

[Resumen]

Los intentos de simplificar la reproducción de superficies de masticación se han visto intensificados en paralelo a la generalización de la técnica de procedimiento asistida por ordenador, a fin de acelerar el acceso a superficies de masticación anatómicamente utilizables. Las superficies de masticación procedentes de bibliotecas dentales constituían siempre un compromiso, y en algunos casos requerían considerables retoques y medidas de tallado en el marco de la colocación clínica. Actualmente han aparecido programas de software que calculan las superficies de masticación específicas para el paciente. Este artículo describe el funcionamiento de la configuración de superficies de masticación biogénica asistida por ordenador.

Palabras clave

CAD/CAM. Biogénica. Modelo dental biogénico. Configuración de superficies de masticación biogénica asistida por ordenador. Superficies de masticación específicas para el paciente. Oclusión.

(Quintessenz Zahntech. 2010;36(8):1084-92)

La superficie de masticación biogénica generada digitalmente

Bastian Heinloth

Las superficies de masticación revisten gran importancia para el funcionamiento de los procesos de movimiento en la mordida de las superficies oclusales, toda vez que influyen también en la mecánica de la articulación temporomandibular. De ahí que se dedique una cantidad de tiempo considerable a la configuración de las superficies de masticación en el marco de la rehabilitación de defectos dentales en la prótesis dental. Los intentos de simplificar la reproducción de superficies de masticación se han visto intensificados en paralelo a la generalización de la técnica de procedimiento asistida por ordenador. El objetivo era acelerar el acceso a superficies de masticación anatómicamente utilizables. Para ello, en los últimos diez años se han utilizado bases de datos dentales almacenadas en sistemas CAD/CAM, las cuales ofrecían una gran cantidad de formas dentales y superficies oclusales para situaciones de dentición juveniles y desgastadas. Estas propuestas de superficies de masticación constituían siempre un compromiso, y en algunos casos requerían considerables retoques y medidas de tallado en el marco de la colocación clínica.

Introducción

Actualmente han aparecido programas de software que, a partir del escaneo de un diente de referencia –realizado en boca del paciente–, calculan una superficie de masticación natural específica para el paciente.

El autor de este artículo describe el funcionamiento de la «configuración de superficies de masticación biogénica» asistida por ordenador.

La reconstrucción de superficies de masticación

La «arquitectura» de las superficies de masticación no es un producto aleatorio de la naturaleza, sino que sigue un «plano de construcción» genético. Así pues, las superficies de masticación son, al igual que las huellas dactilares, ejemplares únicos que diferencian a cada persona. Al ser responsable de la oclusión funcional, la reconstrucción de superficies de masticación requiere mucha experiencia en el marco de una rehabilitación protésica. Por regla general, el encerado protésico se lleva a cabo pragmáticamente, conforme a modelos aprendidos. En cambio, la base de datos dentales en sistemas CAD/CAM ofrece propuestas que se basan exclusivamente en dientes artificiales protésicos y deben adaptarse individualmente a cada caso concreto. Todos estos métodos constituyen soluciones de compromiso que, si bien arrojan resultados satisfactorios en la práctica, suponen una considerable inversión de tiempo durante la fase de modelado o para medidas de tallado durante la colocación clínica. La configuración de superficies de masticación asistida por ordenador mediante el software biogénico V3.80 (para Cerec AC e inLab, Sirona, Bensheim, Alemania) reproduce individualmente para cada paciente el diente fiel al modelo natural. De este modo, tanto inlays como onlays, coronas parciales y coronas son dotados de superficies oclusales específicas para el paciente con propiedades funcionales.

Requisitos

El objetivo de la reconstrucción conservadora y protésica consiste en restablecer las superficies exteriores ausentes y especialmente las superficies de masticación de la sustancia dental perdida, de tal manera que la reconstrucción se integre armoniosamente en la situación de dentición existente conforme a criterios estáticos y funcionales. Las superficies de masticación se diferencian por distintas características, tales como posiciones y formas de cúspides, recorrido de las fosas, la medida en que están pronunciados los rebordes marginales y las proporciones de longitud y angulares. Estas características ejercen una influencia determinante sobre la función del aparato masticatorio. Una oclusión persistentemente insuficiente puede dañar los antagonistas, el periodonto y la articulación temporomandibular.

De ahí que se deba otorgar gran atención a la configuración de superficies de masticación en las restauraciones conservadoras y protésicas.

