.

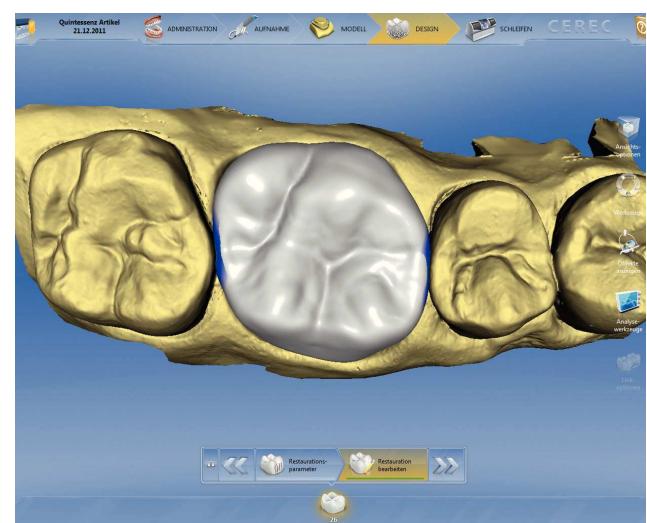


Figura 2c. Superficie masticatoria creada biogenéricamente, que se aproxima en gran medida a la forma de partida natural.

la pieza de trabajo mediante brocas afiladas, fresas, discos abrasivos y hojas de sierra a partir de un gran bloque de metal, resina, cera o cerámica. Sin embargo, este método comporta un cierto desperdicio de material, lo cual genera costes innecesarios dependiendo de la resina utilizada y puede ralentizar el proceso. A este respecto, las máquinas de gran tamaño ofrecen la ventaja de que a partir de piezas brutas de gran tamaño pueden mecanizarse varias piezas de trabajo en un paso de trabajo, y de este modo se puede tanto reducir el desperdicio como aumentar la productividad (fig. 6). Los métodos sustractivos tienen el inconveniente de que, por motivos

geométricos, no pueden confeccionarse formas complejas. La forma y el tamaño de las herramientas constituyen un factor limitador adicional. Con frecuencia, los dientes preparados no están claramente definidos geométricamente. La preparación o la forma de un diente puede llevar a los métodos de confección a sus límites tecnológicos (figs. 7 a 9).

Además de los métodos sustractivos, actualmente en la odontología se utilizan cada vez más los métodos aditivos. Para ello se aplican las denominadas tecnologías Rapid Prototyping. Se trata de procedimientos de confección que pueden plasmar directamente en restaura-

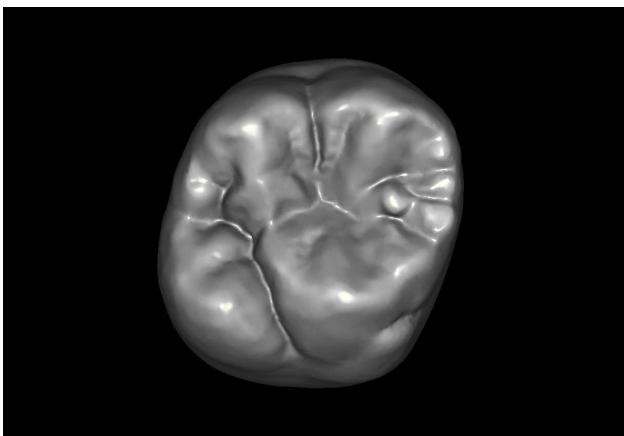


Figura 3. Superficie dental tomada de una base de datos dentales del software Zirkonzahn (empresa Zirkonzahn, Gais, Italia).

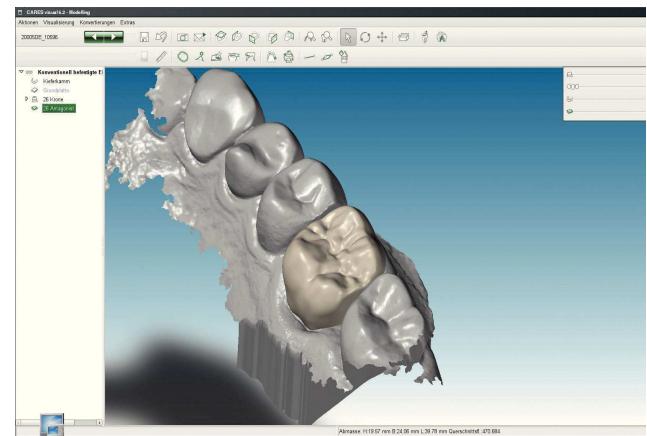


Figura 4. Superficie dental tomada de una base de datos dentales del software Cares (empresa Straumann, Friburgo, Alemania).

