

Tomografía volumétrica digital: ¿perspectivas para el odontólogo general?

Robert Mischkowski, Priv.-Doz. Dr. med. Dr. med. dent.^a, Philipp Scherer, Dr. med. Dr. med. dent.^a, Jörg Neugebauer, Dr. med. dent.^a, Lutz Ritter, Dr. med.^b, Martin Scheer, Dr. med. Dr. med. dent.^c, y Joachim E. Zöller, Prof. Dr. med. Dr. med. dent.

En los últimos años la radiología dental ha experimentado un avance decisivo con la introducción de la tomografía volumétrica digital (TVD). Esta tecnología permite representar tridimensionalmente las regiones oral y maxilofacial y en Alemania se asocia de forma expresa al diagnóstico odontológico. En los últimos meses se ha producido un notable incremento de la presencia de estos sistemas en el mercado. Los conceptos de aplicación y los parámetros de diseño difieren de un sistema a otro. La introducción de detectores de imagen de alta resolución y el desarrollo de nuevas aplicaciones para la visualización de los datos gráficos hacen que el diagnóstico tridimensional por medio de radiografías volumétricas digitales haya dejado de circunscribirse a las indicaciones quirúrgicas y que se esté aplicando cada vez más en la odontología general.

(*Quintessence Int.* 2007;58(9):915-24)

Introducción

Desde mediados de los años setenta del siglo pasado la radiografía panorámica constituye, junto con la radiografía periapical, el método radiográfico estándar para el radiodiagnóstico dental. Esta técnica radiográfica es hoy día un elemento clave en muchos procesos de toma de

decisiones terapéuticas y permite visualizar de forma fiable las estructuras anatómicas del sistema masticatorio. Sin embargo, como sucede con las radiografías convencionales, la radiografía panorámica presenta carencias decisivas a la hora de arrojar información sobre detalles específicos, dado que la imagen resultante es la suma de las estructuras superpuestas^{8,13,14}.

El diagnóstico y tratamiento de una serie de cuadros clínicos en odontología requieren un diagnóstico radiográfico en más de un plano. El tamaño reducido de algunas estructuras y su elevada proximidad en la región orofacial hacen que en ocasiones sea necesario realizar una segunda radiografía que permita delimitar con exactitud la extensión del hallazgo.

Desde la introducción de la tomografía transversal (TT) en la radiología dental, los tomógrafos multifunción panorámicos también pueden reproducir imágenes en tres dimensiones. La tomografía transversal se aplica por ejemplo en el diagnóstico de afecciones de las ATM, de dientes desplazados, de los senos paranasales y en implantología, y mejora notablemente la representación de los detalles de las áreas correspondientes. Sin embargo, nunca llegó a establecerse como sistema radiográfico estándar.

El principal inconveniente de esta técnica es su característica falta de nitidez, lo que impide que se pueda dar respuesta a cuestiones clave en especial en situaciones anatómicas muy complejas. La escasa popularidad de la tomografía transversal se debe así mismo a la necesidad de realizar costosas modificaciones en los equipos multifunción necesarias para la toma de las radiografías. Por otro lado, la reproducción poco habitual de las imágenes hace difícil que el observador las pueda interpretar correctamente⁷.

Las radiografías de mejor calidad con diferencia las ofrecen procedimientos que registran las estructuras

^aClínica y Policlínica de Cirugía Oral y Maxilofacial y de Cirugía Plástica Facial (Director: Prof. Dr. Dr. J. E. Zöller). Clínica de la universidad de Colonia. Kerpener Strasse 62, 50937 Colonia, Alemania.

Correo electrónico: r.mischkowski@uni-koeln.de

^bSurgical Systems Laboratory. Instituto de investigación CAESAR. Bonn, Alemania (Director: Dr.-Ing. E. Keeve).

^cClínica y Policlínica de Cirugía Oral y Maxilofacial y de Cirugía Plástica Facial. Clínica de la Universidad de Colonia. Colonia, Alemania.

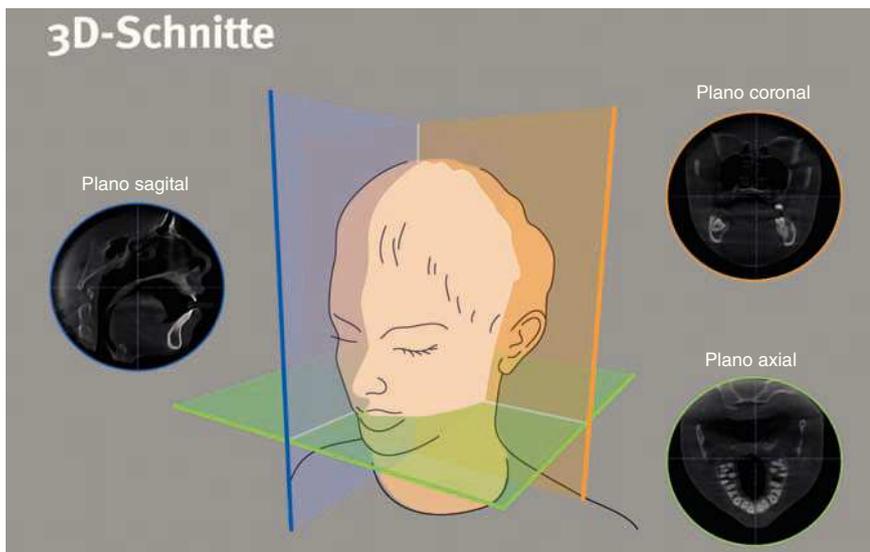


Figura 1. Con los métodos radiográficos tridimensionales se pueden reconstruir tomografías axiales, coronales y sagitales, además de vistas en 3D en los planos deseados.

