

Valor diagnóstico de reconstrucciones basadas en tomografía volumétrica digital para aplicaciones quirúrgicas

Robert A. Mischkowski, Dr. med. Dr. med. dent.^a, Lutz Ritter, Dr. med.^b, Jörg Neugebauer, Dr. med. dent.^a, Timo Dreiseidler, Dr. med.^b, Erwin Keeve, Dr.-Ing.^b, y Joachim E. Zöller, Prof. Dr. med. Dr. med. dent.^a

El propósito del presente estudio es comparar el valor diagnóstico de las vistas panorámicas reconstruidas a partir de tomografías volumétricas digitales (TVD) con el de las ortopantomografías digitales. Para ello, se compararon 30 reconstrucciones panorámicas obtenidas de los registros de datos de una versión piloto del equipo GALILEOS (Sirona Dental Systems) –un equipo de DVT compacto recién desarrollado– con 30 ortopantomografías digitales convencionales (Orthophos Multiplus XG Plus, Sirona Dental Systems). Tres observadores evaluaron el valor diagnóstico atendiendo a diez criterios. El análisis estadístico basado en un modelo de cálculo con diez criterios ponderados no mostró ninguna diferencia significativa ($p = 0,629$) en cuanto al valor diagnóstico entre ambas modalidades de imagen estudiadas. En particular, no se halló ninguna diferencia significativa en la interpretabilidad de las exploraciones radiológicas realizadas con fines diagnósticos ($p = 0,163$). La valoración subjetiva de la calidad de la imagen de las reconstrucciones panorámicas obtenidas a partir de las tomografías volumétricas digitales fue significativamente peor que la de las ortopantomografías digitales. En cambio, todas

las estructuras anatómicas estudiadas, a excepción del conducto dentario inferior y de la mucosa de la cresta alveolar, fueron representadas mejor en las reconstrucciones por TVD. Los resultados del estudio demuestran que las imágenes panorámicas reconstruidas a partir de los registros de datos de TVD se podían considerar, cuando menos, equivalentes –y en la vista de detalle incluso superiores– a las radiografías digitales convencionales en lo que a valor diagnóstico se refiere.

(Quintessenz. 2007;58(3):223-33)

Introducción

La ortopantomografía se puede considerar actualmente el método estándar de diagnóstico radiológico dental y maxilofacial. Como imagen bidimensional (2-D), la ortopantomografía brinda una muy buena visualización de las estructuras óseas maxilares y mandibulares. Mediante la técnica de la ortopantomografía se puede establecer el diagnóstico radiológico de base para casi todos los problemas odontológicos y de cirugía ortognática. Sin embargo, las ventajas de las ortopantomografías en cuanto a su buena visualización van acompañadas de inconvenientes en forma de distorsiones geométricas y superposiciones, sobre todo en el sector anterior por la presencia de la columna vertebral. Éstas reducen el valor diagnóstico de la imagen y pueden traducirse en limitaciones considerables de interpretación de los resultados. Como ocurre con todas las proyecciones bidimensionales, en las ortopantomografías falta información en la dirección del haz de

^aPoliclínica Interdisciplinaria de Cirugía Oral e Implantología y Clínica y Policlínica de Cirugía Oral y Maxilofacial y Cirugía Plástica Facial (director: Univ.-Prof. Dr. Dr. J. E. Zöller). Clínica de la Universidad de Colonia. Alemania.

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

Correspondencia: Robert A. Mischkowski.
Kerpener Strasse 62, 50937 Colonia, Alemania.
Correo electrónico: r.mischkowski@uni-koeln.de

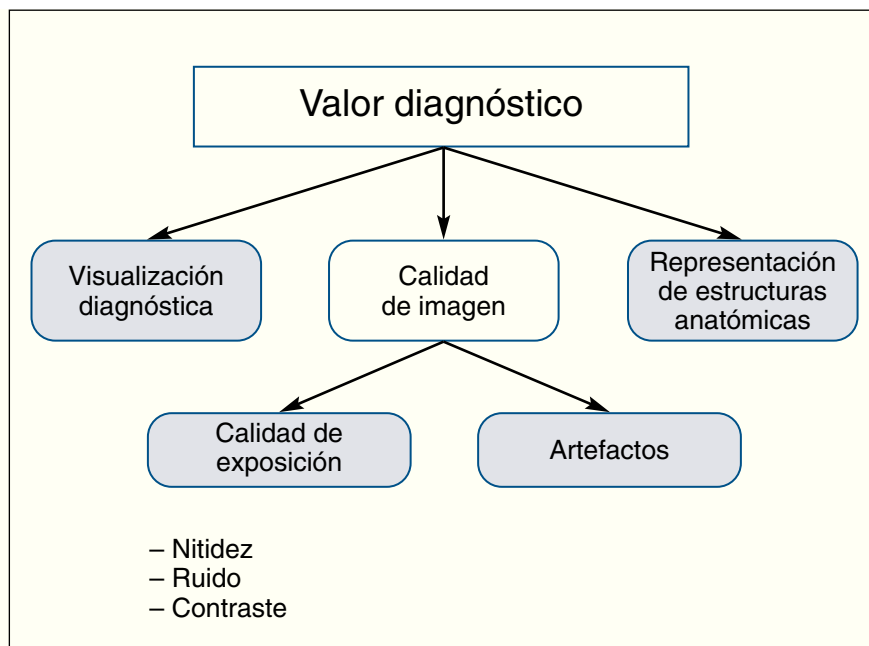


Figura 1. Criterios que condicionan el valor diagnóstico de un método de diagnóstico por imagen. En el presente estudio se evaluaron los criterios de los campos con fondo azulado.

rayos X. Esta circunstancia a menudo hace necesario realizar radiografías adicionales en un segundo plano, tales como vistas del cráneo o proyecciones especiales. Muchas de las limitaciones diagnósticas inherentes a la técnica bidimensional de las ortopantomografías se pueden sortear mediante métodos tridimensionales (3-D), como la tomografía volumétrica digital (TVD).

Las primeras aplicaciones clínicas de la tecnología de TVD en el diagnóstico maxilofacial por imagen se remontan a los años 1998 y 1999^{1,8}. Desde entonces se han desarrollado e introducido en el mercado numerosos equipos de TVD^{2,4,10,12}.

Actualmente, los equipos de TVD se emplean en cirugía oral y maxilofacial para tratar numerosos problemas. Entre ellos cabe citar, por ejemplo, la planificación de osteotomías de terceros molares^{6,9}, la planificación preimplantológica³, el diagnóstico de fracturas⁵, así como el diagnóstico de la ATM¹¹.