Mientras que, hasta ahora, en la prótesis dental se reproducía manualmente la superficie de masticación conforme a modelos aprendidos, la informática señaló un nuevo camino para un software que reproduce automáticamente superficies de masticación naturales. El procedimiento tenía como propósito automatizar el mayor número posible de pasos del proceso, a fin de ahorrar los máximos costes posibles y garantizar al mismo tiempo un elevado nivel de calidad. El método aplicado hasta ahora, en el que profesionales experimentados modelaban dientes estándar «típicos» para, a continuación, medirlos y posteriormente ofrecerlos como conjunto de datos, o bien realizar la reconstrucción CAD empleando espátulas para cera virtuales y herramientas de software, no había

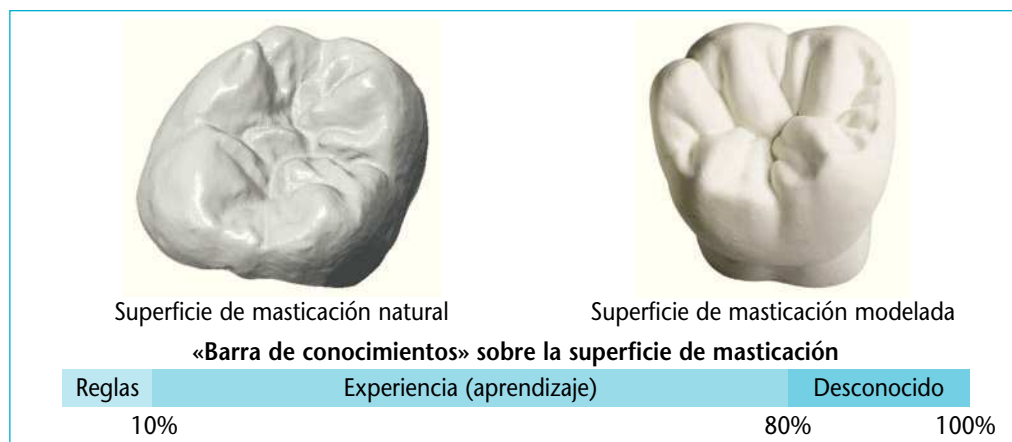


Fig 1. Representación esquemática del estado de los conocimientos sobre la morfología dental: tan solo una pequeña porción de la superficie de masticación está determinada por reglas métricas y puede utilizarse para la reconstrucción por ordenador, mientras que una gran parte se basa en la experiencia del usuario. Incluso así, con frecuencia es posible distinguir si se trata de una superficie dental modelada o natural.

arrojado la solución perfecta en el pasado. Por un lado, son necesarias demasiadas interacciones para mejorar la propuesta virtual, y por otro lado, los pasos de modelado en la pantalla 2D son laboriosos y difíciles de interpretar espacialmente.

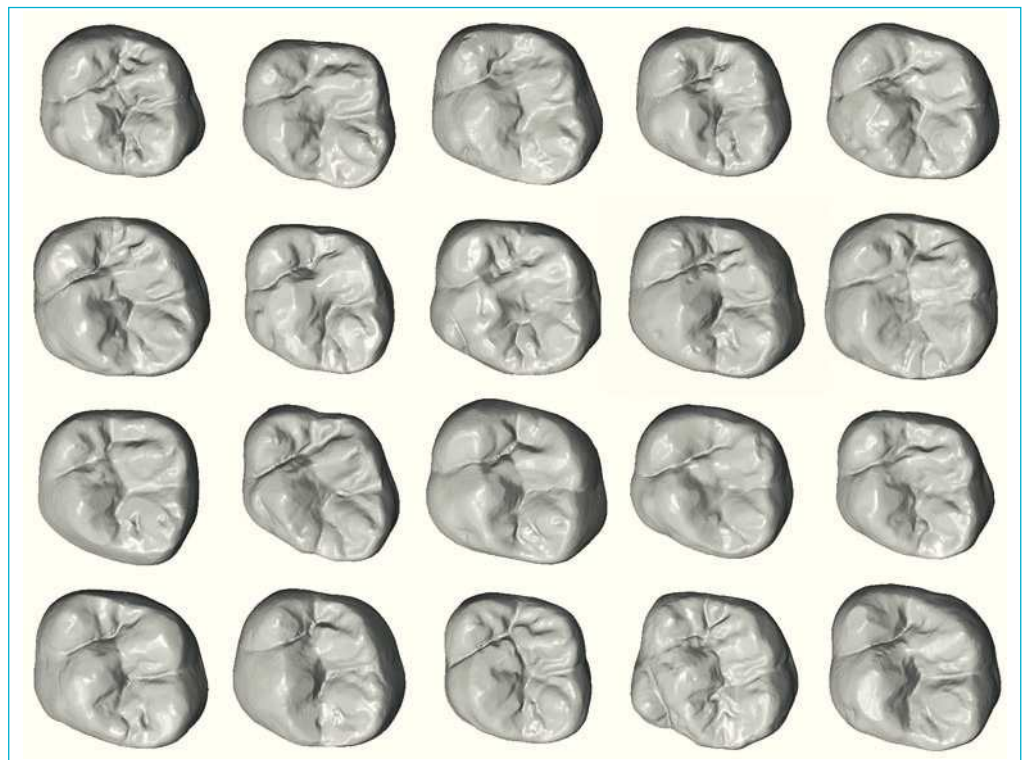
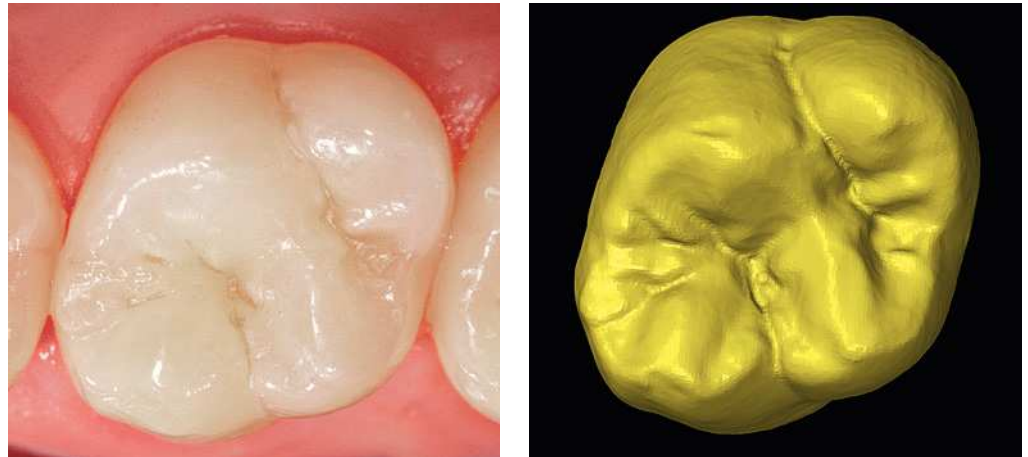
Si se pretende trasladar al ordenador el proceso de encerado para que este se desarrolle automáticamente, deben conocerse los principios métricos y matemáticos de la morfología de la superficie de masticación.