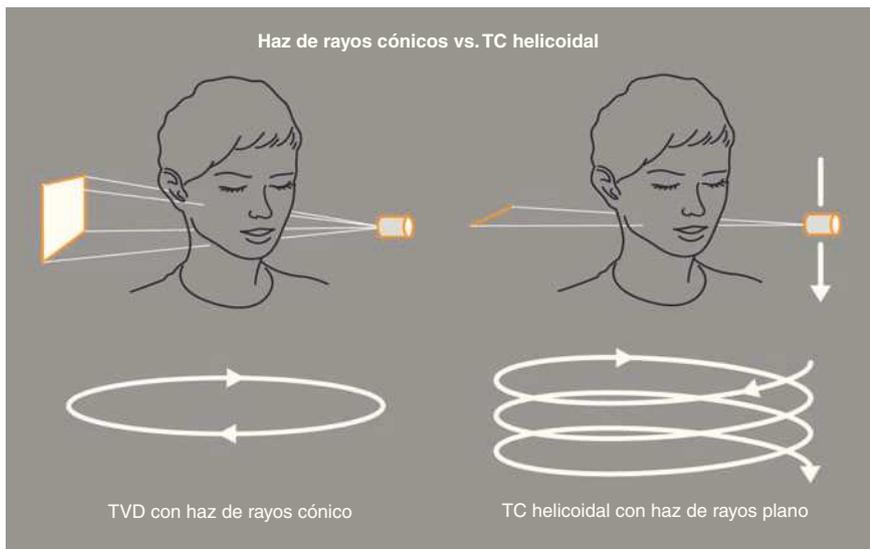


Figura 2. Comparación de los principios de funcionamiento de la TVD con haz de rayos cónico (izquierda) y de la TC helicoidal con haz de rayos plano (derecha). TC: tomografía computarizada.

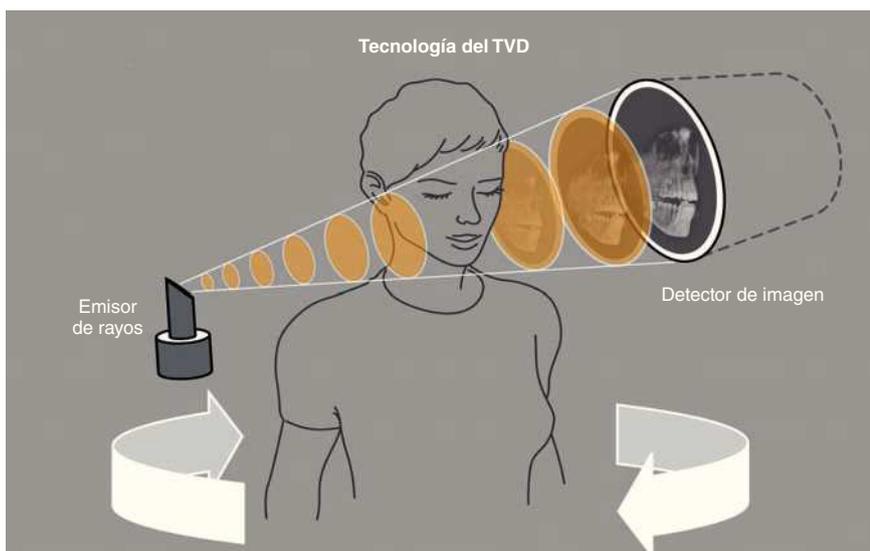


Figura 3. Principio de la TVD con el tubo de rayos X y el detector de imagen moviéndose en sentido opuesto para obtener los datos en bruto con el paciente en posición fija.



Figura 4. Vista panorámica de TVD y cortes transversales. La ventana de inspección muestra el diente incluido 48 y la posición respecto al nervio dentario inferior.

anatómicas en tres dimensiones (3D) y a continuación pueden reproducir los cortes deseados en dos dimensiones (2D) o reconstruir la imagen tridimensionalmente. Esta posibilidad la ofrecen las tomografías computarizadas (TC) y las tomografías de resonancia magnética nuclear (RMN).

La TC fue el primer procedimiento que permitía representar todas las regiones del cuerpo en cortes transversales sin superposiciones. Durante la toma de la imagen, el tubo de rayos X emite un haz de rayos plano cuya anchura se corresponde con el espesor deseado del corte anatómico⁶. La fuente de radiación gira en torno al eje longitudinal del paciente, de modo que el cuerpo es atravesado por los rayos en el plano deseado. Los detectores miden la radiación absorbida y transmiten el resultado en forma de señales eléctricas a un ordenador. Los datos obtenidos se agrupan en un conjunto de datos volumétricos a partir de los cuales se pueden reconstruir tomografías en los planos deseados y vistas tridimensionales (fig. 1). La TC constituye hoy día una herramienta diagnóstica indispensable. Representa todas las regiones anatómicas sin superposiciones y es con diferencia el método más aplicado en el estudio del SNC, de los órganos abdominales parenquimatosos, de los pulmones, del mediastino y del esqueleto. Hacia el año 1990 la tomografía computarizada se empezó a utilizar también en la odontología.