El propósito del presente estudio consistió en comparar el valor diagnóstico de las reconstrucciones panorámicas bidimensionales, realizadas a partir de registros de datos de TVD, con el de las ortopantomografías digitales convencionales. El término «valor diagnóstico» fue definido en este contexto empleando criterios tales como la representabilidad de los hallazgos patológicos y de las estructuras anatómicas importantes, o la percepción subjetiva de la imagen. La percepción subjetiva de la calidad de la imagen depende a su vez de diferentes factores, tales como la nitidez de las formas, el ruido y el contraste de la imagen. Además, la valoración de la calidad de la ima-

gen está condicionada por la experiencia del examinador, y también por sus preferencias personales. En conjunto, estos parámetros han sido reunidos en el presente estudio dentro del criterio de calidad de exposición. Además, los artefactos, como las sombras ocasionadas por los objetos metálicos o las distorsiones geométricas, influyen negativamente sobre la calidad percibida de la imagen. La relación entre los criterios citados que definen el valor diagnóstico de una imagen se ilustra en la figura 1.

Un aspecto importante del estudio fue determinar si las vistas panorámicas generadas a partir de los registros de TVD poseen el potencial de sustituir a las ortopantomografías digitales convencionales en el diagnóstico de rutina. Debido al vertiginoso desarrollo de la tecnología de TVD cabría pensar que los equipos clásicos de radiología bidimensional serán desplazados por completo a corto plazo por los tomógrafos volumétricos digitales, al menos en el diagnóstico quirúrgico. En tal caso es muy importante proporcionar al usuario una información científica validada sobre las posibilidades y limitaciones de esta nueva técnica, en comparación con los métodos bidimensionales convencionales establecidos y bien estudiados.

Pacientes, material y método

Obtención de imágenes

Los datos de TVD analizados en el presente estudio fueron generados con una versión piloto del sistema GALILEOS (Sirona Dental Systems, Bensheim). Este equipo

consta principalmente de una fuente de rayos X y de un detector 2-D dispuestos uno frente al otro y acoplados a un brazo en U. La unidad de emisor-detector dibuja un arco de circunferencia de 200° alrededor de la cabeza del paciente. Cada grado de rotación angular se toma una imagen bidimensional. Durante el escaneado, que dura un total de 14 s, el paciente se encuentra situado en el centro de rotación sentado o en bipedestación. El posicionamiento ideal de la cabeza del paciente en el volumen de la imagen se consigue con un apoyo del mentón o con un dispositivo de mordida. El tamaño del equipo de TVD es equivalente al de un equipo digital de ortopantomografía. Sus dimensiones espaciales son de aproximadamente $1,8 \times 1,8 \times 2,5$ m (fig. 2).

La tensión del tubo durante la toma es de 90 kV y la intensidad de corriente de 7 mA. Las propiedades de la exposición se pueden modificar seleccionando previamente el producto de la intensidad de corriente y el tiempo de exposición, o los miliamperios por segundo (mAs) en un intervalo de entre 14 y 56 mAs, en pasos de 7 mAs. El tiempo de exposición de cada proyección en bruto oscila entre 10 y 40 ms, dependiendo del producto de mAs prefijado. Todas las tomas de TVD del presente estudio fueron realizadas a 28 mAs, de acuerdo con las especificaciones del fabricante para el uso clínico de rutina. El detector de rayos X consta de un amplificador de imagen de 9 pulgadas (23 cm) y de una cámara de carga acoplada (charge-coupled device, CCD). Cada una de las 200 proyecciones tomadas (las denominadas proyecciones «en bruto») se compone de una matriz de 1.024×1.024 píxeles. Los píxeles se definen a través de una escala de grises de 12 bits. A partir de las proyecciones en dos dimensiones se crea un registro de datos volumétricos utilizando unos algoritmos específicos. El volumen reconstruido posee entonces un tamaño de $15 \times 15 \times 15$ cm.

Los datos tridimensionales se guardan junto con las proyecciones en bruto bidimensionales originales en un formato propio de datos. Los registros de datos también se pueden exportar alternativamente en formato DICOM 3.0. En el modo normal de trabajo la matriz inicial de 1.024×1.024 píxeles se reduce de escala a una matriz de 512×512 píxeles. En consecuencia, el volumen tridimensional reconstruido consta de $512 \times 512 \times 512$ vóxeles isotrópicos (modo de 512^3). Aparte de esto, también se pueden realizar reconstrucciones de alta resolución de zonas seleccionadas según una matriz de 1.024×1.024 píxeles (modo de 1.024^3). Los vóxeles que forman los datos de imagen tridimensionales poseen una longitud de lado de 0,3 mm en el modo de 512^3 y una longitud de lado de 0,15 mm en el modo de 1.024^3 . En el modo normal, el tiempo de reconstrucción alcanza unos



Figura 2. Equipo GALILEOS utilizado en el estudio (versión piloto).

7 min, en función de las especificaciones del hardware y del sistema informático utilizado. En el presente caso se utilizó un sistema de PC con un procesador Intel Xeon de 3,6 GHz (Intel, Santa Clara, EE. UU.) y una memoria de trabajo RAM de 2 GB. El equipo piloto GALILEOS utilizado poseía la marca CE para el uso clínico según la normativa europea para productos sanitarios. El sistema se somete a un plan de mantenimiento de acuerdo con la normativa actual de protección radiológica. Las especificaciones técnicas del equipo se encuentran resumidas en la tabla 1.

Las vistas panorámicas se generaron automáticamente a partir del registro volumétrico mediante el software de visualización del tomógrafo volumétrico digital (fig. 3). Se basan en un volumen parabólico establecido virtualmente, alineado a lo largo del segmento dentario sobre una curva (curva panorámica). Las curvas parabólicas asignadas automáticamente que delimitan el volumen panorámico también se pueden reajustar manualmente, en caso de que al examinador le parezca que están situadas de forma imprecisa o son mejorables. Además, para determinadas zonas de la imagen panorámica que al examinador le interesen en especial, el software ofrece la denominada «ventana de inspección». Dicha ventana comprende una superficie rectangular de 5 cm de ancho por 4 cm de alto y se puede mover libremente dentro de la imagen panorámica paralelamente a la curva panorámica. Es más, la ventana de inspección se puede desplazar de forma continua en dirección transversal por la profundidad del volumen panorámico, siempre en paralelo con la curva panorámica.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de la versión piloto del GALILEOS

Parámetro	Valor
Detector	Amplificador de imagen/CCD
Tensión de tubo (kV)	90
Intensidad de corriente (mA)	7
Tiempo de disparo (s)	14
N.º de proyecciones en bruto	200
Matriz de imagen	Escala de grises de 12 bits de 1.024×1.024 píxeles
Matriz de volumen	$512 \times 512 \times 512/1.024 \times 1.024 \times 1.024$
Tamaño volumétrico (cm)	$15 \times 15 \times 15$
Tamaño de vóxel (mm)	0,30/0,15
Tiempo de reconstrucción (min)	~ 7
Posición del paciente	Sentado/bipedestación
Control automático de la exposición	No

CCD: cámara de carga acoplada.