Si se analizan los conceptos de la técnica de encerado, se llega a la conclusión de que todas las reglas del encerado son de índole puramente descriptiva y contienen pocos puntos de referencia métricos, por ejemplo para el recorrido de las fosas, la profundidad de las fosas, la distancia intercuspídea, el ángulo de inclinación de las cúspides. El hecho de que las superficies de masticación confeccionadas convencionalmente resulten satisfactorias se debe a que, entre las reglas aprendidas de la técnica de encerado, se cuenta sobre todo la experiencia para determinar, por ejemplo, qué aspecto tiene una buena superficie dental o qué superficie dental se ajusta a los dientes adyacentes y los antagonistas en la situación clínica concreta. El estado actual de los conocimientos sobre morfologías dentales podría ilustrarse a grandes rasgos por medio de una barra de conocimientos (fig. 1): el 100% correspondería a una descripción completa de la superficie de masticación. El porcentaje que hasta ahora puede ser utilizado por el ordenador como información evaluable métricamente se sitúa alrededor del 10%, mientras que aproximadamente del 60 al 80% procederían de la experiencia acumulada por el «modelador» en cuestión.

Para el proceso de reconstrucción automatizado no bastan las reglas del encerado, sino que deben aprenderse los parámetros para una superficie dental natural y para la superficie dental mejor adaptada a la situación clínica concreta. Los resultados de las neurociencias y de la automatización de máquinas demuestran que los algoritmos matemáticos complejos son capaces de reproducir este proceso de aprendizaje. Para ello fueron necesarios los siguientes pasos de proceso:

- Creación de una biblioteca dental a partir de superficies dentales naturales
- Determinación totalmente automática de las características correspondientes
- Cálculo del diente de algoritmo
- Cálculo de las desviaciones respecto del diente de algoritmo
- Análisis de las desviaciones más frecuentes

Figs 2a y 2b. Para la biblioteca dental se tomaron impresiones de superficies dentales libres de caries y obturaciones de sujetos de ensayo, y se midieron tridimensionalmente los modelos de yeso con una resolución aproximada de 100.000 puntos de medición.



Figs 3. Ejemplos de superficies dentales de primeros molares en el maxilar superior. Actualmente se conocen alrededor de 400 superficies dentales por cada tipo de diente posterior.

