

Articulador y oclusión virtuales

Bernd Kordass, Prof. Dr. med. dent.

La aplicación cada vez mayor de soluciones CAD/CAM en odontología y en el laboratorio requiere de soluciones y conceptos distintos basados en una cadena de procesos asistidos por ordenador, de la que no se prescindirá siempre que sea posible. Especialmente en los casos en los que se pretenden confeccionar restauraciones que incluyen varios dientes o montajes de dientes artificiales, resulta indispensable obtener una representación de la oclusión dinámica y estática por ordenador. Estas innovaciones se asocian a los conceptos de «articulador virtual» y «oclusión virtual». Los conceptos actuales y su aplicación serán aclarados y comentados en detalle en el presente artículo. Se ha observado que los articuladores virtuales son capaces de proporcionar unos resultados de buenos a excelentes en la región clínicamente relevante. Es de esperar que las soluciones digitales para optimizar la oclusión mediante CAD/CAM empleando un articulador virtual o un dispositivo semejante pueden contribuir a mejorar la calidad oclusal media de las prótesis dentales.

(Quintessenz. 2007;58(5):531-9)

Introducción

Es evidente que el futuro de la odontología y de la medicina oral y maxilofacial –al igual que el de muchas otras

especialidades y disciplinas– va unido de forma elemental a la utilización de la tecnología informática y a las aplicaciones de la «informática dental». Aunque puede haber opiniones divididas sobre la eficacia y lo razonable del uso de algunos productos, servicios y ofertas de la «informática dental», ya no nos es posible imaginarnos prescindir de ella como una de las opciones decisivas para el futuro. La cualificación profesional del odontólogo y del protésico dental están vinculadas a la informática dental, y lo van a estar cada vez más.

Uno de los nexos más importantes entre la consulta y el laboratorio es el articulador. Éste permite reproducir la situación del paciente reduciéndola a algunos componentes y características esenciales. Los conceptos para lograr una reproducción «cercana a la biológica» han venido determinados siempre por las posibilidades técnicas, pero también económicas, de una amplia gama de usos posibles. Hasta ahora han predominado las soluciones sencillas, fundamentalmente mecánicas, aunque no han faltado intentos de desarrollo de accionamientos electrónicos como los articuladores robotizados.

En primer lugar, la aplicación cada vez mayor de soluciones CAD/CAM en el proceso de confección de prótesis dentales requiere de soluciones y conceptos distintos basados en una cadena de procesos asistidos por ordenador, de la que no se prescindirá siempre que sea posible¹⁵. Si se «diseñan» las superficies masticatorias en el ordenador, entonces resulta razonable comprobar su función también en el ordenador. Las soluciones y estrategias que se ocupan de la oclusión funcional por ordenador están ligadas al articulador «virtual» y a la oclusión «virtual».

Se trata de soluciones informáticas gráficas en 3D avanzadas y conectadas a interfaces adecuadas en una interacción hombre-máquina que incorporan los procesos de percepción y de fabricación desarrollados hasta el momento y los trasladan al mundo informático; aunque también los reinterpretan y desarrollan conceptos completamente propios e independientes de los ámbitos de experiencia existentes hasta el momento. A modo

Director del departamento de Propedéutica odontológica y Odontología comunitaria.

Centro de Odontología, Medicina Oral y Maxilofacial de la Universidad Ernst-Moritz-Armdt.

Rotgerberstrasse 8, 17487 Greifswald. Alemania.

Correo electrónico: kordass@uni-greifswald.de

Director del Centro de Informática Aplicada, Formación Flexible y Telemedicina (CIFT/STZ, Centro Steinbeis-Transfer).

Walther-Rathenau-Strasse 49a, 17489 Greifswald. Alemania.

Director del Departamento de Radiología Odontológica.

Centro de Odontología y Medicina Oral y Maxilofacial de la Universidad Ernst-Moritz-Armdt.

Walther-Rathenau-Strasse 42, 17475 Greifswald. Alemania.

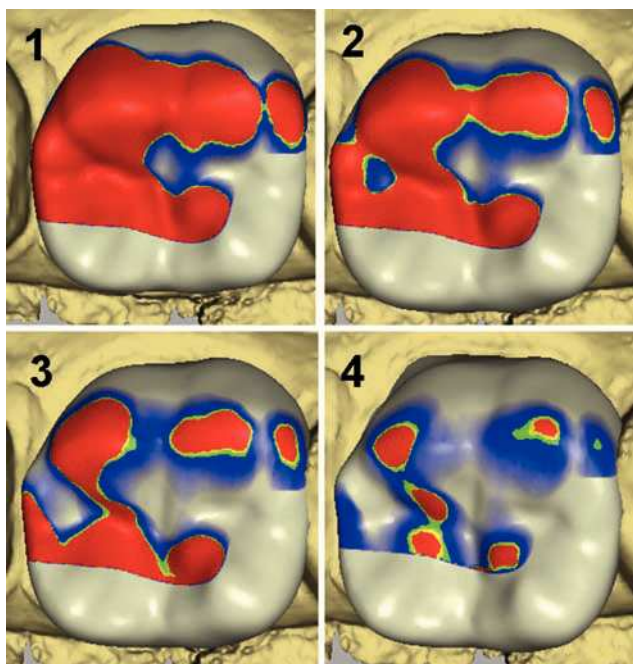


Figura 1. Ajuste oclusal con el Sistema Cerec para la optimización automática de la oclusión estática de una corona CAD con respecto a sus antagonistas. La imagen 1 se corresponde con un posicionamiento preliminar aproximado con zonas de solapamiento amplias (rojo); de la imagen 2 a la 4 se observa una mejora iterativa de los contactos oclusales.

de ejemplo, el proceso de ajuste oclusal del sistema Cerec reproduce una especie de tercera dentición en la que las superficies masticatorias preformadas de la base de datos dentales se aproximan a un antagonista y se estabilizan oclusalmente en máxima intercuspidad con una «vibración»^{9,19} (fig. 1).