De esta forma se brinda una información como la obtenida mediante técnicas radiográficas intraorales, como las radiografías de aleta de mordida o las intraorales. Por otra parte, es una ventaja que el plano de la imagen de la ventana de inspección se haga coincidir con la curvatura del segmento dentario y así se pueda orientar exactamente en paralelo con respecto a la arcada (fig. 4).

En el presente estudio se compararon las imágenes panorámicas generadas mediante los registros de datos de

la TVD con las ortopantomografías creadas mediante el ortopantomógrafo digital Orthophos Multiplus XC Plus. Todas las ortopantomografías empleadas fueron tomadas con una tensión de tubo de 71 kV a 15 mA y un tiempo de exposición de 1.400 ms.

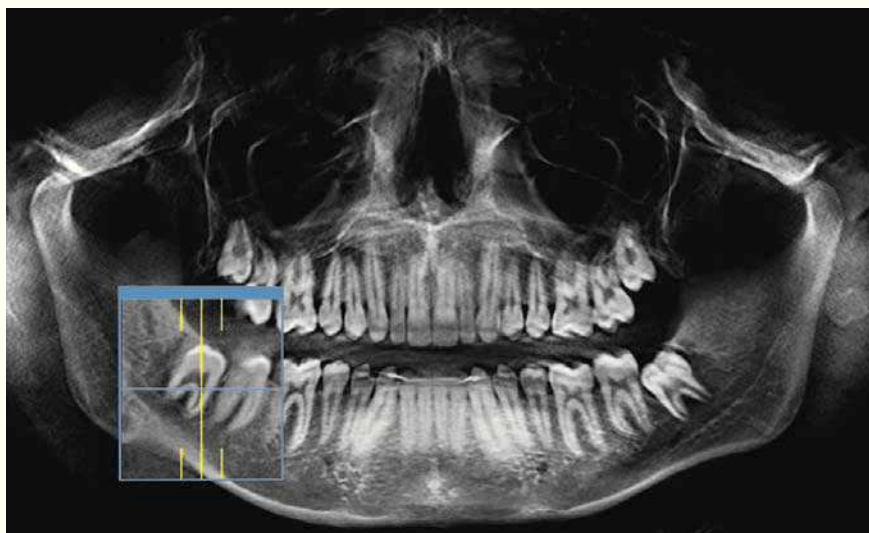
Pacientes

En el estudio se analizaron 30 pares de imágenes de 30 pacientes que habían sido obtenidas con los equipos mencionados más arriba. La edad de los 13 pacientes varones (43,3%) y de las 17 pacientes mujeres (56,7%) osciló entre 20 y 77 años, con una media de edad de 51,9 años ($\pm 14,8$). En general, debía existir una indicación médica para la realización de las radiografías, a fin de evitar exponer innecesariamente a los pacientes a la radiación. La tabla 2 muestra la distribución de las distintas indicaciones. Además, para facilitar la comparación, en el estudio se incluyeron tan sólo las imágenes que mostraron los mismos diagnósticos radiológicos. El intervalo de tiempo entre dos radiografías de un mismo paciente no podía superar los 3 meses. El protocolo del estudio fue aprobado por el Comité Ético de la Facultad de Medicina de la Universidad de Colonia (n.º 05-111). Los pacientes fueron informados de acuerdo con los requisitos de dicho comité ético. Todos los pacientes entregaron un consentimiento informado por escrito.

Registro de los datos y análisis estadístico

Las ortopantomografías fueron visualizadas y valoradas con el software Sidexis (versión 1.11) del equipo Orthophos-XG-Plus (Sirona Dental Systems). Para la visualización de los datos de TVD se utilizó exclusivamente el

Figura 3. Vista panorámica reconstruida a partir de un registro de datos TVD con ventana de inspección en la región del diente 48.



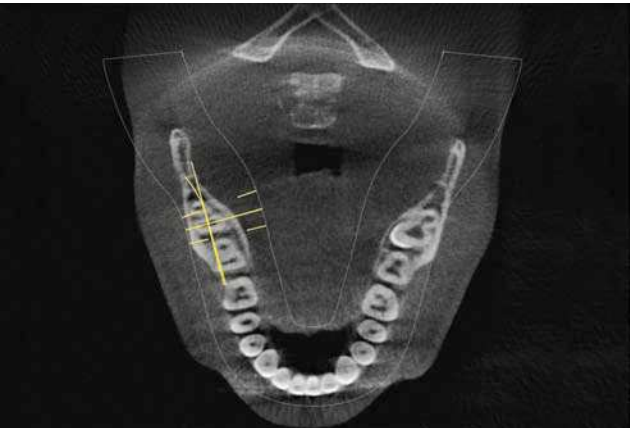


Figura 4. Posición del volumen parabólico para la reconstrucción de la imagen panorámica. Las líneas grises representan los límites del volumen. Las líneas amarillas representan la posición de la ventana de inspección sobre la curva panorámica. La ventana se puede desplazar sobre la curva panorámica seleccionada a lo largo del segmento dentario, o moverse en paralelo a la curva panorámica por la profundidad del volumen.