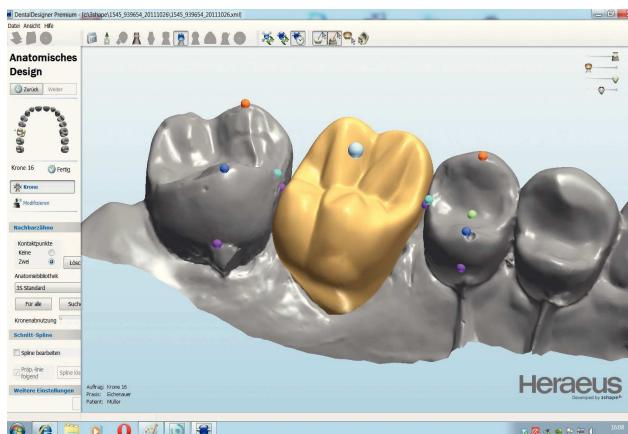


Figura 5. Superficie dental tomada de una base de datos dentales del software 3Shape (empresa 3Shape, Copenague, Dinamarca).



Figura 6. Gran pieza bruta de óxido de zirconio de una instalación de fabricación industrial (empresa Zirkonzahn).

Tabla 1. Tecnologías Rapid Prototyping y materiales que pueden procesarse con estas (extraído de: Quaas y Rudolph¹⁰)

Tecnología Rapid Prototyping	Materiales
Impresión 3D (3D Printing, 3DP)	Cera, termoplásticos
Electron Beam Melting (EBM)	Titanio, aleación de titanio (no se utiliza en la odontología, las tolerancias de fabricación son demasiado grandes, indicado para implantes médicos)
Fused Deposition Modeling (FDM)	Termoplásticos
Laminated Object Modeling (LOM)	Papel (no se utiliza en la odontología)
Sinterización láser selectiva (SLS o SLA)	Termoplásticos, polvo metálico (EM, EMF)
Estereolitografía (SLA)	Fotopolímeros



Figura 7a. Original y copia tallados mediante una fresaadora en la consulta (Cerec, empresa Sirona Dental Systems, Bensheim, Alemania).



Figura 7b. Corona tallada y glaseada procedente de una instalación de fabricación industrial (empresa Zirkonzahn).



Figura 8. Unidad fresadora para la consulta (MC XL, empresa Sirona Dental Systems) con herramientas para la confección de modelos de yeso.



Figura 9. Unidad fresadora de gran tamaño (empresa Zirkonzahn) con herramientas sustituibles automáticamente.

raciones los datos CAD existentes. Para ello se construyen aditivamente por capas restauraciones y otras reconstrucciones. Para el uso en la odontología están indicadas diversas tecnologías Rapid Prototyping, las cuales pueden procesar distintos materiales¹⁰ (tabla 1). Los métodos aditivos complementarán y sustituirán en el futuro próximo a los sustractivos, dado que son capaces de reproducir cualquier forma. Actualmente, dichos métodos se centran en la producción de piezas de resina, como las plantillas de perforación. Se está trabajando intensivamente en formas cerámicas estratificadas individualmente.

Además cabe distinguir entre sistemas con confección centralizada y descentralizada. Algunos sistemas ofrecen también ambas opciones. La digitalización de las preparaciones tiene lugar extraoralmente con ayuda de un escáner. En la confección descentralizada se confecciona la restauración in situ en el laboratorio protésico o en la consulta. En la medida en que lo permita el software CAD, es posible comprobar y modificar rápidamente el diseño. Además de máquinas para la confección de las piezas de trabajo, puede que sea preciso adquirir asimismo hornos de sinterización especiales para la confección de, por ejemplo, coronas

parcialmente sinterizadas de dióxido de zirconio. La fabricación centralizada posibilita la confección de las restauraciones en condiciones industriales controladas (por ejemplo, condiciones de sala blanca). Como consecuencia puede prescindirse de las inversiones en costosas máquinas fresadoras necesarias para el laboratorio o la consulta.