El proceso se asemeja al montaje de dientes artificiales de las prótesis parciales, en el que las superficies masticatorias artificiales se deben colocar respecto a sus antagonistas naturales y ajustarse a éstas: en teoría también se podría simular el tallado selectivo de las superficies masticatorias de los antagonistas, pero resulta mucho más elegante hacer uso de las posibilidades específicas de la informática. Una vez realizado el posicionamiento oclusal preliminar de las superficies masticatorias Cerec, se puede «hacer vibrar» cada cúspide por separado. De esta forma se consigue un patrón de contactos oclusales que puede cumplir sin limitaciones el criterio de estabilidad oclusal. Naturalmente, el factor decisivo para lograrlo es la elección previa óptima de una superficie masticatoria. A tal efecto el modelado «biogénico» de las superficies oclusales ha demostrado ser especialmente útil¹⁶. Contando con las características de las superficies masticatorias de los dientes adyacentes o de los antagonistas, se

puede crear de forma automatizada una superficie masticatoria típica e individualizada que se ajusta estructuralmente de forma óptima a la arcada del paciente. Un registro funcional FGP (trayectorias funcionalmente generadas) adicional de la región referenciado y «coincidente» con la situación estática permite reducir automáticamente todos los puntos de la corona virtual que interfieren en el espacio de deslizamiento libre.

De esta forma, haciendo uso de los recursos informáticos, se puede conseguir un resultado funcional óptimo en las restauraciones unitarias. El procedimiento es más complejo cuando se trata de puentes de mayores dimensiones o de prótesis parciales o totales. En estos casos se requieren soluciones que tengan en cuenta los movimientos tridimensionales de la mandíbula como un todo, incluyendo los de las articulaciones temporomandibulares.

Articulador virtual

Normalmente el cometido de los articuladores mecánicos es representar, en restauraciones de mayores dimensiones, la oclusión dinámica, esto es, la secuencia de movimiento que realizan los dientes a lo largo de las superficies masticatorias. Frente a la situación real de la cavidad oral, en el articulador mecánico concurren una serie de imponderables condicionados técnicamente por el material y el método seguido que pueden influir negativamente sobre el resultado de la simulación de los movimientos (por ejemplo, el encaje perfecto de los registros en los modelos de escayola, el montaje espacial correcto de los modelos respecto a las articulaciones temporomandibulares y al cráneo, la expansión de la escayola o la deformación del material portador del registro). Además, existen muchos factores biológicos que afectan de forma decisiva a la cementación de la pieza protésica que tampoco se pueden reproducir mecánicamente, ni siquiera con un gran esfuerzo. Entre ellos se encuentran, por ejemplo, la variabilidad individual de la función masticatoria, la resiliencia de las estructuras blandas como el disco articular de la ATM humana, la movilidad periodontal de los dientes, la movilidad de la prótesis y las deformaciones de la mandíbula por los esfuerzos soportados por acción de las fuerzas masticatorias.

Por ello no es de extrañar que en los estudios de Tamaki et al²¹ sobre la reproducibilidad de los movimientos oclusales en el articulador, a pesar de haber realizado un registro individual y un montaje de los modelos con respecto al cráneo y a la ATM, tan sólo se pudieran reproducir en el articulador el 82% de los contactos protrusivos y el 90% de los laterotrusivos presentes in vivo. Únicamente fueron localizados correctamente en el articulador

el 66% de los contactos protrusivos y el 81% de los laterotrusivos. Además, el articulador mecánico creó nuevos contactos que no existían en la boca del paciente. Este resultado se corresponde con la experiencia de que sólo en casos excepcionales se pueden cementar restauraciones de grandes dimensiones sin necesidad de realizar un ajuste y un tallado selectivo en boca.

El articulador virtual trae consigo por primera vez la esperanza de llegar a reproducir la situación in vivo lo más fielmente posible, puesto que no se trata de limitarse a trasladar el articulador mecánico a la pantalla del ordenador y copiarlo informáticamente, sino que se completa o sustituye el articulador mecánico por uno virtual, que no sufre las mismas limitaciones mecánicas^{4,13,14,18}. A continuación se describen cuatro métodos de obtención de un articulador virtual.

1. Traslado de la situación del articulador mecánico al entorno de trabajo digital

Mediante este método el articulador mecánico se copia digitalmente de forma geométricamente exacta. Los elementos de ajuste del mismo se corresponden con el modelo mecánico y funcionan de la misma manera. Por lo general, se montan en primer lugar los modelos en un articulador mecánico y después éste se escanea tridimensionalmente teniendo en cuenta la geometría del zócalo, en la que la geometría del articulador se encuentra «congelada». Para los elementos de ajuste digitales se introducen los valores articulares medidos, como la inclinación de la trayectoria condílea y el ángulo de Bennett, o se simula un registro de mordida en posiciones excursivas⁸.

Esta técnica ofrece la gran ventaja de poder simular un articulador de valores medios. La desventaja reside en que las limitaciones generales de los elementos mecánicos de ajuste se transfieren digitalmente y no redundan en ninguna ventaja funcional real. Estas soluciones se centran principalmente en la mejora de la visualización y del análisis de las relaciones oclusales. Algunos ejemplos son el software para articulador de Szentpétery utilizado en el Sistema Digident, o el articulador virtual que ha sido desarrollado como prototipo conjuntamente entre la Universidad de Greifswald y el Instituto Fraunhofer de tratamiento de datos gráficos de Darmstadt^{1,20}.

Una variante de este concepto consiste en utilizar en la articulación, en lugar de elementos de ajuste geométricos, una trayectoria medida. El procedimiento es el mismo que se ha descrito anteriormente. Para la determinación de la relación intermaxilar también deben encajarse los registros de céntrica en los modelos de escayola an-

tes de la digitalización con los sistemas de escaneado¹⁷. La ventaja radica en que desaparecen las limitaciones generales de los elementos de ajuste estándar propios de los sistemas mecánicos.