Superficies de masticación específicas para el paciente mediante biogenética

Se entiende por superficies de masticación biogénicas la descripción matemática de morfologías de oclusión naturales. La biogénica se introdujo tomando impresiones para modelos de yeso en sujetos de estudio libres de caries y obturaciones, y midiendo tridimensionalmente estos modelos mediante un escáner láser para la creación de la biblioteca dental (figs. 2 y 3). En el siguiente paso se detectaron, mediante un software de aprendizaje, las distintas características, tales como puntas de cúspides, fosas, rebordes marginales, vertientes de cúspide, así como zonas mayores de la superficie, y se compararon con todos los dientes de la base de datos. Una vez comparadas todas las características de un diente con los demás dientes, puede calcularse el diente de algoritmo. Se obtiene una superficie en la que quedan, reforzadas, las características que están presentes en casi todas las superficies dentales de un tipo de diente, mientras que

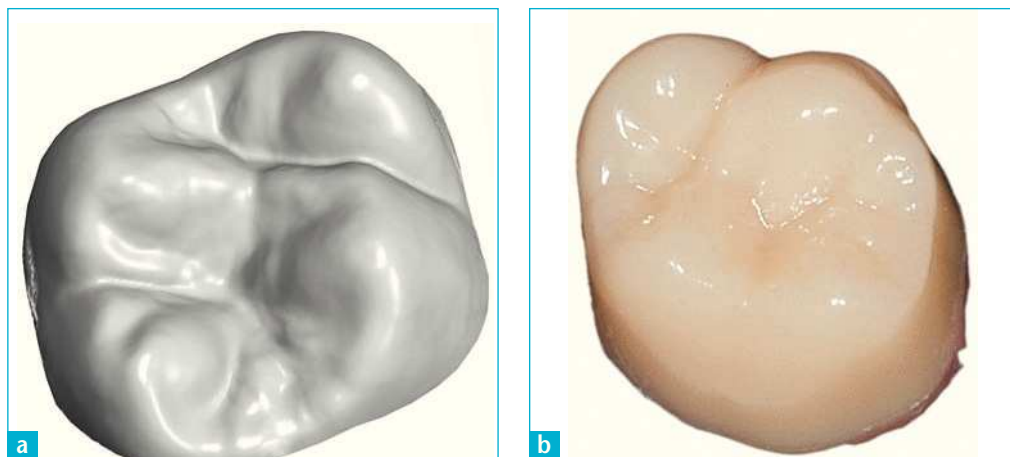


Fig 4. **a** Diente de algoritmo calculado tras el análisis de correspondencia: en este caso, el primer molar superior promedio. Se representan sobre todo las características que comparten la mayoría de los primeros molares en el maxilar superior. Estas características y las dimensiones métricas se hallaron sin ningún conocimiento previo sobre morfologías dentales, y por lo tanto pueden calificarse como objetivas. **b** Un diente protésico, confeccionado mecánicamente a partir de los datos del diente de algoritmo (a) (en este caso no se tuvieron en cuenta las superficies proximales).

se «promedian» las características más variables. El resultado debe interpretarse como un representante «típico» de un tipo de diente determinado.

Este primer cálculo matemático de un diente de algoritmo se ilustra mediante el ejemplo del primer molar superior (fig. 4).

En un paso posterior pueden determinarse las variaciones morfológicas que se dan en la naturaleza, mediante el análisis de las desviaciones y las diferencias entre el diente promedio y cada diente individual de la base de datos. La ventaja decisiva en este método reside en el hecho de que pueden determinarse con exactitud las probabilidades de cada una de las desviaciones, para así diferenciar las variaciones de forma más típicas de las variaciones menos frecuentes. La combinación entre el diente de algoritmo y las desviaciones ponderadas con probabilidades se denomina «modelo dental biogénico».

Este procedimiento posibilita por primera vez la descripción matemática de una gran parte de la superficie de masticación natural. Otra importante ventaja del modelo dental biogénico reside en el hecho de que la sustancia dental remanente puede utilizarse como información para la reconstrucción automática, de modo que puede reconstruirse aproximadamente sin mayor interacción manual la superficie de masticación original. Según los ensayos de simulación, las desviaciones estándar de las reconstrucciones con respecto a la superficie de masticación original se sitúan alrededor de 144 μm en condiciones óptimas.

Actualmente, las propiedades de la biogénica se han acreditado en numerosas restauraciones confeccionadas mediante el sistema Cerec con distintas cavidades de inlay/onlay (fig. 5). La situación se vuelve especialmente complicada cuando existe poca sustancia dental remanente y, por consiguiente, puede utilizarse poca información (como puntas de cúspide, recorrido de fosas, etc.) para la reconstrucción. En este caso se continúa la reconstrucción partiendo de la sustancia dental remanente, sin escalonamiento y con la misma inclinación, esto es, de forma lisa en todo el margen de la preparación. Este es el motivo por el que el modelo dental biogénico aplicado hasta

Fig 5. La reconstrucción automática de cavidades de inlay simuladas mediante el modelo dental biogénico (ejemplos seleccionados). Arriba: diente original intacto. Centro: cavidad simulada. Abajo: superficie de masticación reconstruida automáticamente a partir únicamente de la sustancia dental remanente (centro). Las desviaciones indicadas (μm) constituyen una medida de las diferencias métricas entre la reconstrucción y el diente original en la zona de la cavidad.