Además de la confección de reconstrucciones, los métodos de fabricación sustractivos y aditivos se utilizan también para la producción de modelos de yeso o resina.

Materiales

Hoy en día, los sistemas CAD/CAM permiten procesar un gran número de materiales¹⁶. Los grupos de materiales mencionados a continuación pueden procesarse como estándar en las máquinas CAD/CAM dentales.

Metales

Actualmente se procesan con sistemas CAD/CAM el titanio, aleaciones de titanio y aleaciones de cobalto-cromo. Debido a la eliminación de una gran cantidad de material, el fresado de aleaciones de metales nobles no resulta rentable debido a los elevados costes del material.

Resinas

Las resinas se utilizan tanto indirecta como directamente. En los métodos indirectos se fressan estructuras a cera perdida calcinables y a continuación se utilizan en la técnica de colado. Está más extendida la utilización en el procedimiento directo, mediante tallado a partir de bloques. Estos están disponibles en versión monocroma o en variantes estratificadas cromáticamente. Pueden fabricarse estructuras de coronas y puentes para prótesis provisionales de larga duración, así como prótesis provisionales de larga duración configuradas de forma totalmente anatómica¹⁵.

Piezas brutas de cera fresables

Además de la empresa alemana Wieland Dental (Pforzheim), actualmente otros fabricantes ofrecen también piezas brutas de cera fresables para la técnica a cera perdida. Estas ceras se fressan fácilmente y no se hinchan. El material constituye una alternativa muy rápida y económica al trabajo «clásico» sobre el modelo. Se calcina sin dejar residuos.

Cerámicas vítreas

Los bloques de cerámica vítreas tallables forman parte de varios sistemas CAD/CAM para la confección de inlays, onlays, carillas, coronas parciales y coronas completas. Además de bloques monocromos, varios fabricantes ofrecen piezas brutas estratificadas multicromáticas a partir de las cuales pueden tallarse coronas totalmente anatómicas estéticamente aceptables. Básicamente, en cuanto a los bloques de cerámica vítreas tallables cabe distinguir entre cerámicas de feldespato (por ejemplo, Vitablocs Mark II, empresa Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Alemania), cerámica vítreas reforzadas con leucita (por ejemplo, IPS Empress CAD, empresa Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Alemania) y cerámica de disilicato de litio (por ejemplo, IPS e.max CAD, Ivoclar Vivadent).

Cerámicas de infiltración

Los bloques tallables de cerámicas de infiltración se trabajan en estado cretáceo poroso y a continuación se infiltran con vidrio de lantano. Todas las piezas brutas para cerámicas de infiltración proceden del sistema In-Ceram (empresa Vita Zahnfabrik).

Cerámicas oxídicas de alto rendimiento

Actualmente se ofrecen piezas brutas de dióxido de aluminio y dióxido de zirconio para sistemas CAD/CAM.

Óxido de aluminio

La cerámica oxídica de alto rendimiento óxido de aluminio (Al_2O_3) se talla en un estadio presinterizado y a continuación se sinteriza a la máxima densidad en el horno de sinterización a 1.520 °C. Este material puede utilizarse para cofias de coronas en la zona de los dientes anteriores y posteriores, piezas primarias así como estructuras de puentes anteriores de tres piezas. Las estructuras talladas pueden colorearse individualmente utilizando In-Ceram AL Coloring Liquid (empresa Vita Zahnfabrik).