2. Acoplamiento directo del escaneado en 3D de los maxilares a los registros de movimiento por ordenador

Con este método no es preciso emplear un arco facial ni montar los modelos en un articulador convencional. A lo sumo se necesitan pequeñas «piezas de acoplamiento» con las que referenciar lo más racionalmente posible el escaneado en 3D con los registros de movimiento (fig. 2). En sentido estricto, los articuladores virtuales de este tipo ya no funcionan como articuladores convencionales, sino que aprovechan las ventajas fundamentales de la informática. Una versión actual es el 3D Virtual Articulation System (3D-VAS), un sistema de articulación virtual en 3D que ha sido desarrollado como un módulo del software de análisis Winjaw de Jaw Motion Analysers (JMA, Zebris, Isny, Alemania), en colaboración con el Centro de Informática Aplicada, Formación Flexible y Telemedicina (CIFT) de la Universidad de Greifswald. Con este sistema las arcadas «virtuales» se pueden sincronizar en tiempo real con los movimientos del paciente, esto es, el paciente con los sensores JMA incorporados y el odontólogo pueden observar los movimientos directamente en la pantalla del ordenador (figs. 3a y 3b).

Las versiones del articulador virtual DentCAM son los sistemas predecesores de este módulo de software más moderno. DentCAM⁷ constituía un programa de demostración que poseía ya todas las funciones que deben integrarse lógicamente en un sistema de articulador virtual: «ventana de representación» para la vista global y la función de «zoom» para visualizar las superficies masticatorias en máxima intercuspidad, «ventana de puntos de contacto» para mostrar los puntos de contacto en oclusión estática y dinámica, y «ventana de planos de corte» para generar cortes o secciones a voluntad de las arcadas superior e inferior, a fin de poder analizar en detalle las relaciones oclusales durante la función (fig. 4). También permitía marcar en color la «intensidad» de la aproximación oclusal. Durante los movimientos sometidos a guía dentaria los contactos se iban «desplazando» sobre las superficies masticatorias; por primera vez fue posible detectar exactamente cuándo se produce qué contacto, con qué intensidad y en qué punto de la superficie oclusal.

Las ventajas residen en la racionalización del proceso y la reducción al mínimo de las influencias de naturaleza

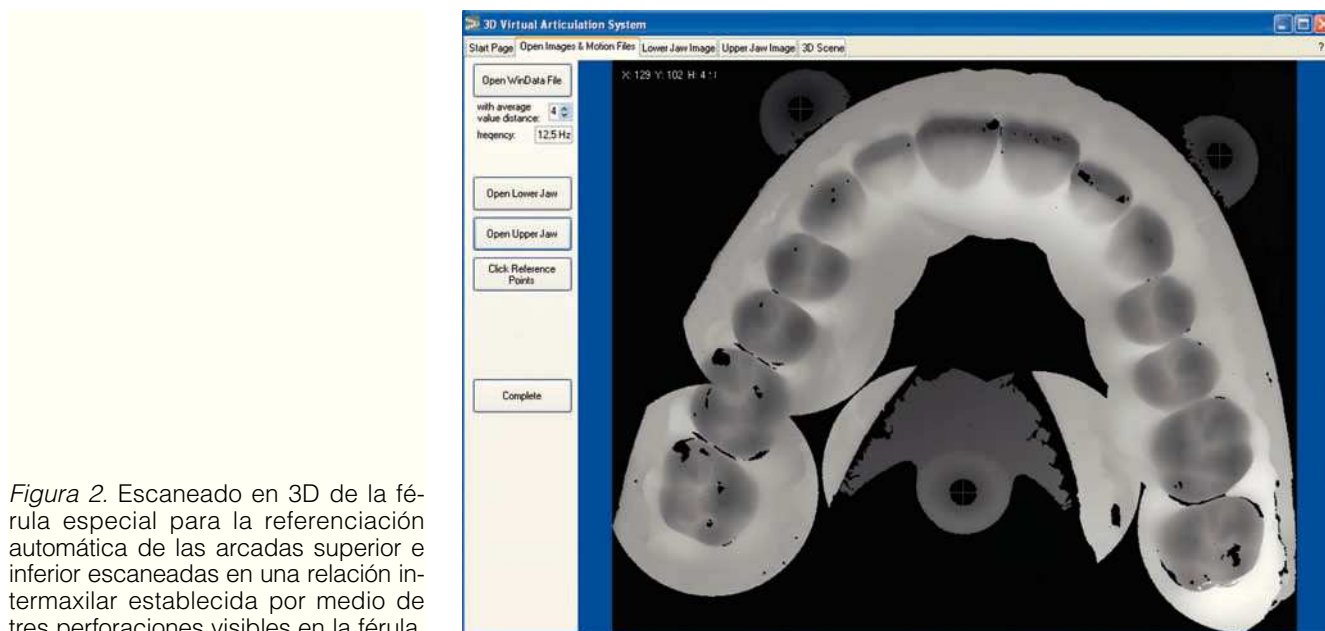


Figura 2. Escaneado en 3D de la férula especial para la referenciación automática de las arcadas superior e inferior escaneadas en una relación intermaxilar establecida por medio de tres perforaciones visibles en la férula.