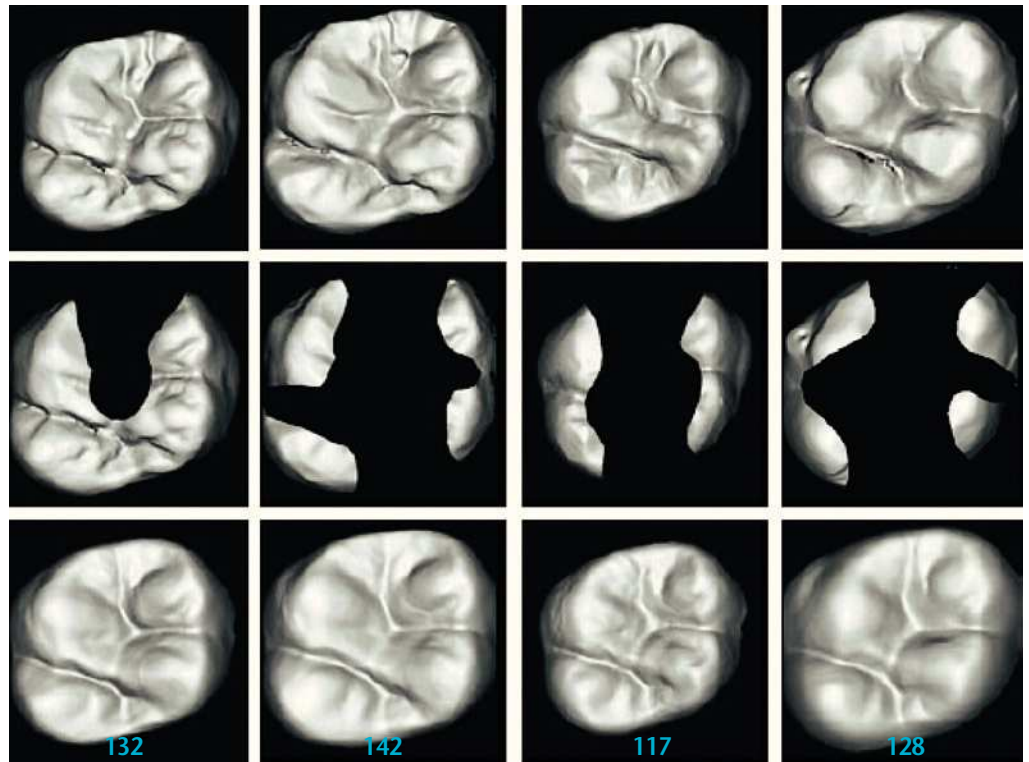
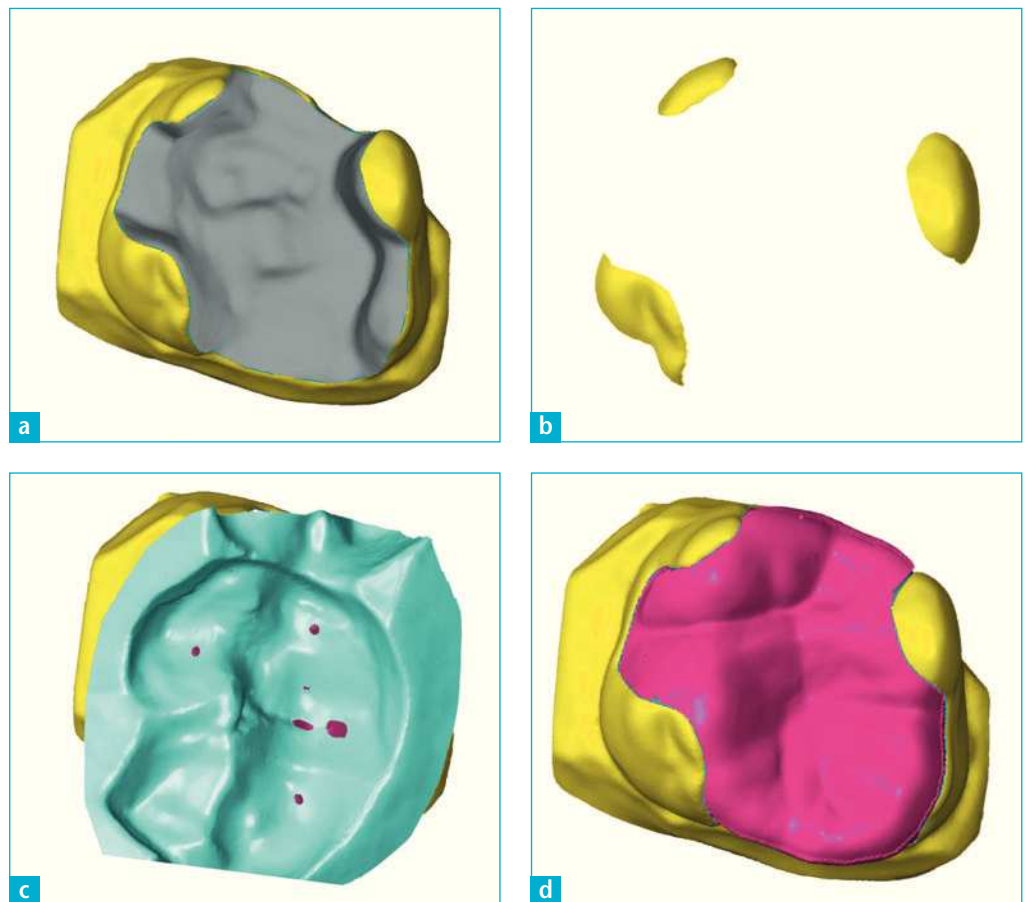