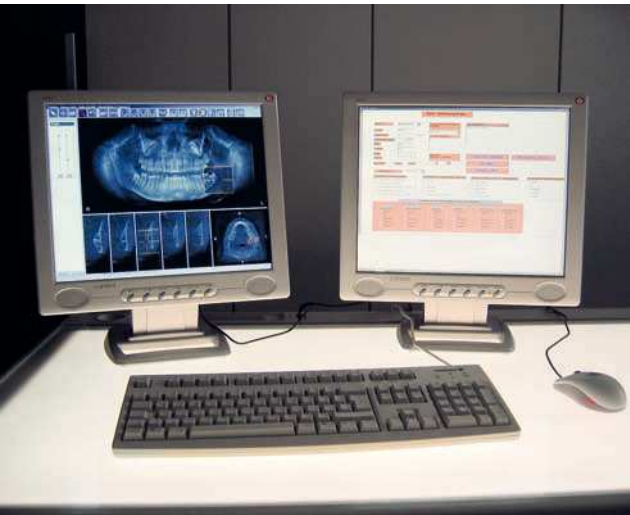


Figura 5. Estación diagnóstica empleada en el estudio.

módulo de visualización panorámica del propio software del equipo GALILEOS. Ambas aplicaciones de software fueron instaladas en el mismo sistema informático (estación diagnóstica), lo que permitió mantener unas condiciones comparables del entorno para valorar las imágenes. Así, los datos de las imágenes se exportaron a través de una red interna desde los servidores de las unidades radiológicas a la estación diagnóstica. Ésta constaba de dos monitores LCD y de un PC. El PC estaba equipado con un procesador Pentium IV de 3,4 GHz (Intel), una memoria de trabajo de 1 GB y una tarjeta gráfica de 256 MB

Tabla 2. Distribución de las indicaciones que generaron las correspondientes radiografías en los 30 pacientes examinados

Indicación	Número	Porcentaje
Planificación de implantes	12	40,00
Quistes	4	13,33
Atrofia de la cresta alveolar	3	10,00
Traumatismo	3	10,00
Dientes desplazados	2	6,67
Malformaciones craneofaciales congénitas	2	6,67
Ortodoncia/cirugía ortognática	1	3,33
Osteonecrosis	1	3,33
Flebolitos	1	3,33
Neoplasias	1	3,33
Total	30	100,00

a una frecuencia de 400 MHz y bus de 128 bits (serie Radeon 9600, ATI Technologies, Markham, Canadá). Ambos monitores (Captiva E1701, ECOM Electronic Components Trading, Bergkirchen-Feldgeding, Alemania) poseían una pantalla de 17 pulgadas y una resolución de 1.280 × 1.024 píxeles, un contraste de 700 a 1, así como una frecuencia de imagen de 75 Hz. Todos los componentes del hardware estaban autorizados técnicamente para el diagnóstico radiológico. La estación diagnóstica se encontraba en una habitación prevista especialmente para ese fin. Dicha habitación disponía de cortinas de oscurecimiento en las ventanas y de una iluminación cenital regulable en intensidad, a fin de posibilitar una iluminación ambiente mínima estándar para realizar un diagnóstico radiológico óptimo (fig. 5).

Las imágenes fueron analizadas en condiciones estandarizadas por tres observadores con experiencia en radiología odontológica y maxilofacial (un cirujano oral y maxilofacial, un cirujano oral y un odontólogo). Para la valoración de las imágenes de TVD sólo estaba permitido utilizar las vistas panorámicas y la ventana de inspección. Las vistas tridimensionales y transversales de los datos de imagen del tomógrafo volumétrico digital fueron excluidas del estudio. Los observadores podían ajustar el contraste y la luminosidad de las imágenes a discreción. No obstante, se hizo poco uso de esta función, ya que ambas aplicaciones de software mostraban las imágenes con ajustes optimizados automáticamente. Aparte de esto, también se podían utilizar las funciones de ampliación.

Tabla 3. Factores de ponderación, resultados de la prueba de la suma de rangos de Wilcoxon para pares igualados (> mejor, = igual, < peor), grado de significación (p), valores medios (VM) y desviaciones estándar (DE) de las puntuaciones y de la correlación intraclass (ICC) para cada uno de los criterios estudiados en los 30 pares de imágenes. Las estructuras anatómicas acumularon un factor de ponderación de 3

Criterio	Ponderación	Resultado	p	VM (DE)	VM (DE)	ICC _{TVD}	ICC _{RP}
Visualización diagnóstica	3,00	TVD = OPG	0,163	1,87 (± 0,78)	1,68 (± 0,65)	0,454	0,619
Calidad de exposición	1,00	TVD < OPG	< 0,001	2,52 (± 0,81)	1,80 (± 0,69)	0,502	0,457
Artefactos	1,00	TVD < OPG	< 0,001	2,91 (± 0,79)	1,78 (± 0,73)	0,596	0,375
Suelo del seno maxilar	0,56	TVD > OPG	< 0,001	1,44 (± 0,60)	2,50 (± 0,97)	0,690	0,687
Suelo de las fosas nasales	0,38	TVD > OPG	< 0,001	1,79 (± 0,86)	3,11 (± 1,19)	0,582	0,517
Foramen incisivo	0,19	TVD > OPG	< 0,001	2,01 (± 1,42)	4,29 (± 1,14)	0,743	0,039
ATM	0,56	TVD > OPG	< 0,001	1,54 (± 0,75)	2,06 (± 0,68)	0,639	0,586
Conducto dentario inferior	0,56	TVD = OPG	0,791	2,29 (± 0,94)	2,26 (± 0,86)	0,602	0,556
Agujero mentoniano	0,56	TVD > OPG	0,003	1,82 (± 1,12)	2,20 (± 1,00)	0,753	0,624
Espesor de mucosa	0,19	TVD = OPG	0,369	4,66 (± 0,89)	4,73 (± 0,70)	-4,441	-0,100

TVD: tomografías volumétricas digitales.

El valor diagnóstico fue evaluado según los criterios ya mencionados de apreciación del diagnóstico, valoración subjetiva de la calidad de exposición, influencia de artefactos así como capacidad de diferenciación de estructuras anatómicas. Entre las estructuras anatómicas estudiadas se encontraba el suelo del seno maxilar, el suelo de las fosas nasales, el foramen incisivo, la ATM, el canal mandibular, el agujero mentoniano y la mucosa de la cresta alveolar. La valoración se realizó asignando una puntuación (escala de números ordinales). Así, un valor de 1 significaba una imagen muy buena o apreciable con mucha nitidez, mientras que una nota de 5 significaba una imagen insuficiente o no apreciable.