Con la tomografía volumétrica digital se introdujo por primera vez en 1997 una técnica por imagen en el campo de la odontología y de la medicina oral y maxilofacial

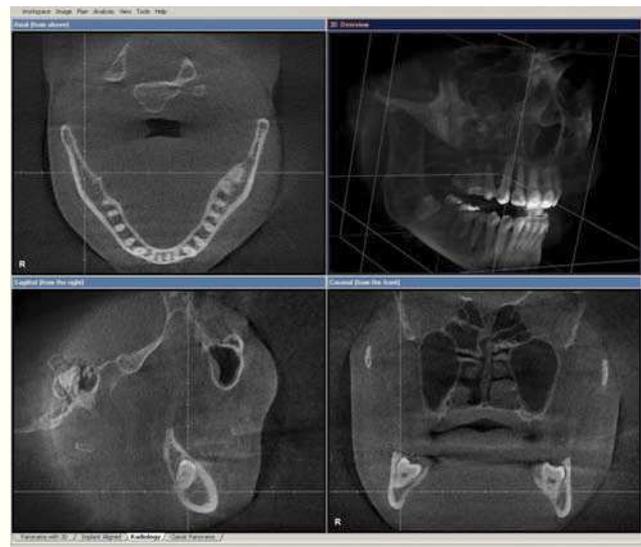


Figura 5. Cortes ortogonales de la TVD de la figura 4 con planos de corte axial, coronal y sagital y reconstrucción 3D.

que ofrecía unas posibilidades de representación comparables a las de la TC, con reconstrucción de la imagen en distintos planos y representación tridimensional. La tomografía volumétrica digital se basa en radiografías sencillas bidimensionales. El sistema calcula un conjunto de datos gráficos en 3D a partir de una gran cantidad de dichas radiografías bidimensionales. El vertiginoso desarrollo de la informática ha permitido lograr que la reconstrucción se realice prácticamente a tiempo real, de modo que la información tridimensional se obtiene directamente en formato digital y se puede procesar. En las tomografías computarizadas helicoidales la región a estudiar se explora en cortes de 0,5 mm a 3 mm con un avance continuo de la mesa y varios giros de la fuente de radiación, mientras que la tomografía volumétrica digital explora la misma región en un solo giro. Esto es posible porque sobre el área anatómica a explorar se proyecta un haz de rayos cónico (cone beam) (fig. 2). En comparación con la TC, este método es menos costoso y de su aplicación resulta una reducción de la dosis de entre el 75% y el 80% frente al protocolo de TC (espesor de corte: 1 mm, paso de hélice [pitch]: 1,5 mm, 120 mAs/giro, altura de exploración: 87 mm). De ese modo, esta técnica radiográfica se puede situar entre la radiografía panorámica y la TC helicoidal en lo que a seguridad radiológica se refiere^{18,22}.

En un tomógrafo volumétrico digital el tubo de rayos X y el intensificador de imagen se encuentran montados uno frente al otro en un brazo giratorio que durante el proceso de exploración gira una vez un míni-

mo de 180° alrededor del paciente, colocado en el isocentro (fig. 3). Durante el giro el haz de rayos cónico crea en distintos ángulos una proyección de un volumen cilíndrico cuyo diámetro varía en función del equipo. Con ayuda de un complejo algoritmo matemático, la denominada retroproyección filtrada, el sistema calcula un conjunto de datos volumétricos tridimensionales a partir de las proyecciones.

Como sucede con la TC, en esta técnica radiográfica también existe la posibilidad de realizar reconstrucciones secundarias. El sistema permite elaborar las tomografías en los planos estándar axial, coronal y sagital con el tamaño deseado y a una distancia determinada entre sí. También es posible reconstruir una tomografía panorámica o realizar una representación tridimensional (figs. 4 y 5). A partir de un conjunto de datos en bruto se pueden realizar una gran cantidad de reconstrucciones primarias, puesto que el conjunto de datos en bruto se puede archivar^{1,14,18}.

En las reconstrucciones secundarias se pueden ejecutar numerosas funciones adicionales relevantes, como optimizar la imagen (cambio del brillo y del contraste, por ejemplo), realizar mediciones de longitud y de ángulos, marcar en color estructuras anatómicas y transferir automáticamente las zonas marcadas a todos los planos, además de la medición de distancias espaciales.



Figura 6. Caries interproximal en la cara mesial del diente 16. Imagen de alta resolución del equipo GALILEOS (tamaño de vóxel: 0,15 mm).

Indicaciones de las radiografías volumétricas digitales

Caries

En el diagnóstico de caries con técnicas radiográficas convencionales se producen con frecuencia efectos de adición no deseados de las estructuras anatómicas que se encuentran en la trayectoria del haz. Por esa razón, para el diagnóstico de caries pueden resultar de utilidad las técnicas tomográficas tridimensionales. Un estudio actual sobre el diagnóstico de caries interproximal demostró que con ayuda de la TVD se podía llegar a una sensibilidad del 80% con una especificidad del 96%, mientras que con radiografías de aleta de mordida sólo se pudieron identificar correctamente el 29% de los defectos producidos por lesiones de caries¹⁰ (fig. 6). También se demostró la superioridad de la tecnología volumétrica digital sobre las radiografías clásicas en la representación de lesiones oclusales con afectación de la dentina²⁷. Por otro lado, en el diagnóstico de caries por medio de TVD se debe prestar especial atención a los artefactos debidos a estructuras metálicas, que pueden dar lugar a falsos positivos y que pueden aparecer en presencia de restauraciones metálicas o de implantes.

Patologías del periodonto y de las estructuras endodónticas

Numerosos estudios han demostrado que en el diagnóstico periodontal se obtiene poca información sobre el estado del diente. Con ayuda de la tomografía volumétrica digital, se puede evaluar y analizar específicamente la situación del aparato periodontal. Esta técnica hace posible tanto el estudio de bolsas infraóseas de una, dos o tres paredes como la clasificación de la afectación de furca (fig. 7). Cabe esperar que permita realizar un análisis preoperatorio más específico de la futura situación intraoperatoria²⁷. En este sentido la baja dosis de los sistemas de TVD los hace especialmente indicados, puesto que la exposición a la radiación puede ser incluso menor que en una serie periapical completa en función del equipo utilizado. Por otro lado, sería lógico esperar que en un futuro se pudiera adquirir una cantidad de información mucho mayor con una dosis similar.