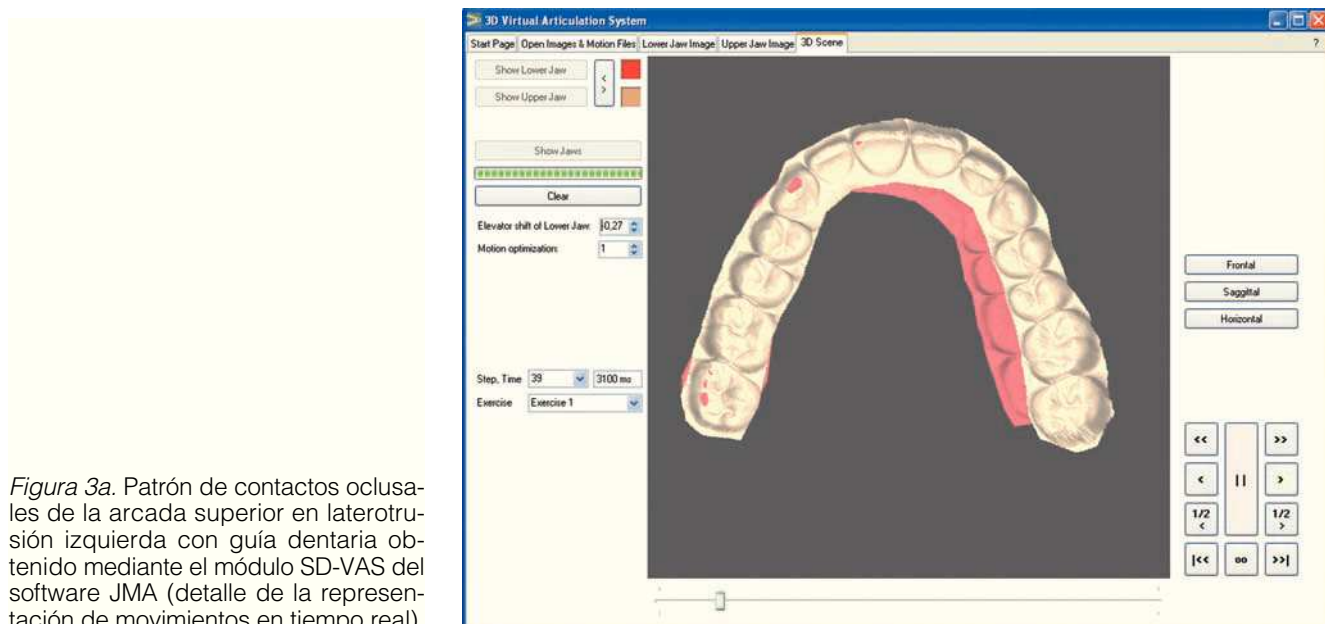


Figura 3a. Patrón de contactos oclusales de la arcada superior en laterotrusión izquierda con guía dentaria obtenido mediante el módulo SD-VAS del software JMA (detalle de la representación de movimientos en tiempo real).

mecánica ocasionadas por los pasos intermedios (como la colocación de registros en los modelos de escayola y el montaje de éstos).

3. Registro de todas las posiciones de intercuspidación teóricamente posibles de un modelo superior e inferior escaneado en 3D

Este procedimiento se corresponde con el «articulador manual», en el cual los modelos, partiendo de una posi-

ción de intercuspidación y utilizando la guía exclusivamente dentaria del modelo, se mueven unos sobre otros en todas las direcciones posibles sin ser montados en un articulador. De esta forma se definen los grados de libertad máximos posibles que resultarían con guía exclusivamente dentaria.

Su ventaja reside en que no se requiere ningún «articulador» real ni escaneado, sino que bastaría con utilizar el maxilar tridimensional escaneado del paciente. Entre sus desventajas hay que citar la gran complejidad

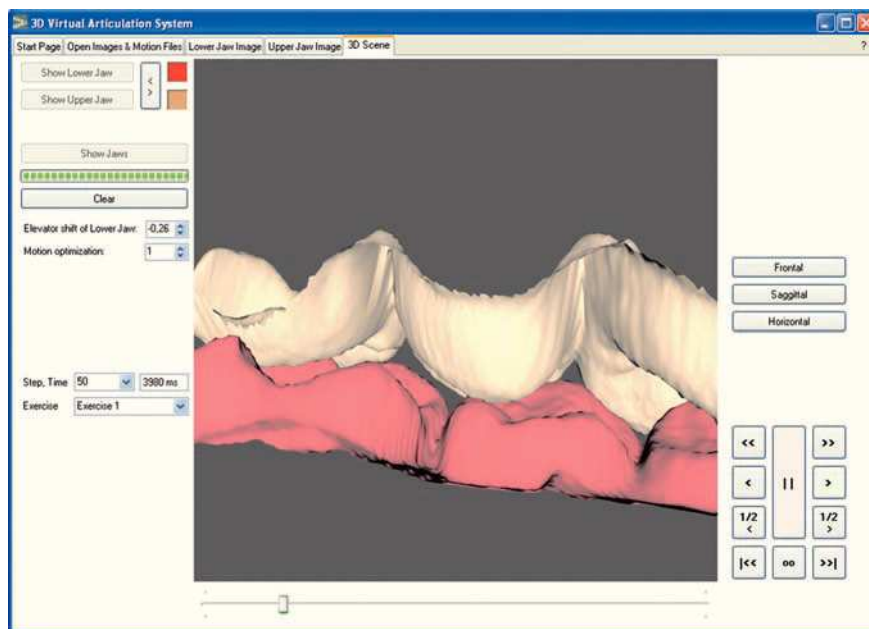


Figura 3b. Detalle aumentado de la secuencia de movimiento mostrada en la figura 3a, vista desde lingual.



Figura 4. Interfaz de usuario del software del articulador virtual DentCAM: dos ventanas a la izquierda que muestran los puntos de contacto estáticos y dinámicos del maxilar y la mandíbula con marcas de color para visualizar la «intensidad» de los puntos de contacto, una «ventana de representación» situada arriba a la derecha para la vista global, y cuatro ventanas adicionales abajo a la derecha para visualizar las trayectorias condíleas en los planos lateral y horizontal; la ventana de planos de corte está oculta y se abre cuando es necesario.

de los cálculos para simular todas las «posiciones de colisión» en intercuspidad y el hecho de que no se tienen en cuenta ni el juego articular ni la guía ejercida por la musculatura. El resultado sólo se puede calificar de «oclusión funcional» con muchas reservas. Un ejemplo de ello se encuentra en los enfoques y planteamientos para componentes de software relativos al Sistema Cicero²².