Fig 6. Reconstrucción de onlay automática creada con el modelo dental biogénico tomando en consideración al antagonista, la continuación constante y lisa de la sustancia dental remanente, y el respeto del grosor de capa mínimo: **a** situación de partida; **b** sustancia dental remanente como única información disponible para la reconstrucción; **c** cálculo totalmente automático de la superficie oclusal con propuesta automática de la distribución de los puntos de contacto; **d** superficie de masticación calculada con la morfología natural y funcional deseada (superficie de masticación de **c**, representada sin registro de mordida).



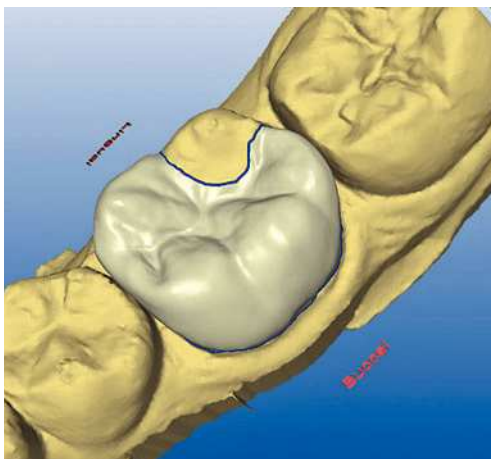
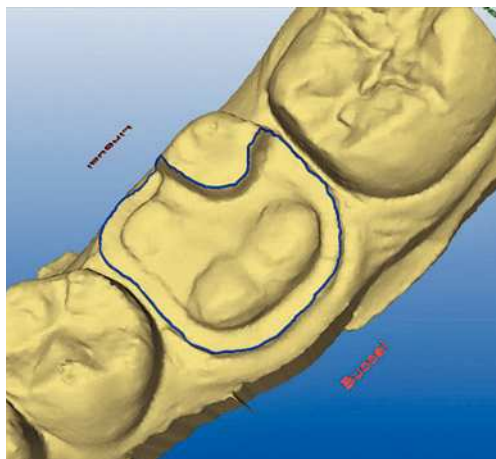


Fig 7. Situación de partida clínica para la reconstrucción de inlay/onlay biogénica totalmente automática (diente 6, maxilar inferior). Para ello se integraron en el software Cerec el software de reconstrucción y el modelo biogénico.

Fig 8. Se propone la reconstrucción sin más interacciones y de forma totalmente automática.

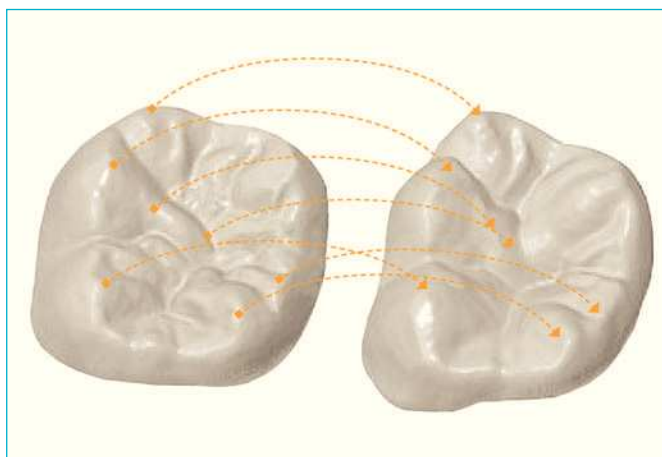


Fig 9. El análisis de características oclusales encuentra automáticamente regularidades entre distintas morfologías dentales naturales. De este modo pueden reconstruirse dientes ausentes de forma basada en conocimientos con ayuda del modelo biogénico.

ahora se centraba en restauraciones de inlay y onlay. En las figuras 6 a 8 se muestran ejemplos clínicos de una preparación de onlay que fueron reconstruidos de manera totalmente automática observando las condiciones marginales.

