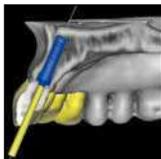


Implantológica asistida por ordenador para una colocación precisa del implante: combinación de férulas de fresado especializadas generadas mediante estereolitografía e instrumentación implantológica quirúrgica



George A. Mandelaris, DDS, MS¹

Alan L. Rosenfeld, DDS²

Samantha D. King, DMD³

Marc L. Nevins, DMD, MMSc⁴

La aplicación de la tomografía computarizada (TC) y el uso de programas informáticos para el tratamiento con implantes dentales han aumentado de forma significativa durante los últimos años. La colocación del implante puede estar «parcialmente guiada», preparándose solamente las zonas de osteotomía con férulas quirúrgicas de perforación secuenciales y removibles (generadas mediante programas informáticos y estereolitografía), o «totalmente guiada», utilizándose una férula para la preparación de la zona de osteotomía y para la entrega del implante. Desde hace poco se dispone de la entrega guiada de implantes con conexión interna específicos para cada fabricante. Esta estrategia de cirugía implantológica guiada por TC utiliza protocolos individualizados e instrumental específico. El objetivo de este artículo es ampliar las publicaciones anteriores relacionadas con la colocación del implante dirigida de forma protésica utilizando un programa informático para asegurar la colocación precisa y resultados protésicos predecibles. En los casos presentados se utilizó cirugía de precisión guiada por TC y se facilitó la entrega inmediata de una prótesis dental. (Rev Int Odontol Restaur Period 2010;14:274-281.)

¹Private Practice, Park Ridge and Oakbrook Terrace, Illinois.

²Private Practice, Park Ridge and Oakbrook Terrace, Illinois; Clinical Professor, Department of Graduate Periodontics, University of Illinois, College of Dentistry, Chicago, Illinois.

³Private Practice, Boston, Massachusetts.

⁴Private Practice, Boston, Massachusetts; Clinical Assistant Professor, Department of Periodontics, Harvard School of Dental Medicine, Boston, Massachusetts.

Correspondencia: Dr George A. Mandelaris, 1875 Dempster Street, Suite 250, Parkside Center, Lutheran General Hospital, Park Ridge, IL 60068; e-mail: GMandelari@aol.com.

La aparición y creciente popularidad de los sistemas de tomografía computarizada (TC) con colimación cónica en la consulta dental, así como la disponibilidad de centros de diagnóstico por la imagen ha mejorado el diagnóstico de la odontología en su conjunto. Gracias al creciente interés y popularidad de la tecnología tridimensional (3D), las empresas implantológicas están incorporando actualmente la odontología implantológica guiada mediante TC en su arsenal para los clínicos¹. El papel de la odontología implantológica asistida por ordenador se está expandiendo para ofrecer la entrega de implantes específicos en posiciones protésicas determinadas preoperatoriamente en los tres planos espaciales: vestibulolingual, mesiodistal y apicocoronal. Además, estas oportunidades y protocolos facilitan la posibilidad de colocar prótesis de carga inmediata o prótesis no oclusales de carga inmediata²⁻⁵. El objetivo de este artículo es ampliar las publicaciones anteriores sobre odontología implantológica asistida por ordenador con relación al concepto de cirugía de precisión total-

mente guiada mediante tomografía para colocar implantes de conexión interna. Se presentan tres casos clínicos para demostrar la aplicabilidad y versatilidad de la cirugía de precisión guiada mediante TC en la práctica clínica.

Férula quirúrgica mediante TC

La colocación de implantes dirigida protésicamente utilizando programas informáticos para asegurar una colocación precisa y resultados protésicos predecibles utilizando un modelado médico de prototipado rápido y férulas de fresado estereolitográficas se ha descrito en publicaciones anteriores⁶⁻⁸. La fase inicial de este cambio de paradigma de una estrategia tradicional para la colocación de implantes a una "asistida por ordenador" incluyó férulas de fresado que se utilizaron exclusivamente para la preparación de la zona de osteotomía (es decir, parcialmente guiada; SurgiGuides, Materialise Dental) o supuso el uso de una única férula para la preparación de la zona de osteotomía y la entrega del implante (es decir, totalmente guiada; sistema SAFE SurgiGuide, Materialise Dental).