También en el campo de la endodoncia una tomografía volumétrica digital puede arrojar información valiosa sobre la configuración y la permeabilidad de los conductos radiculares y facilitar de ese modo la planificación del tratamiento (fig. 8).



Figura 7. Infracciones verticales y afectación de furca en el diente 36. También se aprecia una periodontitis apical incipiente en la raíz distal.

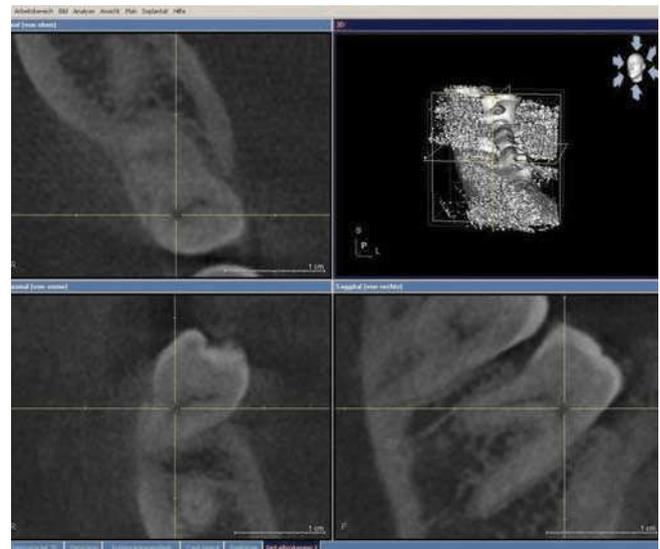
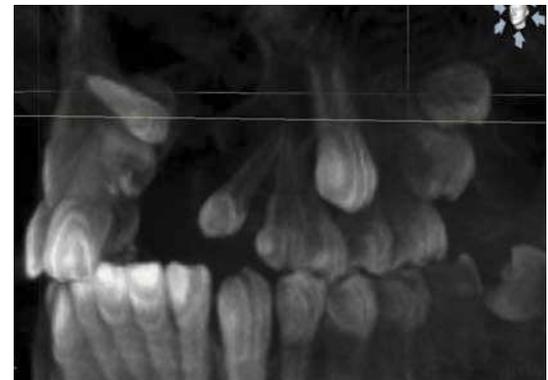


Figura 8. Entrada del conducto mesiovestibular del diente 46. Imagen de alta resolución del equipo GALILEOS (tamaño de vóxel: 0,15 mm).



Figuras 9a y 9b. Dientes supernumerarios 21 y 22 situados a ambos lados de la fisura labiopalatina, junto a un diente 21 incluido. TVD panorámica (a) y reconstrucción tridimensional en «proyección de máxima intensidad» (b).

Anomalías en la forma y el número de dientes

A diferencia de las radiografías bidimensionales convencionales, las tomografías tridimensionales permiten localizar los dientes erupcionados y la posición de todos los gérmenes dentarios sin superposiciones, y evaluar además su fase de desarrollo. Se pueden identificar de forma precoz potenciales complicaciones de la futura erupción dentaria. Por ejemplo, las imágenes en 3D permiten localizar con precisión mesiodens, que en la radiografía panorámica, en cambio, no suelen aparecer de forma nítida, dado que se encuentran fuera del corte reproducido y además quedan ocultos por la superposición de la columna vertebral^{5,27}. La representación de paramolares y distomolares en las tomografías volumétricas digitales diag-

nósticas se produce en sentido mesiodistal y, además, en sentido vestibulolingual. Esto permite planificar el tratamiento con precisión y adoptar las medidas terapéuticas correspondientes sin necesidad de utilizar otros sistemas de generación de imagen²⁷ (figs. 9a y 9b).

Dientes incluidos y dientes desplazados

Las imágenes tridimensionales sirven para determinar la ubicación anatómica del diente, para evaluar la formación de la corona y de la raíz y para controlar el desarrollo radicular⁴. La posible lesión de las estructuras adyacentes es un factor crítico al que se presta especial atención. El diagnóstico por medio de imágenes en 3D permite planificar minuciosamente la intervención y ex-

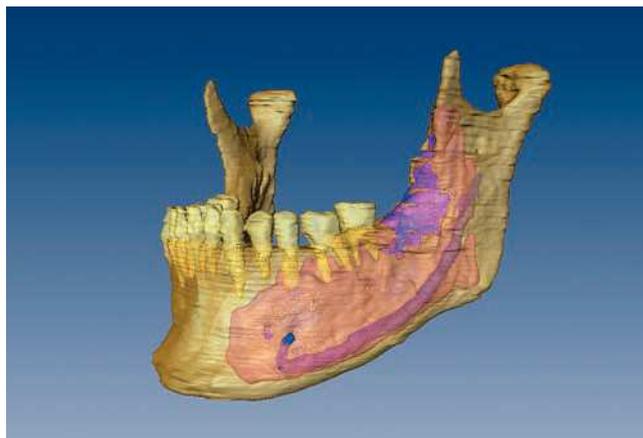
plicar al paciente de forma ilustrativa los posibles riesgos asociados a la misma²⁷. La elaboración del diagnóstico con la máxima precisión ofrece la posibilidad de preparar de forma óptima la intervención y planificar un abordaje quirúrgico atraumático²³. La orientación espacial eficaz acorta la duración de la intervención y disminuye la cantidad de molestias postoperatorias⁴.