Una vez que el modelo biogénico se hubo acreditado para la reconstrucción oclusal de inlays, onlays y coronas parciales con Cerec AC, el objetivo pasó a ser la configuración automática de superficies de masticación individualizadas para coronas y puentes, utilizando también el sistema inLab para el laboratorio protésico. Para ello se utilizaban fórmulas matemáticas para describir morfologías de oclusión naturales obtenidas a partir del análisis de miles de superficies dentales intactas. De esta forma se pueden registrar todos los conceptos de oclusión vigentes hasta el momento. Además, bastan pocos parámetros y rasgos para describir las superficies de masticación presentes en la naturaleza para cada tipo de diente, y de este modo se puede crear un modelo dental biogénico para superficies dentales completas, esto es, tomando en consideración la superficie de masticación y todas las superficies laterales. Dado que en las preparaciones de coronas ya no existen puntos de referencia de la superficie de masticación original, es recomendable derivar puntos de referencia a partir de la morfología dental de otros dientes, tales como dientes adyacentes o antagonistas. Para ello no solo se confeccionó un modelo biogénico a partir de dientes posteriores libres de caries y obturaciones

Descodificación de superficies dentales ausentes

para cada tipo de diente, sino que además se determinaron dentro de una dentición correlaciones entre los distintos tipos de dientes y se integraron en el modelo biogénico. Si se parte de la premisa de que cada diente de una dentición individual debe presentar una morfología determinada para garantizar una interacción armoniosa en la función masticatoria, y de que esta morfología ya está determinada antes de la erupción del diente, los métodos anteriormente mencionados pueden descifrar las regularidades determinadas en gran medida genéticamente.

En consecuencia, es posible reconstruir un diente ausente analizando la morfología de los dientes adyacentes o de los antagonistas (fig. 9).

Los estudios han demostrado, por ejemplo, que simplemente a partir de la morfología de un primer molar superior intacto puede calcularse la morfología del primer molar inferior de tal manera que esta se aproxime en gran medida a la superficie de masticación original. Estas desviaciones se sitúan en torno a 180 μm y son menores que las que suelen registrarse en modelados en cera realizados por protésicos dentales experimentados. Hasta donde llegan los conocimientos del autor, el modelo biogénico permite por primera vez, a diferencia de otros conceptos oclusales, una determinación métrica –y por consiguiente apta para el proceso informático– de la superficie dental ausente, la cual con un alto nivel de probabilidad se integra armoniosamente en la situación de mordida individual concreta. En principio, a partir de todo diente posterior intacto de la dentición puede recabarse información sobre el diente ausente. Sin embargo, cuanto

Ejemplo de una reposición con coronas con Cerec AC y software biogénico V3.80



Fig 10. La situación de partida en la región 47 tras el tratamiento endodóntico y preparación para una corona de tres cuartos.



Fig 11. Preparación para la toma intraoral mediante CEREC Bluecam.



Fig 12. La impresión de la mordida antagonista, el diente de referencia para el escaneo oclusal fue el diente 46.

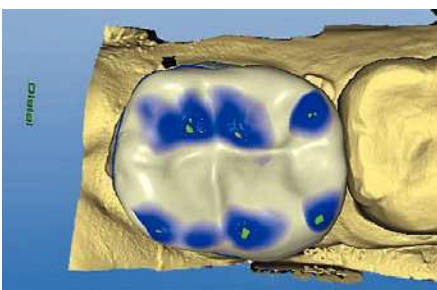


Fig 13. Diseño biogénico de la superficie de masticación en la región 47, calculado individualmente a partir de las características de oclusión específicas del paciente.



Fig 14. La corona tallada totalmente anatómica de cerámica de feldespato (VITA Mark II) antes del pulido.



Fig 15. El diente 47 fue restaurado con la corona en una sesión.

Ejemplo de una reposición con corona con superficies de masticación biogénicas, ejecutada mediante el sistema inLab en el laboratorio protésico

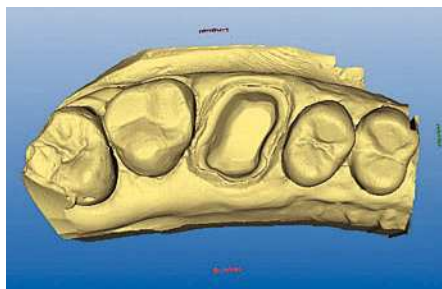


Fig 16. Modelo de cuadrantes con preparación generado a partir de imágenes individuales.