4. Desarrollo e implementación de un módulo de software de «caja negra» para aplicaciones CAD/CAM industriales

Los procesos industriales funcionan mejor cuando se automatizan en el mayor grado posible. También existe una serie de propuestas para llevar a cabo una automatización industrial de este tipo en la fabricación de coro-

nas y puentes. Weigl (Frankfurt) trabaja en uno de los conceptos más avanzados: la aplicación de procesos de escaneado y técnicas de fabricación de calidad (proceso de sinterizado o fresado) acoplados a componentes industriales de software para el reconocimiento automático de los márgenes de la preparación, detección automática de los contactos proximales adecuados y adaptación automatizada de la oclusión estática de acuerdo con un encerado adecuado. El sistema incluye además la optimización de procesos por implementación de algoritmos de IA (inteligencia artificial), mediante los cuales el ordenador «aprende» automáticamente de la experiencia y apreciaciones del protésico dental²⁴.

Un articulador virtual sólo puede ser tan exacto como permitan los componentes de los que está formado, o bien aquellos que proporcionan los datos para el cálculo y representación de la situación oclusal. Éste es el caso, por un lado, del sistema de escaneado 3D que digitaliza los modelos maxilares. Por lo que respecta a la «función del articulador», en sentido estricto, sólo se necesitan las superficies masticatorias y de la guía anterior, de modo que las imprecisiones causadas por flancos con ángulos «extremos», de muñones preparados, por ejemplo, resultan menos relevantes. Por otro lado son importantes la exactitud de la medida de los registros de movimiento y otros algoritmos de cálculo semejantes tales como las funciones de alisado o los procesos de coincidencia («matching»). En todas las preguntas «internas» sobre la exactitud de los distintos componentes, lo que realmente cuenta es el resultado final que se obtiene y si el método es adecuado o no para la aplicación clínica. Cuando se utilizan componentes optimizados para la introducción de datos, en principio se puede conseguir una exactitud global de la representación de los puntos de contacto oclusales de ± 50 a $70 \mu\text{m}$ o incluso mejor^{3,23}. Así, los errores estadísticos de los distintos componentes en relación con los diferentes puntos de contacto no necesariamente deben sumarse, sino que se pueden compensar entre sí.

En condiciones estándar, con el articulador virtual DentCAM se pudo conseguir una coincidencia excelente en cuanto a los puntos de contacto estáticos y dinámicos en comparación con el modelo del articulador convencional. Se obtuvieron índices de correlación intraclase (Intra-Class Correlation, ICC) superiores a 0,9 para puntos de contacto en relación céntrica, mediotrusivos y laterotrusivos⁷. Según Fleiss⁶, con un índice de correlación intraclase $\geq 0,75$ ya se puede hablar de una muy buena coincidencia. En diversos estudios clínicos elaborados para evaluar la reproducibilidad («interexaminer reliability»), se obtuvieron índices de correlación igual de satisfactorios, con 0,98 para relación céntrica, 0,97 para la-

terotrusión derecha y 0,92 para laterotrusión izquierda. El índice de correlación intraclase para estudiar la fiabilidad interevaluador («intraexaminer reliability») fue $\geq 0,96$ ⁷.

Por lo que respecta al articulador virtual, en general se puede contar con unos buenos resultados en la zona clínicamente relevante.

Montaje de dientes virtual

Los principios y métodos de la tecnología CAD/CAM pueden trasladarse a la fabricación de prótesis removibles. En cuanto a los aspectos informáticos, sigue abierto el interrogante de si es posible optimizar el montaje de dientes artificiales –que tanto tiempo y experiencia requiere–, por ejemplo, para una prótesis completa o parcial, mediante la identificación y análisis asistidos por ordenador de estructuras anatómicas como el centro de la cresta alveolar².

Con escáneres 3D se pueden registrar y visualizar digitalmente modelos de maxilares edéntulos, incluyendo la relación intermaxilar. De esta forma, los centros de las crestas alveolares junto con las zonas de tolerancia se calculan de forma completamente automática, al igual que las líneas interalveolares (fig. 5a) y sus puntos de intersección con el plano oclusal (fig. 5b); así como el diseño semiautomático del sector anterior. Los dientes artificiales del tamaño correspondiente se seleccionan de una base de datos y se engarzan en fila a lo largo de la «línea oclusal» como las cuentas de un collar (fig. 5c). El sistema permite al protésico dental valorar en la pantalla del ordenador la estética y la función del montaje de dientes propuesto y corregirlo ligeramente en caso necesario.

La transformación del montaje de dientes virtual en la prótesis definitiva puede realizarse de diferentes maneras. En un primer paso se pueden definir unos parámetros que son trasladados a una plantilla de posicionamiento a fin de lograr un montaje de dientes racional, con cuya ayuda se insertan los dientes artificiales en unas impresiones preformadas (Filou 28, Heraeus Kulzer, Hanau, Alemania; fig. 5d). Es de esperar que las prótesis completas se puedan fabricar de forma mucho más rápida y eficaz. Además, con ayuda de la informática se pueden simular de antemano las cargas mecánicas de las prótesis durante los movimientos masticatorios, así como optimizar las relaciones oclusales y la transmisión de las fuerzas. También es posible realizar un «matching» con datos de TC en formato Dicom para transferir las posiciones de los implantes a las férulas quirúrgicas.

En el futuro las prótesis totales y parciales, ya sean implantosoportadas o no, constituirán otra especialidad en la que se centrará la tecnología CAD/CAM.