La técnica parcialmente guiada con SurgiGuides permite realizar la preparación de la zona de osteotomía controlada en dos planos espaciales: vestibulolingual y mesiodistal. En esta estrategia se utilizan múltiples férulas de fresado secuencial para una preparación precisa de la zona de osteotomía. La profundidad

vertical es un cálculo quirúrgico y no está controlado. Las férulas de fresado se retiran para el avellanado (si es necesario) y se colocan los implantes utilizando la estrategia tradicional no guiada. Posteriormente los implantes se colocan de forma manual en las zonas de osteotomía "asistidas por ordenador".

El sistema SAFE SurgiGuide es un sistema de implantes original totalmente guiado, lo que permite la preparación de la zona de osteotomía controlada y la colocación del implante en tres dimensiones⁹. Se ha adaptado una tecnología similar para utilizar en otros sistemas comercializados¹. Los sistemas SurgiGuides y SAFE SurgiGuide son versátiles, ya que pueden utilizarse en superficies óseas, dentales o mucosas⁶⁻⁸. El estudio preliminar establecido en el sistema SAFE SurgiGuide solamente necesitó una modificación mecánica para facilitar la entrega de los implantes con conexión interna.

La cirugía de precisión con TC y totalmente guiada que utiliza el sistema SAFE SurgiGuide proporciona versatilidad a la superficie de soporte (hueso, diente, diente-mucosa, mucosa) pero utiliza una única férula para la preparación de la zona de osteotomía y la colocación del implante. Cilindros específicos se incrustan en la férula de resina acrílica para acomodar el mango de la fresadora o componentes similares que engarzan íntimamente los cilindros. Luego se utilizan fresas de osteotomía específicas para la zona con topes verticales para controlar la preparación de la zona de osteoto-

mía apicocoronal. El avellanado también está controlado y las tolerancias son extremadamente precisas. Se escoge el tamaño de la fresadora y el mango en función de las necesidades específicas del paciente y del plan TC individualizado. El implante se coloca utilizando dispositivos de entrega específicos hasta una profundidad vestibulolingual, mesiodistal y apicocoronal controlada, establecida por el plan 3D computarizado.

Estas férulas pueden fijarse para evitar el desplazamiento. El sistema presentado en este informe incluye tecnología para controlar la orientación hex. Esto es posible a través de espiras de alineamiento únicas colocadas en el interior del cilindro guía y en el extremo de los dispositivos de entrega. Los tres pacientes de este informe fueron tratados con el sistema Navigator SurgiGuide (Biomet 3i y Materialise Dental).

Paciente 1

Un hombre de 53 años presentó una periodontitis crónica generalizada avanzada y caries macroscópica en la dentición del maxilar inferior. Se diseñó una estrategia para pasar de la dentición natural del paciente a una prótesis implantosoportada. Como parte del protocolo interdisciplinar se obtuvieron modelos maxilomandibulares montados y se fabricó una nueva prótesis inferior. Se consideró que los dientes inferiores existentes estaban en una posición prácticamente óptima en comparación con el plan para una prótesis fija

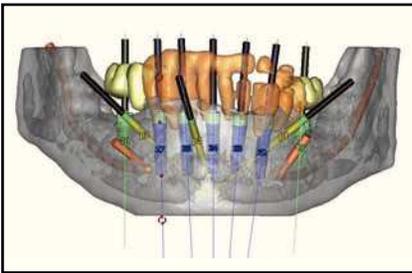


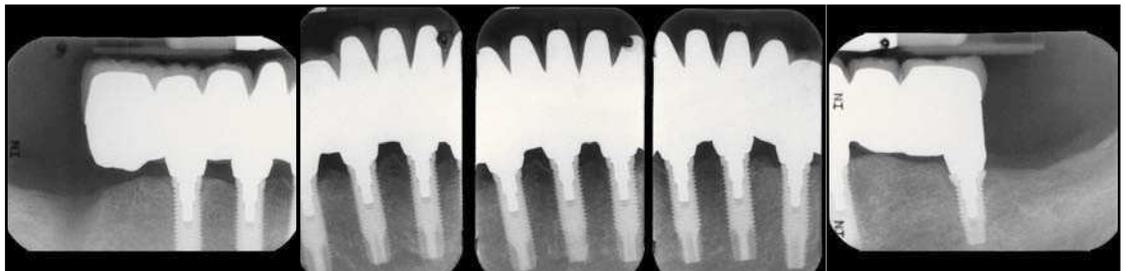
Figura 1a TC y planificación 3D del tratamiento implantológico de una dentición inferior muy deteriorada. Se planificó la colocación de los implantes (azul) y los tornillos de estabilización (amarillo). Se aprecian las máscaras del maxilar inferior, los dientes naturales restantes, el segundo premolar y el primer molar derechos y el primer molar izquierdo virtuales, y los nervios alveolares inferiores.