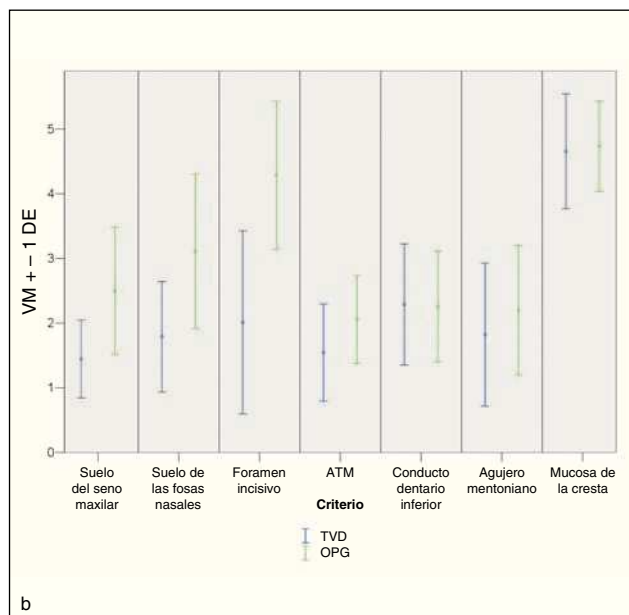
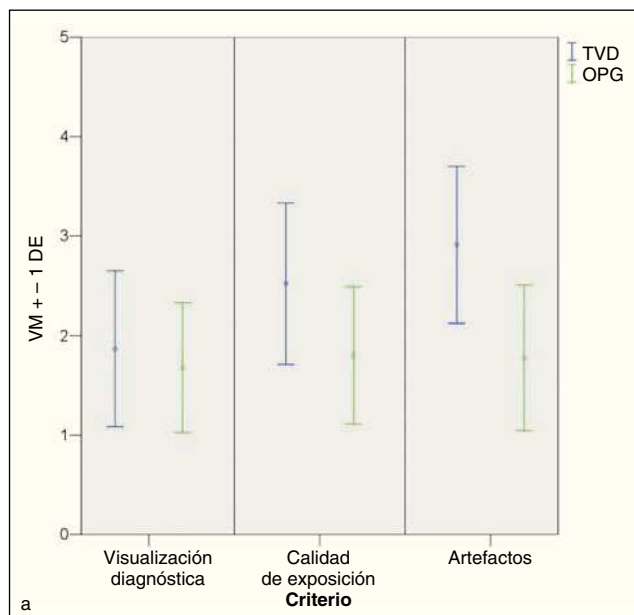
La gestión de los datos capturados de los pacientes, datos radiográficos y resultados diagnósticos se llevó a cabo con la base de datos Microsoft Access 2003 (Fa. Microsoft, Redmond, EE. UU.). A partir de las puntuaciones asignadas se calcularon los valores promedio y las desviaciones estándar, y se representaron en forma de diagramas de barras. Las diferencias estadísticas entre ambas modalidades de diagnóstico por imagen fueron calculadas para cada uno de los criterios analizados mediante la prueba de la suma de rangos de Wilcoxon para pares igualados. Para obtener una cuantificación aproximada del valor diagnóstico de cada radiografía se introdujeron factores de ponderación que reflejaban la importancia de cada criterio analizado en el contexto clínico (tabla 3). La suma de las diez valoraciones ponderadas expresa entonces el valor diagnóstico acumulado de cada radiografía. Estas sumas fueron comparadas para cada modalidad de imagen, aplicando de nuevo la

prueba de la suma de rangos de Wilcoxon para pares igualados.

La variabilidad entre los observadores individuales fue determinada mediante una correlación intraclass basada en un modelo de efectos mixtos para dos variables de coincidencia absoluta. El coeficiente de correlación intraclass así calculado (intra-class correlation coefficient, ICC) arrojó valores entre 0 para ninguna coincidencia, y 1 para una coincidencia absoluta. También podían obtenerse valores negativos, que reflejarían entonces una tendencia de valoración mutua entre ambos observadores. Para calcular cuál de los dos métodos analizados iba asociado a una correlación de valoración más coincidente entre los examinadores, se compararon nuevamente los valores de la ICC para cada criterio mediante la prueba de la suma de rangos de Wilcoxon para pares igualados. El nivel de significación tomado fue como es habitual de $p < 0,05$. El análisis estadístico se realizó mediante el programa SPSS 13.0 para Windows (SPSS, Chicago, EE. UU.). El diseño del estudio así como el análisis estadístico fueron comprobados por el Instituto de Estadística Sanitaria, Informática y Epidemiología (IMSIE) de la Universidad de Colonia.

Resultados

El criterio de visualización diagnóstica obtuvo un valor medio de 1,87 (± 0,78) para las imágenes de TVD y de 1,68 (± 0,65) para las ortopantomografías. La prueba de la suma de rangos de Wilcoxon no arrojó a este respecto ninguna diferencia estadísticamente significativa



Figuras 6a y 6b. Comparación gráfica de los valores medios (VM) y de la desviación estándar (DE) de las puntuaciones para cada criterio del valor diagnóstico. a: Visualización diagnóstica, calidad de exposición y artefactos, b: estructuras anatómicas. TVD: tomografías volumétricas digitales.

entre ambos métodos por imagen estudiados ($p = 0,163$). La ICC fue de 0,45 para las vistas de TVD frente a 0,62 para las ortopantomografías.

La calidad de exposición obtuvo en promedio una puntuación de $2,52 (\pm 0,81)$ para las vistas de TVD frente a $1,80 (\pm 0,69)$ para las ortopantomografías. La prueba de Wilcoxon demostró que este criterio fue valorado como significativamente mejor en las ortopantomografías ($p < 0,001$). La ICC fue de 0,5 en las imágenes de TVD frente a 0,48 en las ortopantomografías.

La intensidad de los artefactos obtuvo como media una puntuación de $2,91 (\pm 0,79)$ para las imágenes de TVD y una nota de $1,78 (\pm 0,73)$ para las ortopantomografías. La prueba de Wilcoxon resultó en que la influencia de los artefactos en el grupo de las ortopantomografías fue significativamente menor que en el grupo de la TVD ($p = 0,001$). La ICC fue de 0,6 en el grupo de la TVD y de 0,38 en el de ortopantomografías.