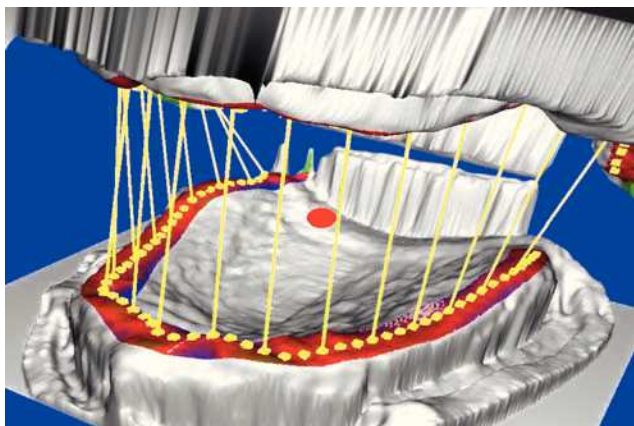


Figura 5a. Determinación automática de las líneas de la cresta alveolar de un maxilar edéntulo incluyendo el rango de tolerancia (zonas centrales de los maxilares en rojo) y representación de las líneas interalveolares en relación céntrica como puntos de referencia para el montaje de dientes artificiales.

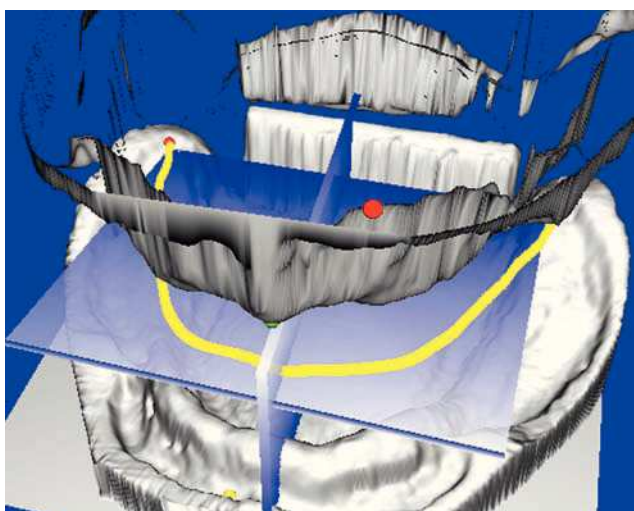


Figura 5b. Línea de intersección de todas las líneas interalveolares de la figura 5a con el plano oclusal.

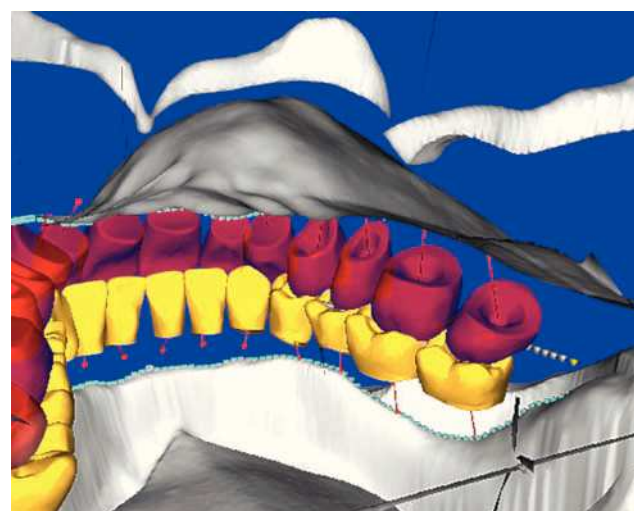


Figura 5c. Disposición de los dientes artificiales obtenidos de la base de datos dentales según los análisis de los modelos de las figuras 5a y 5b.

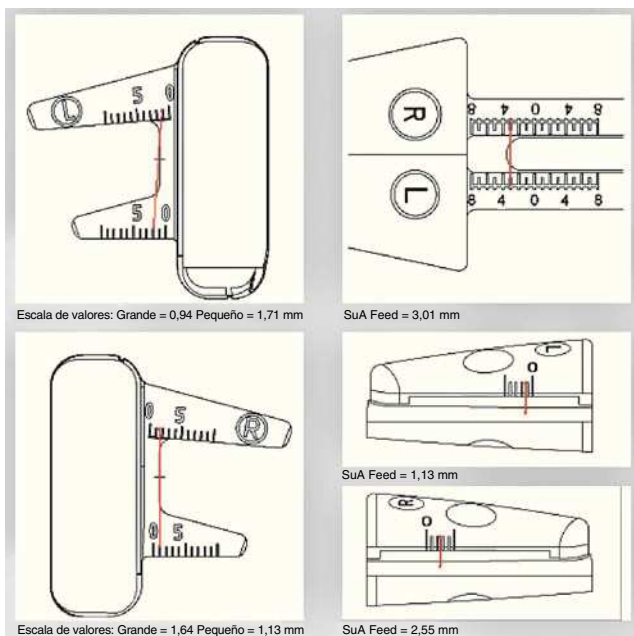


Figura 5d. Impreso para la colocación del «ala» del Filou 28 para la puesta en práctica del montaje de dientes virtual de la figura 5c.

Oclusión virtual

Para visualizar los patrones de contactos oclusales se suele utilizar papel de contacto de varios colores, papel de articular y ceras especiales. El Sistema T-Scan (Tekscan, South Boston, EE. UU.) es una solución digital que emplea una lámina sensible a la presión. Una alternativa informática la constituye el Sistema GEDAS¹⁰ (Greifswald Digital Analyzing System, Universidad de Greifswald).

Entre las arcadas se aplica preferentemente en capas finas una silicona de adición extradura con una transparencia adecuada. A continuación el paciente cierra la mandíbula llevándola a la posición de intercuspidación y mantiene la mordida fija hasta que el proceso de fraguado ha concluido. Los registros se escanean primero con luz transmitida (modo de transparencia) para visualizar los puntos de contacto oclusales, y a continuación con luz reflejada para mostrar los contornos dentarios. Para calibrar las características de transparencia se escanea también un patrón con espesores de capa ascendentes de forma gradual de 0 a 50 μm . Los espesores de capa del material de la toma de registro inferiores a 20 μm se interpretan como «contacto oclusal» y se asignan a las impresiones de los dientes en el escaneado con luz reflejada en su ubicación y extensión correctas (fig. 6). Los patrones de contactos resultantes se pueden analizar estadísticamente y se pueden exportar para generar un informe.