Figura 1b Asentamiento y fijación de la férula Navigator SurgiGuide soportada por hueso mediante tornillos de estabilización planificados con anterioridad y colocación totalmente guiada en el sector anterior del maxilar inferior.



Figuras 1c y 1d (superior) Resultado final protésico e (inferior) radiografías finales del paciente 1 (cortesía del Dr. Paul Imhof, Des Plaines, Illinois).



implantosoportada de metal-cerámica. Dada esta situación no fue necesario ningún equipo de TC y los dientes existentes se utilizaron como las posiciones finales óptimas. El paciente fue referido para una TC del maxilar inferior con la máscara adecuada, que fue transferida a un programa informático para planificación de implantes dentales (SimPlant Planner, Materialise Dental) con el objeto de establecer un diagnóstico y un plan terapéutico (figura 1a). Las máscaras son una parte importante del procesado, ya que pueden manipularse diferentes

densidades de objetos para crear visualizaciones especializadas que son críticas para el proceso de planificación del tratamiento (figura 1a)⁵. Antes de la cirugía y durante la fase de planificación se logró el control de la periodontitis del paciente y la inflamación local gracias al tratamiento periodontal de raspado y alisado radicular.

Tras la administración de sedación intravenosa y anestesia local se realizó la extracción atraumática de la dentición inferior natural restante. Se reflejó un colgajo de espesor total y se desgranularon todas las



Figura 2a (izquierda) Presentación preoperatoria de un incisivo lateral del maxilar inferior muy deteriorado.

Figura 2b (derecha) Aspecto transversal 2D superpuesto en una representación tridimensional («clip art») del incisivo lateral inferior izquierdo.

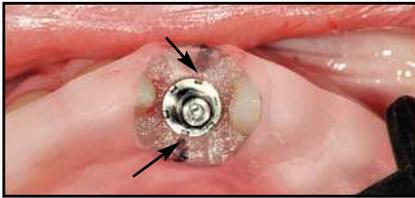
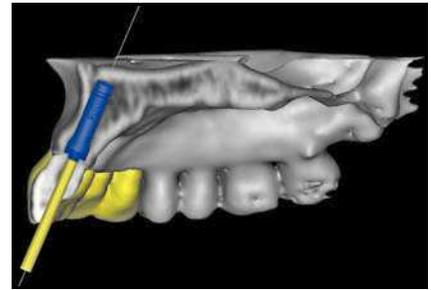


Figura 2c Férula Navigator SurgiGuide soportada por dientes en posición. Se logró la colocación del implante totalmente guiada y sin colgajo. Obsérvese la alineación única de las espiras colocadas en el cilindro guía y en el extremo de los dispositivos de entrega, que permiten controlar la orientación del hexágono (flechas).



Figuras 2 y 2e (superior) Resultado de la prótesis final y (derecha) radiografía final del incisivo lateral restaurado (Cortesía del dr. Joseph Silberman, Evanston, Illinois).



fosas. Posteriormente se eliminaron varios milímetros de hueso alveolar no útil mediante una férula de reducción ósea generada mediante esteolitografía. Tras la osteoplastia de precisión guiada se asentó la férula Navigator SurgiGuide soportada por hueso en la superficie del hueso subyacente y se comprobó su estabilidad y posicionamiento exacto. Se aseguró la estabilidad adicional colocando tres tornillos de estabilización en las zonas planificadas con anterioridad (figura 1a). Posteriormente se realizó la preparación de la zona de osteotomía totalmente guiada y la entrega del implante, según el protocolo individualizado

del paciente (figura 1b). Tras la entrega de siete implantes endoóseos Nanotite Certain (Biomet 3i) en las zonas planificadas con anterioridad, se retiró la férula quirúrgica y se comprobó la estabilidad del implante. Se asentó una prótesis de carga inmediata fabricada prequirúrgicamente en los 5 implantes interforaminales. Tras 4 meses de cicatrización se confirmó la osteointegración, momento en el que se observó la no integración de un implante no cargado (primer molar inferior derecho, cirugía en una fase). La fase protésica se completó con una prótesis fija de metal-cerámica (figuras 1c y 1d).