Los valores medios de la valoración de las distintas estructuras anatómicas fueron de $1,44 (\pm 0,60)$ en el grupo de la TVD frente a $2,5 (\pm 0,97)$ en el grupo de las ortopantomografías para la visualización del suelo del seno maxilar; de $1,79 (\pm 0,86)$ en el grupo de la TVD frente a $3,11 (\pm 1,19)$ en el grupo de las ortopantomografías para la visualización del suelo de las fosas nasales; de $2,01 (\pm 1,42)$ en el grupo de la TVD frente a $4,29 (\pm 1,14)$ en el grupo de las ortopantomografías para el foramen incisivo; de $1,54 (\pm 0,75)$ en el grupo de la TVD frente a $2,06$

($\pm 0,68$) en el grupo de las ortopantomografías para la ATM y de $1,82 (\pm 1,12)$ en el grupo de la TVD frente a $2,2 (\pm 1)$ en el grupo de las ortopantomografías para el agujero mentoniano. La prueba de Wilcoxon demostró que todas estas estructuras anatómicas podían apreciarse estadísticamente de forma significativamente mejor en la reconstrucción panorámica de los registros de TVD que en las ortopantomografías digitales. La visualización del canal mandibular (valor medio de TVD: 2,29, DE: $\pm 0,94$ frente al valor medio de las ortopantomografías de 2,26, DE: $\pm 0,86$) y de la mucosa de la cresta alveolar (valor medio de TVD: 4,66, DE: $\pm 0,89$ frente al valor medio de las ortopantomografías de 4,73, DE: $\pm 0,7$) no mostraron entre sí una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,791$ y $p = 0,369$ respectivamente).

En la tabla 3 se recogen los resultados de la prueba de la suma de rangos de Wilcoxon para pares igualados, los valores promedio y de la desviación estándar así como las correlaciones intraclase. Las figuras 6a y 6b ilustran los valores medios y las desviaciones estándar calculados para cada criterio. La suma promedio de las puntuaciones multiplicadas por los factores de ponderación de cada radiografía fue de $50,84 (\pm 9,29)$ en el grupo de la TVD y de $49,61 (\pm 8,41)$ en el grupo de las ortopantomografías. La diferencia en la prueba de Wilcoxon ($p = 0,629$) no fue estadísticamente significativa. Por tanto, basándose en el modelo de ponderación utilizado, no se objetivó ninguna diferencia significativa en

el valor diagnóstico entre ambos métodos de diagnóstico por imagen.

A excepción de dos radiografías, todos los valores de la ICC en el grupo de la TVD fueron superiores a las del grupo de las ortopantomografías. Sin embargo, la diferencia de coincidencia de los observadores entre ambas técnicas no fue estadísticamente significativa ($p = 0,374$ en la prueba de Wilcoxon). No obstante, en general, la importancia de este resultado es limitada debido al número relativamente bajo de parámetros de comparación disponibles (diez).

Discusión

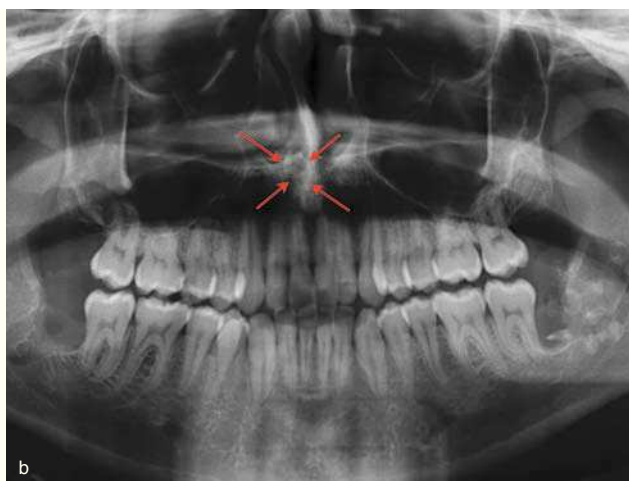
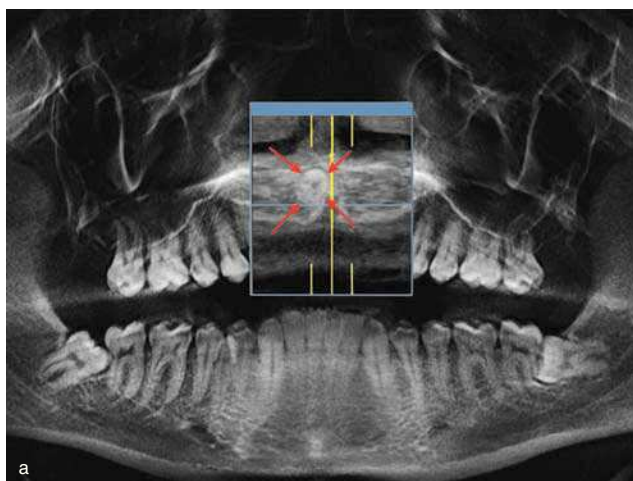
Las imágenes panorámicas reconstruidas a partir de los registros de TVD permiten una buena visualización de las estructuras de los tejidos duros maxilares y mandibulares, por lo que esta técnica se puede considerar como una alternativa a las ortopantomografías convencionales. El presente estudio persiguió el objetivo de proporcionar datos validados sobre el valor diagnóstico de las imágenes panorámicas obtenidas con el equipo de TVD estudiado, en comparación con las radiografías de un ortopantomógrafo digital considerado en ese momento de tecnología punta. Hasta donde llega el conocimiento de los autores no se ha realizado hasta la fecha ningún estudio clínico sobre este asunto. La cuestión que se debe plantear a este respecto es la siguiente: ¿podrá sustituir en el futuro el tomógrafo volumétrico digital a la técnica de ortopantomografía convencional? El estudio utiliza una metodología relativamente sencilla con el fin de obtener una cuantificación acumulada del valor diagnóstico de una radiografía. Puesto que hasta la fecha no existen estudios comparables, los factores de ponderación aplicados a los criterios individuales se han basado más bien en la experiencia clínica que en datos basados en la evidencia. A pesar de estas inseguridades metodológicas, la comparación realizada del valor diagnóstico se puede considerar válida por completo dentro del estudio.

Basándose en un grupo de estudio de 30 pares de imágenes que fueron valoradas subjetivamente por tres evaluadores con respecto a diez criterios diferentes, no se pudo encontrar ninguna diferencia estadísticamente significativa entre el valor diagnóstico de las vistas panorámicas reconstruidas a partir de los registros de TVD y las ortopantomografías digitales ($p = 0,629$). Los criterios que expresan la calidad global de la imagen, como la calidad de la exposición y la cantidad de artefactos, fueron valorados de forma estadísticamente significativa peor en el caso de las vistas de TVD que en el de las ortopantomografías. En cuanto a la calidad de exposición,

las vistas panorámicas reconstruidas a partir de los registros TVD mostraron considerablemente más ruido y menos contraste de imagen que los de las ortopantomografías convencionales. Los artefactos generados principalmente por estructuras de densidad metálica, tales como restauraciones dentales, implantes o materiales de osteosíntesis, fueron claramente más acentuados en las reconstrucciones panorámicas de TVD y redundaron en parte en una pérdida de información en las zonas limítrofes. Los artefactos típicos de las ortopantomografías convencionales, como la superposición de la columna vertebral o de estructuras de la base del cráneo, al igual que las distorsiones geométricas no aparecieron en las reconstrucciones panorámicas de los registros de TVD. Por otra parte, estos artefactos parecieron desempeñar un papel de menor importancia en la valoración que la influencia de los artefactos metálicos.