Para el odontólogo el sistema posee el potencial de un gestor de calidad oclusal por medio de la documentación y la comparación de los patrones de contactos oclusales antes y después del tratamiento con restauraciones dentales. El análisis de los registros de 2.597 pacientes

realizado dentro de un estudio representativo de la población denominado SHIP 1 (Study of Health in Pomerania) mostró que sólo el 40% de todos los dientes artificiales y el 38% de todos los puentes presentaban un contacto oclusal¹⁰.

Queda abierta la cuestión de si con ayuda de prótesis fabricadas con CAD/CAM será posible en el futuro mejorar la calidad media de la oclusión funcional. La condición sine qua non es naturalmente la correcta determinación de la relación céntrica de maxilar y mandíbula.

Relación céntrica digital («virtual»)

La complejidad de la determinación de la relación intermaxilar y del ajuste de la relación céntrica hace que parezca razonable intentar realizar por ordenador esta fase de trabajo fundamental en todos los tratamientos con restauraciones dentales¹². El ordenador valora y visualiza los datos medidos que registran unos sensores. En este contexto es conocida la determinación de la relación intermaxilar controlada por electromiografía y asistida por ordenador: los electrodos electromiográficos aseguran un registro de relación céntrica simétrico y prácticamente libre de fuerzas. Así mismo, en la determinación de la posición miocéntrica por activación simétrica de los aductores, contribuyen a lograr un registro de relación céntrica de definición exclusivamente muscular.

Sin embargo, para un articulador virtual resulta especialmente interesante una combinación de punta trazadora céntrica y visualización directa de las posiciones de las articulaciones. En este contexto, el nuevo sistema incorporado al equipo terapéutico Arcus Digma II (KaVo, Leutkirch, Alemania; fig. 7) es muy sofisticado. Permite evaluar las relaciones intermaxilares según el trazado de



Figura 6. Representación de los puntos de contacto de la arcada superior en intercuspidación habitual mediante el sistema GEDAS. Los espesores de capa en el registro oclusal de silicona inferiores a 20 μm son identificados como contactos oclusales y coloreados en verde claro.



Figura 7. Sistema de registro Arcus Digma II asistido por ordenador integrado en el equipo.

Figura 8a. Determinación de la relación céntrica intermaxilar con trazado de arco gótico (centro) controlando las posiciones articulares mediante las dianas derecha e izquierda.

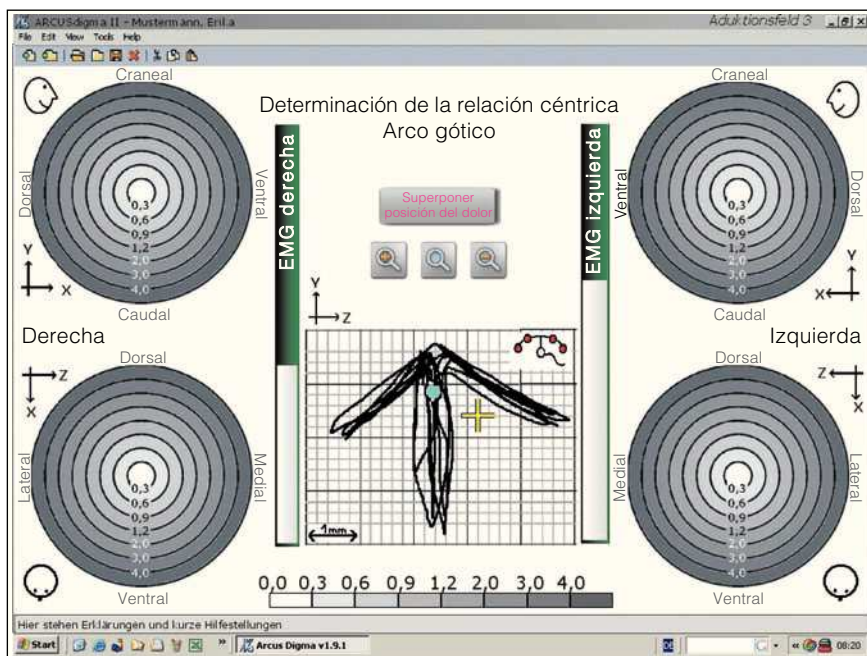
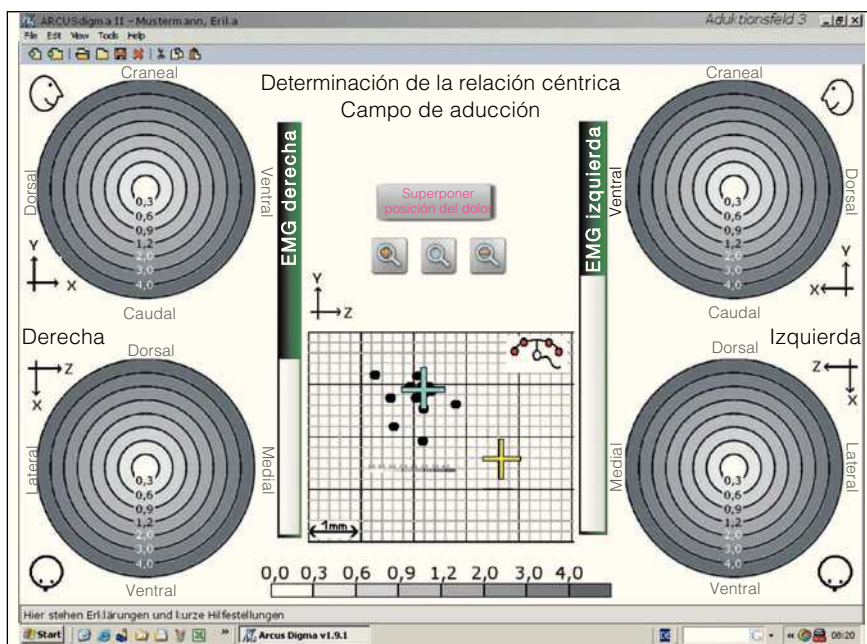


Figura 8b. Determinación de la relación céntrica intermaxilar mediante el registro del campo de movimiento de aducción con punta trazadora céntrica (centro) y control de las posiciones articulares mediante las dianas derecha e izquierda.



arco gótico (fig. 8a) o el registro del campo de movimiento de aducción (fig. 8b) con visualización directa de la posición real de las articulaciones.