Paciente 2

Una mujer de 44 años presentó una reabsorción radicular avanzada en el incisivo lateral izquierdo inferior (figura 2a). El proceso de consulta incluyó un plan terapéutico para colocar una restauración implantosoportada con cirugía implantológica de precisión asistida por TC y la colocación inmediata de una restauración provisional fija (figura 2b).

Se montaron los modelos diagnósticos de estudio. El modelo de yeso del maxilar superior se retroajustó en el incisivo lateral izquierdo con un análogo del implante utilizando la férula quirúrgica y permi-

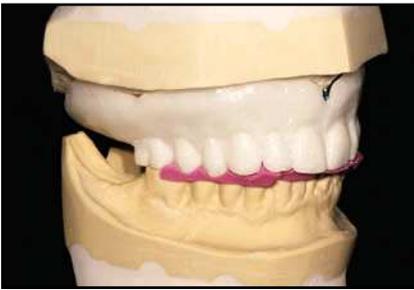


Figura 3a Férula escaneada montada en un gradiente de bario diferencial en posición con el registro de mordida (rosa).

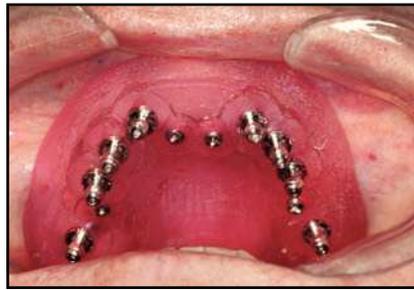


Figura 3b Finalización de la preparación de la zona de osteotomía totalmente guiada y sin colgajo y entrega del implante mediante una férula Navigator SurgiGuide soportada por mucosa.

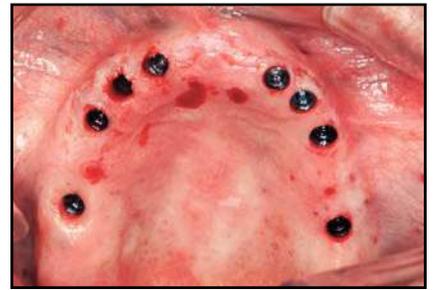
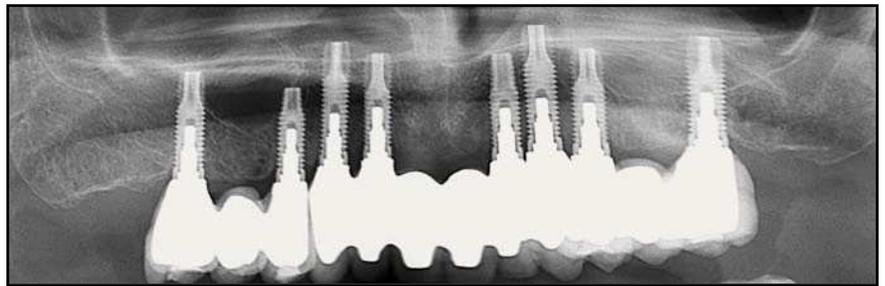


Figura 3c Colocación del implante totalmente guiada y sin colgajo y retirada de la férula Navigator SurgiGuide.



Figuras 3d y 3e (izquierda) Resultado protésico final y (derecha) radiografía final del paciente 3.



tiendo la fabricación de una corona provisional en el laboratorio sobre un pilar provisional. Se extrajo el incisivo lateral superior bajo anestesia local, se asentó la férula Navigator SurgiGuide soportada por el diente y se comprobó la estabilidad, facilitando la colocación totalmente guiada, precisa y sin colgajo del implante (Osseotite Certain, Biomet 3i) (figura 2c). Transcurridos 3 meses de cicatrización sin problemas se completó la fase protésica final (figuras 2d y 2e). Se realizó el injerto de tejido conjuntivo en la zona del canino inferior izquierdo para el recubrimiento parcial de la raíz y el aumento mucogingival en otra cirugía.