La calidad de imagen de las vistas panorámicas reconstruidas a partir de la TVD fue valorada como significativamente peor que la de las ortopantomografías, pero no se halló ninguna diferencia estadísticamente significativa entre ambas modalidades de imagen en lo que respecta a la visualización de los hallazgos radiológicos relacionados con el diagnóstico.

Es más, la visualización de casi todas las estructuras anatómicas estudiadas fue significativamente mejor en las reconstrucciones panorámicas que en las ortopantomografías. Una excepción la constituye únicamente la representación del conducto dentario inferior y de la mucosa de la cresta alveolar, que fueron equivalentes. Esta última estructura no se pudo diferenciar de forma fiable ni en las reconstrucciones de TVD ni en las ortopantomografías convencionales. Esta observación se desprende de las malas puntuaciones promedio (4,66 para la TVD, y 4,73 para la ortopantomografía) y de los valores de la ICC negativos ($-4,441$ para la TVD, y $-0,100$ para la ortopantomografía). Debido al valor medio desfavorable de las puntuaciones (4,29) y al bajo valor de la ICC (0,039), el foramen incisivo se puede considerar prácticamente no reconocible en las imágenes convencionales de las ortopantomografías. Por el contrario, esta estructura se puede visualizar y reconocer muy bien en la reconstrucción basada en la TVD, especialmente cuando se incluye adicionalmente la ventana de inspección auxiliar. A la ventana de inspección se le puede atribuir en gran medida la superioridad de las reconstrucciones de TVD en la visualización de las estructuras anatómicas estudiadas, puesto que permitía obtener una visualización de calidad de las zonas seleccionadas prácticamente como la de las radiografías intraorales, esto es, libre de distorsiones geométricas, superposiciones y artefactos metálicos.



Figuras 7a y 7b. Reconstrucción a partir de TVD en el caso de una paciente de 46 años con múltiples hallazgos. Los flebolitos situados en la zona del músculo masetero izquierdo, como puede verse, se reconocen bien en ambas modalidades de exploración. El mesiodens de la espina nasal anterior puede pasar desapercibido fácilmente en la imagen de la ortopantomografía. En cambio se visualiza perfectamente con la ventana de inspección en la vista panorámica reconstruida. La imagen de TVD (a) fue tomada antes de las osteotomías de los dientes 38 y 48, mientras que la ortopantomografía (b) fue tomada después. Los flebolitos fueron resecados extraoralmente en una intervención posterior a través de una vía preauricular.

Ambas técnicas de imagen deben analizarse en cuanto a la variabilidad entre los distintos evaluadores. Esto es válido sobre todo cuando se trata de una técnica relativamente novedosa, como el procedimiento de TVD. En el presente estudio se comparó la variabilidad interevaluador entre ambas técnicas de imagen mediante la correlación intraclase. Este método resulta más eficaz que la alternativa utilizada con frecuencia para el cálculo de la variabilidad interevaluador (prueba estadística del valor de kappa), cuando se deben comparar entre sí más de dos evaluadores⁷. Mediante la prueba de la suma de rangos de Wilcoxon no se pudo confirmar ninguna diferencia en la variabilidad interevaluador entre las dos técnicas de imagen. En este punto hay que tener en cuenta que la prueba, debido a los diez parámetros de comparación disponibles, posee un poder de predicción sólo relativo. Los valores de la ICC en el grupo de la TVD fueron en general superiores a los del grupo de las ortopantomografías. Esto sugiere, al menos como tendencia, una menor variabilidad interevaluador coincidencia entre los observadores, es decir, una menor variabilidad interevaluador para la técnica de TVD. La visualización de la mucosa de la cresta alveolar constituye aquí la única excepción. Los valores de la ICC más bajos encontrados para la visualización de los hallazgos diagnósticos en el grupo de la TVD se deben, con una elevada probabilidad, a la menor calidad de exposición y a la mayor influencia de los artefactos metálicos. La calidad de imagen generalmente más baja influyó negativamente sobre la interpretabilidad de las ra-

diografías de TVD y tuvo como consecuencia una mayor variabilidad en la valoración de las exploraciones por parte de los distintos evaluadores.

En general, los resultados del presente estudio redundaron en algunas conclusiones clínicamente relevantes. Ninguna de las técnicas estudiadas se puede declarar como método claramente superior en cuanto a su valor diagnóstico. Sin embargo, también hay que tener en cuenta que dentro del presente estudio no se estudió todo el espectro de la tecnología TVD. Así, sólo se consideró la reconstrucción bidimensional y la función de la ventana de inspección. Sin embargo, la visualización de reconstrucciones multiplano y tridimensionales –ambas se pueden considerar actualmente como componentes esenciales de la visualización de registros de datos de TVD– es difícil de comparar con las posibilidades diagnósticas de las imágenes de cortes bidimensionales, como las ortopantomografías.

Por este motivo se excluyeron del diseño del estudio las interpretaciones de las imágenes basadas en vistas tridimensionales y transversales.

Las reconstrucciones panorámicas basadas en la TVD y generadas a partir de los datos de imagen del equipo estudiado se pueden hoy recomendar sin duda para el diagnóstico de lesiones específicas de la zona del maxilar y la mandíbula. Los hallazgos patológicos así como los tejidos adyacentes se pueden observar en su posición anatómica relativa correcta y sin superposiciones que interfieran. Para este fin la ventana de inspección ha demostrado su gran utilidad (figs. 7a y 7b así como 8a a 8d). Para la

Figuras 8a a 8d. Lesión sospechosa en el maxilar izquierdo anterior en una paciente de 71 años con un plasmacioma referido en la historia clínica.



Figura 8a. Vista intraoral.



Figura 8b. La ortopantomografía muestra una mucosa hiperplásica en el seno maxilar izquierdo sin lesiones óseas claras (flechas).