En principio, de acuerdo con los fundamentos metrológicos, todos los sistemas de medida electrónicos con los que se puedan registrar tridimensionalmente los movimientos mandibulares sobre los tres ejes de traslación y rotación, incluyendo las coordenadas temporales, serían adecuados para la determinación digital de la relación cén-

trica¹². En este punto hay que citar, además del JMA (Zebra) y el sistema Arcus-Digma, el sistema Cadiax (Gamma, Klosterneuburg, Austria), el Freecorder BlueFox según Klett¹¹ y su predecesor String-Condylcomp (Dentron, Höchberg, Alemania), además del sistema ROSY⁵ (Edinger, Hamburgo, Alemania).

Naturalmente, para la determinación digital de la relación céntrica también resulta importante la precisión de los datos medidos no sólo de la zona articular, sino tam-

bién de la interoclusal, así como la viabilidad de la aplicación del método. Una ventaja especial del articulador virtual reside en que puede omitirse la transferencia a un sistema mecánico, por lo que en principio se evitan los errores mecánicos de transferencia.

Por último, hoy día la posibilidad de disponer digitalmente de todas las técnicas necesarias para el articulador virtual y de combinarlas entre sí es una cuestión que depende principalmente de las soluciones informáticas. Éstas serán las que determinarán si se pueden aprovechar al máximo las posibilidades que ofrece el medio digital.

Bibliografía

1. Bisler A, Bockholt U, Kordaß B, Suchan M, Voss G. Der Virtuelle Artikulator. *Int J Comput Dent* 2002;5:101-106.
2. Busch M, Kordaß B. Concept and development of a computerized positioning of prosthetic teeth for complete dentures. *Int J Comput Dent* 2006;9:113-120.
3. Delong R, Ko CC, Anderson GC, Hodges JS, Douglas WH. Comparing maximum intercuspal contacts of virtual dental patients and mounted dental casts. *J Prosthet Dent* 2002;88:622-630.
4. Dirksen D. Erfassung und Analyse von Tiefenbildern für Anwendungen in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Universität Münster: Habil.-Schrift, 2002.
5. Edinger D. Instrumentelle Funktionsdiagnostik mit dem Simulator ROSY. *Int J Comput Dent* 2003;6:37-49.
6. Fleiss JL. Statistical methods for rates and proportions. New York: Wiley, 1981.
7. Gärtner C, Kordaß B. Der Virtuelle Artikulator: Entwicklung und Evaluation. *Int J Comput Dent* 2003;6:11-24.
8. Hajtó J. Digitale Kauflächengestaltung heute und morgen. Vortrag und Abstract, Bad Homburg: 39. Jahrestagung der DGFD, 2006.
9. Hartung F, Kordass B. Comparison of the contact surface pattern between virtual and milled Cerec 3D full-ceramic crowns. *Int J Comput Dent* 2006;9:129-136.
10. Hützen D, Proff P, Gedrange T et al. Occlusal contact pattern – Population-based data. *Ann Anat* 2007;189:1016-1023.
11. Klett R. Freecoder BlueFox – ein neues Registriersystem für die Kiefergelenk- und Funktionsdiagnostik. Vortrag und Abstract, Bad Homburg: 39. Jahrestagung der DGFD, 2006.
12. Kordaß B. Computergestützte, instrumentelle Funktionsdiagnostik – Stand der Entwicklung, Möglichkeiten und Grenzen. *Int J Comput Dent* 2002;5:249-269.
13. Kordaß B, Gärtner C. Matching von digitalisierten Kauflächen und okklusalen Bewegungsaufzeichnungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999;54:399-402.
14. Kordaß B, Gärtner C, Söhnel A et al. The virtual articulator in dentistry – Concept and development. *Dent Clin North Am* 2002;46:493-506.
15. Luthardt R, Weber A, Rudolph H, Schöne C, Quaas S, Walter M. Konstruktion und Fertigung zahnärztlich-prothetischer Restaurationen – Grundlagenuntersuchungen zur dentalen CAD/CAM-Technik. *Int J Comput Dent* 2002;5:165-176.
16. Mehl A, Blanz V, Hickel R. Was ist der «Durchschnittszahn»? Ein mathematisches Verfahren für die automatische Berechnung einer repräsentativen Kaufläche. *Dtsch Zahnärztl Z* 2005;60:335-341.
17. Riquier R. Dynamische Kauflächenkorrektur. *Quintessenz Zahntechnik* 2001;27:1122-1128.
18. Schroeter PH von. Funktionelle computergestützte Kauflächenmodellation. Technische Universität Hamburg-Harburg: Med. Diss., 1999.
19. Späth C, Kordaß B. Optimization of the static occlusion by «occlusal surface settling» in the Cerec 3D software. *Int J Comput Dent* 2006;9:121-126.
20. Szentpétery A. CAD/CAM-Verfahren zur dynamischen Kauflächenkorrektur. *Dtsch Zahnärztl Z* 1998;53:666-669.
21. Tamaki K, Celar AG, Beyrer S, Aoki H. Reproduction of excursive tooth contact in an articulator with computerized axiography data. *J Prosthet Dent* 1997;78:373-378.
22. Van der Zel JM. Computermodellierter Zahnersatz mit dem Cicero-System. *Phillip J* 1996;13:227-235.
23. Wakabayashi K, Sohmura T, Takahashi J et al. Development of the computerized dental cast form analyzing system. *Dent Mater* 1997;16:180-190.
24. Weigl P. CAD-basierte Rekonstruktion von Okklusion. Vortrag, Bad Homburg: 39. Jahrestagung der DGFD, 2006.