Paciente 3

Una mujer de 85 años acudió con una prótesis parcial fija superior defectuosa. Después de pasar por una prótesis completa superior provisional y dejar que transcurrieran 3 meses para la cicatrización postextracción, se evaluó a la paciente para colocar una prótesis provisional fija inmediata mediante cirugía de precisión guiada por TC.

Se verificó la idoneidad de la estética, fonética, estabilidad oclusal, dimensión vertical y ajuste de la base de la prótesis con la dentición de la paciente. La prótesis se duplicó para la fabricación de una terce-

ra férula de escaneo de tercera generación (Tardieu) (figura 3a)⁵. La férula escaneada se estabilizó durante el proceso de imaginaria a través de un registro radiolúcido de la mordida. El plan terapéutico computarizado se realizó utilizando SimPlant para determinar las angulaciones y posiciones precisas para los 8 implantes de la arcada superior. Se planificaron 4 tornillos de estabilización y se incorporaron a la férula quirúrgica para su fijación durante la colocación del implante.

Luego se utilizó una férula Navigator SurgiGuide soportada por la mucosa para crear un modelo de trabajo que permitiese fabricar la pró-

tesis parcial fija provisional para el maxilar superior colocando análogos de los implantes unidos a dispositivos de entrega laboratoriales específicos en la férula utilizando el kit protésico Navigator. Se inyectó una máscara de tejido blando alrededor de los análogos y se colocó lubricante de silicona en el resto de la férula quirúrgica antes de verter un yeso dental adecuado, que actuó como modelo de trabajo. Este modelo se montó en un articulador opuesto al modelo de la arcada inferior colocando la plantilla radiográfica en el modelo de trabajo con el correspondiente registro de mordida. Este registro se transfirió posteriormente a la férula quirúrgica para crear un registro quirúrgico de mordida. El ajuste de este registro y de la férula se confirmó clínicamente antes de la cirugía.

La cirugía implantológica se realizó bajo anestesia local. El tratamiento se inició colocando la férula quirúrgica en el maxilar superior con el registro quirúrgico de mordida y se fijó mediante 4 tornillos de estabilización. Posteriormente se prepararon las zonas implantarias con la férula Navigator SurgiGuide y su protocolo individualizado para la paciente (figuras 3b y 3c). Tras la colocación de los implantes se entregaron 8 pilares personalizados y creados prequirúrgicamente gracias a una plantilla de posicionamiento y se ajustaron manualmente. Se verificó que el ajuste y la oclusión de arcada cruzada provisional fueran correctas y coherentes con lo que se había planificado y la provisional se cementó con cemento temporal. A los 6 meses de la cirugía se inició el tratamiento para

la prótesis definitiva de metal-cerámica (figuras 3d y 3e).

Discusión

La cirugía implantológica guiada por TC se está convirtiendo en una modalidad cada vez más habitual del tratamiento implantológico. Este artículo demuestra la versatilidad de la tecnología guiada mediante TC, específicamente del sistema Navigator SurgiGuide, que facilita la entrega de implantes dentales con conexión interna y, cuando está indicado, de prótesis dentales inmediatas.

Varios autores han demostrado que las férulas quirúrgicas de perforación generadas mediante TC y estereolitografía ofrecen una mayor precisión y exactitud en comparación con los protocolos convencionales no guiados para la preparación de la zona de osteotomía¹⁰⁻¹⁵. La mayoría de estos artículos han demostrado desviaciones en el posicionamiento del punto de entrada (plano axial) del implante de 1 mm y desviaciones de la angulación de unos 5 grados. El protocolo totalmente guiado puede reducir aún más estas desviaciones del punto de entrada y de la angulación dada la influencia potencial del error de posicionamiento del operador cuando utiliza más de una férula o coloca los implantes de forma manual. Errores inherentes como el movimiento de la férula y la influencia de la densidad ósea deben tenerse en cuenta en estas desviaciones cuando se comparan ambos protocolos.