Las imágenes diagnósticas en 3D ofrecen más seguridad que la combinación de radiografías panorámicas con una radiografía de cráneo PA en aquellos casos en los que existe muy poco espacio entre la raíz dentaria y el nervio dentario inferior¹⁹. Los resultados arrojados por los estudios publicados sobre alteraciones en la sensibilidad en las zonas de inervación del nervio dentario inferior y del nervio lingual, en extracciones quirúrgicas convencionales de terceros molares sin diagnóstico tridimensional preoperatorio, son significativamente peores que los de estudios comparables en los que antes de la intervención se determinó la ubicación del nervio afectado por medio de TVD o TC9 (figs. 4 y 5). En casos de terceros molares superiores incluidos, la obtención de información exacta sobre la localización y la forma de la raíz y de la delimitación ósea del seno maxilar puede ayudar a evitar una comunicación orosinusal⁵. No es preciso realizar diferentes radiografías con proyección excéntrica del haz de rayos o en varios planos para determinar la posición. Las imágenes tridimensionales son así mismo de gran ayuda en la planificación preoperatoria de osteotomías de caninos desplazados²¹. Su localización exacta permite realizar una exodoncia o una exposición del diente con un abordaje lo más atraumático posible.

Lesiones patológicas del hueso

Para realizar un diagnóstico radiológico de alteraciones quísticas en el maxilar o la mandíbula es indispensable realizar un estudio en al menos dos planos. En la gran mayoría de los casos los quistes se diagnostican principalmente a través de las radiografías panorámicas, en las que aparecen en forma de radiolucidez bien delimitada, en ocasiones de varias cámaras, redondeada y con un reborde radioopaco²⁵. En caso de que la radiolucidez no esté bien delimitada, es conveniente incluir en el diagnóstico diferencial otras alteraciones menos frecuentes, como tumores odontogénicos, metástasis, plasmomas y osteosarcomas. Para la planificación del tratamiento puede resultar especialmente útil realizar una radiografía tridimensional por medio de una TVD cuando la alteración se encuentra cerca de estructuras anatómicas importantes, como el suelo de las fosas nasales, los senos maxilares y el nervio dentario inferior (figs. 10a y 10b). Se evitaría además la necesidad de realizar diferentes tomas radiográficas en distintas proyecciones. Esto también es válido para el diagnóstico de tumores osteogénicos y odontogénicos malignos y benignos y de alteraciones no neoplásicas, como la displasia fibrosa o bien la necrosis ósea avascular en caso de tratamiento con bisfosfonatos²⁷.

La evaluación de alteraciones inflamatorias del hueso se hace mucho más sencilla gracias a las imágenes tridimensionales que proporcionan las TVD, puesto que, además de las posibles puertas de entrada en forma de restos radiculares o granulomas periapicales, se puede analizar la estructura ósea en tres dimensiones a fin de



Figuras 10a y 10b. TVD para la planificación preoperatoria de un tumor odontogénico quístico queratinizante (antiguo queratoquiste) en mandíbula izquierda. TVD panorámica (a) y segmentación tridimensional de la mandíbula, de la lesión quística y del nervio dentario inferior (b).

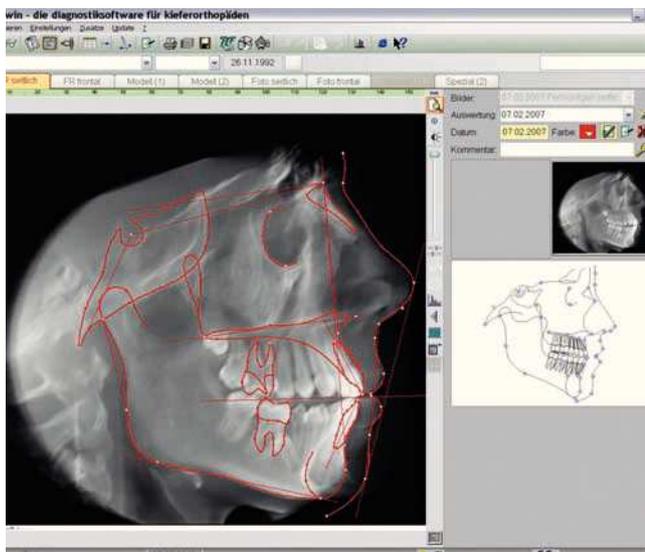


Figura 11. Análisis cefalométrico asistido por ordenador utilizando una TL generada a partir de una exploración con tomógrafo volumétrico digital.

detectar secuestros. Sólo en presencia de tumores extendidos a los tejidos blandos a través de la cortical lingual y vestibular, y tras analizar el caso en cuestión (en especial si existe sospecha de alteración maligna), se debe realizar una exploración con TC²⁷ (ventana de tejidos blandos). En este caso, a diferencia de la TVC, el operador se debe asegurar de que la exploración con TC se realiza con un espesor de corte menor (entre 0,5 mm y 1 mm) para que la imagen obtenida proporcione información fiable de valor diagnóstico. Las lesiones patológicas del hueso también se pueden estudiar por medio de una RMN, si bien en su evaluación no son aplicables los criterios radiográficos clásicos y la interpretación de la imagen con toda seguridad desbordaría a un odontólogo general.

Diagnóstico ortodóncico

El estudio radiográfico ortodóncico se suele realizar sobre dos tipos de radiografías: la radiografía panorámica y la telerradiografía lateral. Ésta última permite representar de forma exacta todas las estructuras óseas del neurocráneo y del esplanocráneo y, utilizando los filtros correspondientes, también de los tejidos blandos faciales. Con el análisis de las telerradiografías laterales se pueden obtener la posición sagital del maxilar dentro del cráneo, la relación posicional entre ambos y parámetros dentales y tisulares.