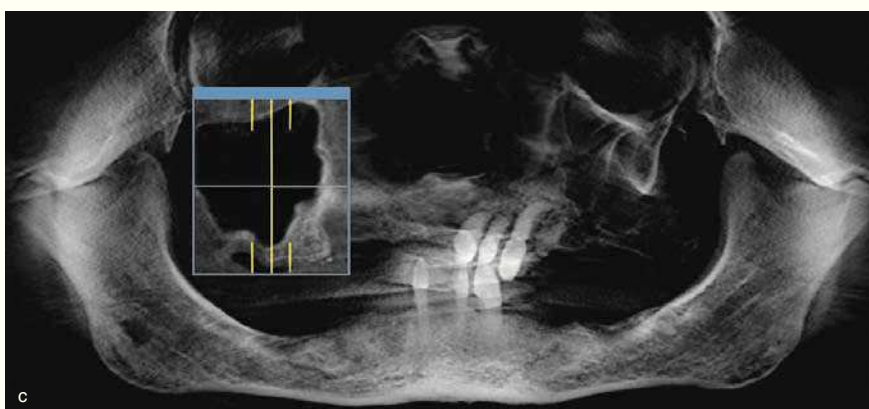


Figura 8c. El lado derecho en la imagen de TVD para su comparación.

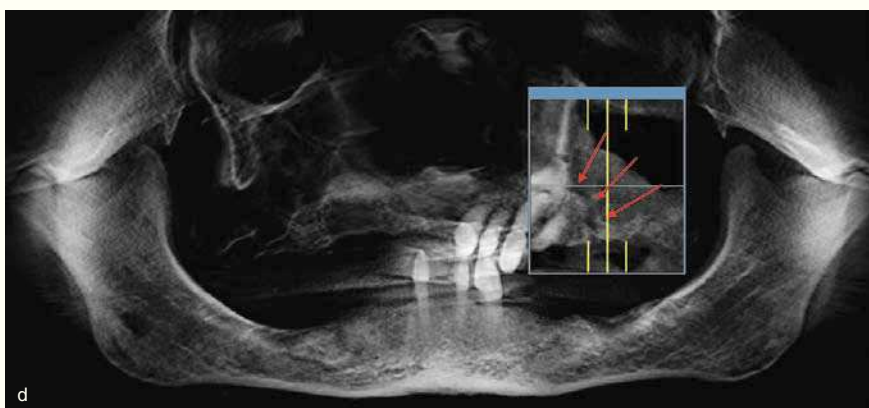


Figura 8d. La reconstrucción de TVD con la ventana de inspección muestra un proceso osteodestructivo y proliferativo en la pared medial del seno maxilar izquierdo (flechas).



Figura 9. Vista panorámica de TVD reconstruida óptimamente, lo que muestra el potencial de la técnica de TVD.

visualización simple, por ejemplo cuando se busca un foco o durante los controles postoperatorios, la ortopantomografía convencional se puede seguir considerando superior, lo que a la postre se debe a su mejor calidad de imagen. No obstante, es de esperar que el avance continuado en el desarrollo de software y hardware redunde pronto en un incremento notable de la calidad de imagen de las reconstrucciones panorámicas basadas en TVD, que no irán entonces por detrás de las ortopantomografías digitales convencionales en lo que a nitidez y contraste se refiere (fig. 9).

A la hora de establecer la indicación para la realización de una radiografía por TVD deberá tenerse en cuenta también, claro está, la dosis de radiación. Dependiendo del equipo, ésta es en las radiografías de TVD entre 2 veces superior (serie GALILEOS) y 5 veces superior (serie piloto de GALILEOS) a la de una ortopantomografía digital. Por ello, la selección de indicaciones para el uso de los equipos de TVD debe realizarse siempre de forma especialmente cuidadosa. El uso adicional de una técnica de imagen tridimensional debe verse en relación con los riesgos de la radiación adicional, especialmente cuando la ortopantomografía puede ofrecer una información diagnóstica absolutamente suficiente para una situación determinada.

Conclusiones

Las vistas panorámicas reconstruidas a partir de registros de TVD pueden considerarse equivalentes a las radiografías digitales convencionales en cuanto a valor diagnóstico. La visualización de estructuras anatómicas importantes fue mejor valorada en las radiografías de TVD que en las ortopantomografías. La representación del conducto dentario inferior fue una excepción. Aunque la calidad de imagen de las reconstrucciones de TVD no alcanza el

nivel de las ortopantomografías, las imágenes de TVD pueden proporcionar información valiosa cuando se trata de visualizar hallazgos específicos y detalles. En cambio, la ortopantomografía brinda generalmente una proyección mejor orientada.

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. Baba R, Ueda K, Okabe M. Using a flat-panel detector in high resolution cone beam CT for dental imaging. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:285-290.
3. Hatcher DC, Dial C, Mayorga C. Cone beam CT for pre-surgical assessment of implant sites. *J Calif Dent Assoc* 2003;31:825-833.
4. Heiland M, Schmelzle R, Hebecker A, Schulze D. Intraoperative 3D imaging of the facial skeleton using the SIREMOBIL Iso-C3D. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:130-132.
5. Heiland M, Schulze D, Rother U, Schmelzle R. Postoperative imaging of zygomatico-maxillary complex fractures using digital volume tomography. *J Oral Maxillofac Surg* 2004;62:1387-1391.
6. Heurich T, Ziegler C, Steveling H, Wörtche R, Mühling J, Hassfeld S. Erweiterte Diagnostik im Rahmen der operativen Weisheitszahnentfernung mittels digitaler Volumentomographie. *Mund Kiefer Gesichtschir* 2002;6:427-432.
7. Hripsak G, Heitjan DF. Measuring agreement in medical informatics reliability studies. *J Biomed Inform* 2002;35:99-110.
8. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 1998;8:1558-1564.
9. Nakagawa Y, Kobayashi K, Ishii H et al. Preoperative application of limited cone beam computerized tomography as an assessment tool before minor oral surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2002;31:322-326.
10. Nakata K, Naitoh M, Izumi M, Inamoto K, Aiji E, Nakamura H. Effectiveness of dental computed tomography in diagnostic imaging of periradicular lesion of each root of a multirooted tooth: a case report. *J Endod* 2006;32:583-587.
11. Tsiklakis K, Syriopoulos K, Stamatakis HC. Radiographic examination of the temporomandibular joint using cone beam computed tomography. *Dentomaxillofac Radiol* 2004;33:196-201.
12. Ziegler CM, Woertche R, Brief J, Hassfeld S. Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 2002;31:126-130.