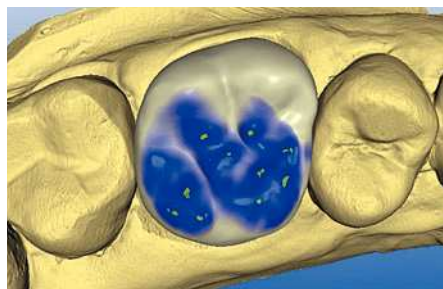


Fig 17. La reconstrucción virtual de la forma dental y la superficie de masticación calculada biogénicamente.

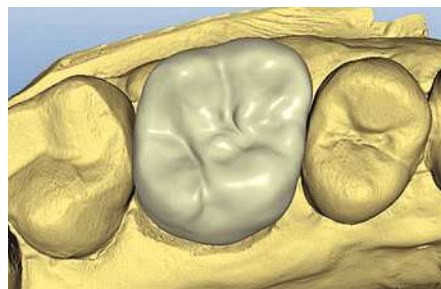


Fig 18. La corona definitiva con superficie de masticación, cuya función ha sido comprobada tras la reducción de los contactos prematuros, lista para el proceso de tallado como corona monolítica mediante el sistema inLab.

más alejado de la situación esté el diente, tanto menores son las correlaciones y tanto menor es la información que puede recabarse sobre el diente original; por ejemplo, un molar ofrece más detalles que un diente anterior en el maxilar inferior. No obstante, el factor determinante es que el modelo biogénico pueda determinar si la propuesta es típica del diente y por consiguiente constituye una propuesta apta para la mayoría de los casos. Esto incrementa la seguridad de las propuestas de reconstrucción y al mismo tiempo posibilita un alto grado de automatización. En todos los demás conceptos no basados en conocimientos, así como al utilizar bases de datos dentales puras, no puede garantizarse esto, lo cual influye negativamente en la automatización, la facilidad de uso y la calidad.

El software biogénico trabaja de forma básicamente automática. En la práctica, en caso de una restauración de corona se escanean fotoópticamente mediante la unidad de captación la preparación, es decir, el muñón de la corona, y como referencia el diente adyacente (figs. 10 a 15). A continuación, se escanea el antagonista correspondiente. Un nuevo escaneo registra el muñón dental en la posición de oclusión terminal. Para ello se registra en tomas individuales la geometría de los maxilares superior e inferior. El margen de la preparación se define con unos pocos clics del ratón, y a continuación se procede al cálculo de la corona adecuada. El análisis de correspondencia compara las distintas características del diente de referencia y calcula en pocos segundos, a partir de las regularidades halladas, la forma dental y una superficie masticatoria individual para una corona. Las secuencias del cálculo son visibles en el «cine biogénico». El resultado puede controlarse visualmente en tres dimensiones y la oclusión puede comprobarse funcionalmente. Todavía existe la posibilidad de introducir pequeñas modificaciones, como la penetración de los puntos de contacto o la altura del reborde marginal. La confección automática de restauraciones, configurada conforme a criterios funcionales, trabaja de forma directa y específica para el paciente en casi todas las situaciones clínicas. La utilización en el ámbito clínico y en la práctica ha demostrado que las superficies oclusales creadas biogénicamente son mucho más naturales y poseen mejores

Superficies de
masticación naturales

propiedades funcionales que las obtenidas a partir de la biblioteca dental. Asimismo, se ha podido demostrar que ya apenas son necesarias medidas de tallado oclusales y que la colocación definitiva puede limitarse al pulido intraoral.

Conclusión El software biogénico V3.80 está disponible para los sistemas Cerec e inLab, y por consiguiente también para el laboratorio protésico (figs. 16 a 18). Permite al protésico dental reconstruir automáticamente en pocos segundos superficies de masticación específicas para el paciente conforme al modelo natural.

Nota de la redacción El artículo se basa en ponencias del Prof. Dr. Dr. Albert Mehl, Universidad de Zúrich, presentadas en el Congreso Odontológico de Hesse 2008 y durante el Simposio CAD/CAM de la Universidad de Zúrich en marzo de 2009.

Fotografías Figuras 1 a 3 y 5 a 9: Mehl; figura 4: Merz; figuras 10 a 15: Rauscher; 16 a 18: Heinloth.

Correspondencia CDT Bastian Heinloth.
Dental-Labor Heinloth.
Tessiner Straße 128, 81475 Múnich, Alemania.
Correo electrónico: bastian@heinloth.eu