La posibilidad de obtener imágenes tridimensionales de las estructuras craneofaciales mediante TVD permite

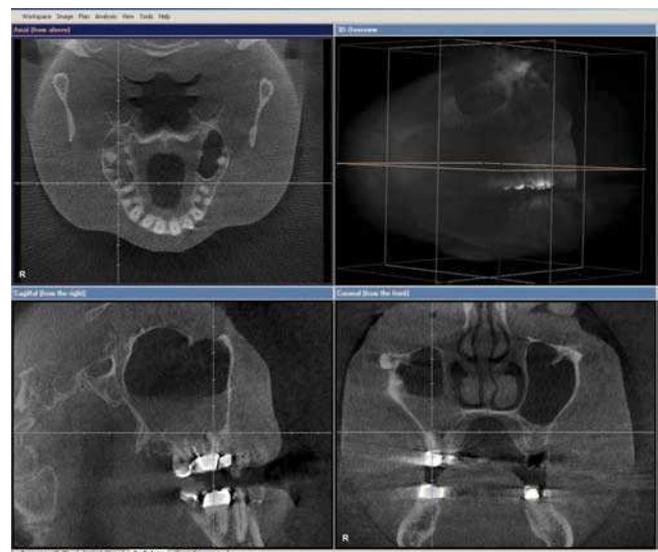


Figura 12. Imagen clásica de una sinusitis maxilar odontogénica crónica con periodontitis apical en la raíz mesial del diente 16.

augurar para el futuro también en el campo de la ortodoncia una precisión y una fiabilidad mucho mayores de los procesos de simulación. Los programas de visualización en 3D de determinados sistemas permiten generar una radiografía lateral bidimensional a partir de un conjunto de datos 3D. La imagen de adición obtenida abarca el volumen tridimensional completo. Ésta se puede importar a programas de análisis para telerradiografías laterales y darles el formato necesario para el diagnóstico ortodóncico (fig. 11).

Por otro lado, el diagnóstico basado en imágenes 3D permite analizar con exactitud malposiciones dentoalveolares en sentido mesiodistal o vestibulolingual e incluir dicho análisis en el plan de tratamiento. No es necesario realizar radiografías oclusales o radiografías periapicales. Así mismo, la representación tridimensional de la situación permite diagnosticar las causas de las malposiciones de grupos dentarios. En el área de las desviaciones esqueléticas, las imágenes tridimensionales ofrecen nuevas posibilidades en el análisis de las estructuras craneofaciales, y en el futuro proporcionarán una mayor precisión en los diagnósticos diferenciales²⁷. Una única exploración con el tomógrafo volumétrico digital, seleccionando la opción de reconstrucción de OPG, TL y radiografía de cráneo PA, hace innecesario exponer al paciente a la radiación repetidamente.

Patologías de los senos maxilares

El elevado contraste de los procesos patológicos en relación con el lumen de los senos maxilares lleno de aire,

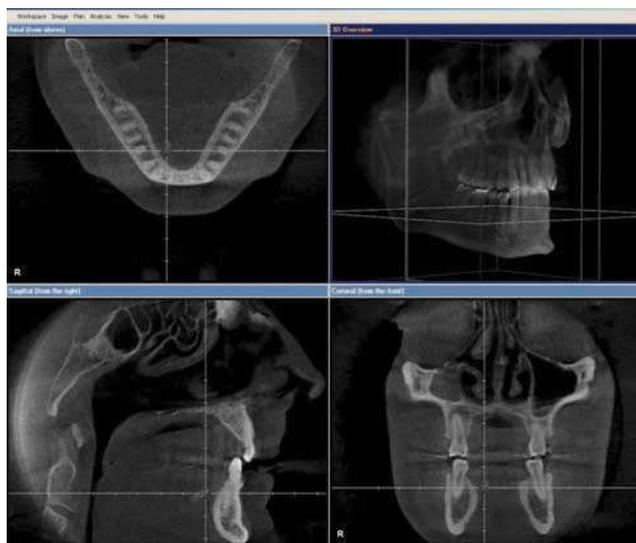


Figura 13. Cálculo radiopaco en el conducto excretor de la glándula submaxilar derecha.

por un lado, y con las estructuras óseas adyacentes, por el otro, hace de la TVD un método especialmente indicado para el diagnóstico de los senos maxilares. La presencia de una masa en el seno maxilar afectado limita su aireación total o parcialmente. En tal caso, se aprecia una imagen radiopaca diferenciable que casi siempre se puede interpretar como un signo de proceso patológico. La destrucción de los contornos de la pared del seno maxilar se puede deber a un traumatismo, a una inflamación o a una neoplasia. En los cortes ortogonales de las tomografías volumétricas digitales se pueden evaluar muy bien el tamaño del seno maxilar y de su lumen, además de las estructuras de sus paredes (fig. 12). Así mismo, las TVD permiten localizar perfectamente los cuerpos extraños²⁷.

Patologías de las glándulas salivales

En las primeras imágenes de las TVD no se reproducen las glándulas salivales. Entre las alteraciones patológicas existentes sólo se pueden diagnosticar sialolitos y quistes cuando presentan un tamaño de cierta envergadura. Los sialolitos aparecen en la imagen radiográfica en forma de estructuras redondas u ovales, homogéneas y bastante bien delimitadas. Sólo entre el 10% y el 20% de los sialolitos son radiolúcidos²⁶ y no pueden ser diagnosticados con un tomógrafo volumétrico digital. En caso de que los sialolitos se puedan representar radiográficamente, la TVD es capaz de mostrar su ubicación exacta, lo que la hace muy superior a las radiografías convencionales²⁷ (fig. 13).



Figura 14. Remodelación de la ATM derecha en un caso de fractura de cabeza condílea y formación de cóndilo bifido.