Dióxido de zirconio estabilizado con itrio

El dióxido de zirconio estabilizado con itrio (ZrO_2 , Y-TZP) se caracteriza por sus excelentes propiedades mecánicas. Su elevada resistencia a la flexión y resistencia a la fractura brindan la posibilidad de utilizarlo como material para la estructura de coronas y puentes, así como para pilares de implante individuales. Dado

que en el pasado se han descrito como problemáticos los desprendimientos de la cerámica de recubrimiento sobre estructuras de dióxido de zirconio, se comercializan como alternativa coronas y puentes en forma de restauraciones de óxido de zirconio de contorno completo. Recientemente, diversos fabricantes ofrecen materiales de dióxido de zirconio que poseen un mayor grado de translucidez que las piezas brutas disponibles hasta ahora. Estos materiales están disponibles en diversas coloraciones, de modo que también pueden emplearse en regiones estéticamente exigentes.

Conclusiones

Los sistemas CAD/CAM actuales y las superficies oclusales confeccionadas con su ayuda pueden calificarse como aptos para la aplicación práctica desde la perspectiva tanto estética como funcional. Diversos materiales como cerámicas, resinas y metales pueden procesarse para restauraciones de estructura o de contorno completo. Sobre todo las restauraciones de contorno completo configuradas anatómicamente continúan avanzando, ya que pueden confeccionarse de manera rentable y eficiente en una calidad estéticamente aceptable mediante métodos CAD/CAM. Dado que el precio de los trabajos protésicos se ha convertido actualmente en un factor central para la planificación del tratamiento, la automatización podría ayudar a producir de forma más rentable y a reducir el atractivo de la confección manual en países con salarios bajos. Sin embargo, los costes de inversión relativamente elevados y los sistemas mayoritariamente cerrados impiden todavía hoy en día una mayor generalización de los sistemas CAD/CAM en la clínica y en el laboratorio.

Bibliografía

1. Caesar HH, Schulz D. *Naturgemäße Aufwachtechnik*. Hanau: Heraeus Kulzer, 1991.
2. Duret F, Preston JD. CAD/CAM imaging in dentistry. *Curr Opin Dent* 1991;1:150-154.
3. End A. *Statische und dynamische Okklusionstheorien. Untersuchung zu bestehenden Theorien, Vorkommen im natürlichen Gebiss und deren Anwendung im Artikulator*. München: Zahnmed Diss, 2010.
4. Kordaß B, Velden P. Der individuelle okklusale Kompaß. Computergestützte Aufzeichnungen der okklusalen Bewegungsfunktion für die Aufwachtechnik nach Polz und Schulz. *Dent Labor* 1996;44:1595-1601.
5. Lotzmann U. *Die Prinzipien der Okklusion*. München: Neuer Merkur, 1981.
6. Mehl A, Blanz V, Hickel R. Biogeneric tooth: a new mathematical representation for tooth morphology in lower first molars. *Eur J Oral Sci* 2005;113:333-340.
7. Mehl A, Blanz V, Hickel R. A new mathematical process for the calculation of average forms of teeth. *J Prosthet Dent* 2005;94:561-566.
8. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J* 2009;28:44-56.
9. Mörmann WH, Brandestini M, Lutz F, Barbakow F. Chair side computer aided direct ceramic inlays. *Quintessence Int* 1989;20:329-339.
10. Quaas S, Rudolph H. CAD/CAM-gestützte Fertigungsverfahren. In: *Jahrbuch Digitale Dentale Technologien* 2011. Leipzig: Oemus Media, 2011:87-90.
11. Raigrodski AJ. Contemporary materials and technologies for all-ceramic fixed partial dentures: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2004;92:557-562.
12. Rekow ED. Dental CAD/CAM systems: what is the state of the art? *J Am Dent Assoc* 1991;122:43-48.
13. Rekow ED. A review of the developments in dental CAD/CAM systems. *Curr Opin Dent* 1992;2:25-33.
14. Richter J, Mehl A. Evaluation zur vollautomatischen Inlayrekonstruktion mittels biogenerischem Zahnmodell. *Int J Comput Dent* 2006;9:101-111.
15. Schweiger J, Beuer F. CAD/CAM-gefertigte Langzeitprovisorien. *Quintessenz Zahntech* 2007;33:558-568.
16. Schweiger J, Beuer F, Eichberger M. Fräse- und schleifbare Materialien – ein Gesamtüberblick über die im CAD/CAM-Verfahren bearbeitbaren Werkstoffe. *Zahnarzt & Praxis* 2008;11:362-364.
17. Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater* 2011;28:3-12.