Otras enfermedades, como los tumores, las sialadenitis de diversa etiología y las sialadenosis, siguen perteneciendo al dominio de otros métodos de generación de imagen, como la RMN, la ecografía, la gammagrafía y la sialografía²⁶.

Patologías de la articulación temporomandibular (ATM)

Las radiografías clásicas de la ATM requieren una colocación exacta y a menudo sólo los usuarios más experimentados pueden obtener imágenes que ofrezcan información de valor diagnóstico. El método de generación de imagen estándar para el diagnóstico radiológico de las patologías de la ATM es la radiografía panorámica. Este método presenta sin embargo efectos de adición no deseados causados por la anchura del corte representado. Esto impide que se puedan plasmar de forma fiable las pequeñas alteraciones estructurales. La representación de la articulación prácticamente sin superposiciones y de las estructuras adyacentes se consigue por medio de diversas técnicas tomográficas y proyecciones.

La TVD ha ampliado notablemente el abanico de posibilidades diagnósticas de las patologías de la articulación temporomandibular. Diversos estudios han demostrado que no existen diferencias significativas entre la TVD y la TC en relación con los resultados del diagnóstico de la ATM (fig. 14). Sin embargo, para representar patologías de los tejidos blandos, como alteraciones estructurales del disco articular, la RMN sigue siendo el método de elección²⁷.

Planificación de implantes

En casos sencillos de tratamiento con implantes una radiografía panorámica puede ser suficiente para la planificación preoperatoria. Sin embargo, presenta inconvenientes graves. Por un lado no se pueden evaluar las dimensiones vestibulolinguales del hueso disponible, dado que la representación es bidimensional y, por el otro, el método de la toma de imagen hace que ésta aparezca distorsionada en distintas regiones, lo que impide una medición exacta de la distancia²⁴. Esto hace necesario realizar radiografías adicionales.

En los últimos años se ha ido incrementando la importancia de las radiografías tridimensionales para el diagnóstico preimplantológico^{2,15,20}. El conocimiento exacto de la situación anatómica permite aprovechar de forma óptima la cantidad de hueso disponible, prever la necesidad de medidas de aumento y garantizar una invasión mínima de las estructuras anatómicas (fig. 15). La elevada precisión métrica de la TVD permite establecer prácticamente en décimas de milímetro la posición idónea del implante antes de la intervención y teniendo en cuenta los requisitos anatómicos y protésicos de cada caso. En los estudios en los que se aplicó TC, el riesgo de lesionar las estructuras adyacentes durante la colocación del implante se redujo entre un 50% y un 60%⁶. Esto ha propiciado el establecimiento de la TC helicoidal como método de generación de imágenes tridimensionales para el diagnóstico preimplantológico de casos complejos¹⁵. Sin embargo, la TC dental presenta varios inconvenientes, como el hecho de que la exposición a la radiación es más elevada que la de las radiografías panorámicas o la circunstancia de que los odontólogos no son usuarios de tomógrafos, los radiólogos a menudo no están familiarizados con las cuestiones odontológicas, éstos deben enviar las radiografías al implantólogo y, por último, el paciente se debe colocar en una posición en la que los cortes axiales discurren en paralelo al plano oclusal. Además, el coste de este procedimiento, claramente más elevado que el de los métodos convencionales, limita sus indicaciones a casos implantológicos complejos que precisan medidas de aumento y en los que es necesaria una representación tridimensional exacta de la región anatómica afectada¹⁷.

Desde la introducción de la TVD, el terapeuta puede realizar cualquier planificación preoperatoria sin necesidad de consultar con un radiólogo^{11,13,18}. Durante la toma de imágenes, el paciente puede llevar puesta una prótesis radioopaca, lo que permite incluir en el plan de tratamiento virtual la planificación protésica en relación con el hueso disponible¹¹. Para la aplicación intraoperatoria de este método de planificación y de diagnóstico alta-



Figura 15. Planificación de la colocación de implante en la mandíbula con marcado de la trayectoria del nervio y con la férula quirúrgica provisional colocada.

mente preciso, los clínicos disponen hoy día de férulas quirúrgicas confeccionadas con procedimientos asistidos por ordenador y de sistemas de navegación.

Discusión

La TVD complementa las técnicas radiográficas dentales convencionales de tal modo que, salvo contadas excepciones, se puede dar respuesta a todas las demandas de radiología dental por medio de equipos radiográficos dentales. Con una exposición a la radiación significativamente menor que en el caso de la TC^{12,16,17} y unos costes de adquisición y explotación menores, esta técnica permite realizar un diagnóstico preciso, rápido y sencillo de toda la región craneofacial^{3,18}. En ningún momento debe comprometerse la calidad que permite a las imágenes ser valoradas clínicamente^{3,18}. Los planos de la tomografía se pueden elegir libremente en el volumen de la imagen de alta definición, formado por vóxeles isotrópicos, lo que permite cumplir con la exigencia de disponer de una reproducción multiplanar dinámica sin distorsiones ni errores de interpolación. Otra ventaja de la TVD frente a la TC es que el odontólogo, el cirujano oral o el cirujano maxilofacial que efectúa el estudio puede realizar la evaluación de la imagen directamente en el monitor de la consulta, puesto que es posible integrarla sin problemas en los procesos de la misma gracias a un software moderno y de manejo intuitivo, y se puede llevar a cabo en la consulta dental sin la necesidad de que intervenga un

radiólogo, de acuerdo con lo que estipula la normativa alemana sobre radiología.

Sin embargo, el diagnóstico basado en TVD no se puede desligar de las modalidades diagnósticas existentes. En este sentido se debe comprobar la idoneidad de la indicación, que debe estar justificada. La aplicación de la TVD debe ser razonable en cuanto a la exposición a la radiación, de acuerdo con el principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable) creado para la protección radiológica del paciente⁷.

La tecnología de la tomografía volumétrica digital ocupa hoy día un importante lugar en las disciplinas quirúrgicas y en el campo de la ortodoncia. En vista del amplio abanico de indicaciones posibles y de las nuevas perspectivas en el diagnóstico de una gran cantidad de patologías del aparato masticatorio, cabe esperar que los tomógrafos volumétricos digitales vayan haciéndose en los próximos años un lugar en un número cada vez mayor de consultas de odontólogos generales.

Bibliografía

1. Arai Y, Tammsalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofac Radiol* 1999;28:245-248.
2. Besimo C, Lambrecht J, Nidecker A. Dental implant treatment planning with reformatted computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 1995;24:264-267.
3. Dalchow C, Weber A, Yanagihara N, Bien S, Werner J. Digital volume tomography: radiologic examinations of the temporal bone. *AJR Am J Roentgenol* 2006;186:416-423.
4. Danforth RA, Peck J, Hall P. Cone beam volume tomography: an imaging option for diagnosis of complex mandibular third molar anatomical relationships. *J Calif Dent Assoc* 2003;31:847-852.
5. Düker J. Röntgendiagnostik mit der Panoramaschichtaufnahme. Heidelberg: Hüthig, 2000.
6. Dula K, Mini R, van der Stelt PF, Lambrecht JT, Schneeberger P, Buser D. Hypothetical mortality risk associated with spiral computed tomography of the maxilla and mandible. *Eur J Oral Sci* 1996;104: 503-510.
7. Fuhrmann A, Schulze D, Rother U, Vesper M. Digital transversal slice imaging in dental-maxillofacial radiology: from pantomography to digital volume tomography. *Int J Comput Dent* 2003;6:129-140.
8. Garg A, Vicari A. Radiographic modalities for diagnosis and treatment planning in implant dentistry. *Implant Soc* 1995;5:7-11.
9. Güllicher D, Gerlach K. Inzidenz, Risikofaktoren und Verlauf von Sensibilitätsstörungen nach operativer Weisheitszahnentfernung : Untersuchung an 1106 Fällen. *Mund Kiefer Gesichtschir* 2000;4:99-104.
10. Haak R, Wicht MJ, Ritter L, Kusakis P, Noack MJ. Cone beam tomography for the detection of approximal carious cavitations. *Caries Res* 2006;34: 103-108.
11. Haßfeld S, Stein W. Dreidimensionale Planung für die dentale Implantologie anhand von computertomographischen Daten. *Dtsch Zahnärztl Z* 2000; 55:313-325.
12. Haßfeld S, Streib S, Sahl H, Stratmann U, Fehrenz D, Zöller J. Low-dose-Computertomographie des Kieferknochens in der präimplantologischen Diagnostik. Grenzen der Dosisreduzierung und Genauigkeit von Längenmessungen. *Mund Kiefer Gesichtschir* 1998;2:188-193.
13. Hirsch E, Visser H, Graf H-L. Präimplantäre Röntgendiagnostik – Informationsbedarf versus Strahlenbelastung. *Implantologie* 2002; 10:291-302.
14. Jacobs K. Der Digitale Volumentomograph (DVT) – eine neue Geräteklasse für zahnärztliches Röntgen. *DFZ* 2000;2:42-49.
15. Kraut R. Interactive CT diagnostics, planning and preparation for dental implants. *Implant Dent* 1998;7:19-25.
16. Ludlow J, Davies-Ludlow L, Brooks S. Dosimetry of two extraoral direct digital imaging devices: NewTom cone beam CT and Orthophos Plus DS panoramic unit. *Dentomaxillofac Radiol* 2003;32:229-234.
17. Möbes O, Becker J, Schnelle C, Ewen K, Kemper J, Cohnen M. Strahlenexposition bei der digitalen Volumentomographie, Panoramaschichtaufnahme und Computertomographie. *Dtsch Zahnärztl Z* 2000;55:336-339.
18. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini P, Andreis I. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998;8:1558-1564.
19. Neugebauer J, Shirani R, Ritter L, Mischkowski RA, Keeve E, Zöller JE. Comparison of 2 and 3-dimensional imaging for the diagnosis of the alveolar nerve position for the osteotomy of third molar. *Int J CARS* 2006;1:535.
20. Richtlinie für Sachverständigenprüfungen nach Röntgenverordnung Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Regelwerk 13. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft, 1998.
21. Schmuth G, Freisfeld M, Koster O, Schuller H. The application of computerized tomography (CT) in cases of impacted maxillary canines. *Eur J Orthod* 1992;14: 296-301.
22. Schulze D, Heiland M, Blake F, Rother U, Schmelzle R. Evaluation of quality of reformatted images from two cone-beam computed tomographic systems. *J Craniomaxillofac Surg* 2005;33:19-23.
23. Siessegger M, Schneider BT, Mischkowski RA et al. Use of an image-guided navigation system in dental implant surgery in anatomically complex operation sites. *J Craniomaxillofac Surg* 2001;29: 276-281.
24. Visser H. Untersuchungen zur Optimierung der parodontologischen Röntgendiagnostik. *Habil.-Schrift. Berlin: Quintessenz*, 2000.
25. Weber A. Imaging of cysts and odontogenic tumors of the jaw. Definition and classification. *Radiol Clin North Am* 1993; 31:101-120.
26. Yousem D, Kraut MA, Chalian AA. Major salivary gland imaging. *Radiology* 2000;216: 19-29.
27. Zöller JE. Digitale Volumentomografie in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Berlin: Quintessenz, 2007.