La cirugía de precisión totalmente guiada mediante TC no es la panacea para la colocación óptima de los implantes. Existen varios elementos clave que influyen en la capacidad para lograr el resultado terapéutico deseado, entre los que destacan: 1) la calidad de la imagen de TC, incluidas las proyecciones panorámica, transversal y axial, 2) la fiabilidad de las reconstrucciones en 3D creadas por el técnico radiólogo mediante el programa informático, 3) la calidad del modelado médico de prototipado rápido, 4) el desafío que supone determinar la posición exacta del hueso cresta delgado, que a menudo compite con otras estructuras radioopacas (dientes, férulas escaneadas), 5) las características de la anatomía regional, 6) la estabilidad dimensional del molde de yeso del que se obtiene una imagen óptica en los casos soportados por dientes, 7) la colocación y estabilidad precisas de la férula escaneada en el momento de la obtención de imágenes, 8) el grado de radiación artefactual, 9) el movimiento y ajuste de la férula durante la realización de la cirugía, y 10) el conocimiento y la experiencia del clínico en el análisis y la interpretación de la TC.

El uso de cirugía de precisión totalmente guiada por TC permite realizar intervenciones implantológicas mínimamente invasivas y tiene las ventajas clínicas obvias de reducción del dolor y la tumefacción asociados a las técnicas del colgajo abierto¹⁶. Sin embargo, un protocolo totalmente guiado se asocia con un riesgo muy elevado y exige pres-

tar una gran atención detallada en todas las fases del tratamiento. El uso de modelado médico de prototipado rápido y odontología implantológica asistida por ordenador supone una oportunidad única para lograr resultados quirúrgicos precisos, facilita la fabricación de prótesis dentales antes de la cirugía, y facilita la entrega de las piezas provisionales el mismo día de la intervención.

Estos avances tecnológicos requieren la colaboración de todos los responsables en la atención al paciente. En realidad, cada clínico debe determinar el enfoque diagnóstico más adecuado para una situación determinada. Está claro que esta tecnología desempeña un papel valioso en la mejora de la atención al paciente y en la reducción de la probabilidad de resultados no deseables.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Materialise Dental y a Biomet 3i su apoyo en esta serie de casos al suministrar las férulas, el instrumental quirúrgico y los componentes implantológicos.

Bibliografía

- Garg AK. Implant surgical templates in implant dentistry: NobelGuide. *Dent Implantol Update* 2007;18:25–28.
- Balshi SF, Wolfinger GJ, Balshi TJ. Guided implant placement and immediate prosthesis delivery using traditional Brånemark System abutments: A pilot study of 23 patients. *Implant Dent* 2008;17:128–135.
- Ganz SD. Use of stereolithographic models as diagnostic and restorative aids for predictable immediate loading of implants. *Pract Proced Aesthet Dent* 2003;15:763–771.
- Tardieu P, Vrielinck L, Escolano E. Computer-assisted implant placement. A case report: Treatment of the mandible. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18:599–604.
- Mandelaris GA, Rosenfeld AL. The expanding influence of computed tomography and the application of computer guided implantology. *Pract Proced Aesthet Dent* 2008;20:297–305.
- Rosenfeld AL, Mandelaris GA, Tardieu PB. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 1: Diagnostics, imaging, and collaborative accountability. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26:215–221.
- Rosenfeld AL, Mandelaris GA, Tardieu PB. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 2: Rapid prototype medical modeling and stereolithographic drilling guides requiring bone exposure. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26:347–353.
- Rosenfeld AL, Mandelaris GA, Tardieu PB. Prosthetically directed implant placement using computer software to ensure precise placement and predictable prosthetic outcomes. Part 3: Stereolithographic drilling guides that do not require bone exposure and the immediate delivery of teeth. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26:493–499.
- Tardieu P, Vrielinck L. Implantologie assistée par ordinateur: Le programme SimPlantSurgiCase et le SAFE System. Cas clinique: Mise en charge immédiate d'un bridge mandibulaire avec des implants transmuqueux. *Implant* 2003;19:15–28.
- Sarment DP, Sukovic P, Clinthorne N. Accuracy of implant placement with a stereolithographic surgical guide. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18:571–577.
- Sarment DP, Al-Shammari K, Kazor CE. Stereolithographic surgical templates for placement of dental implants in complex cases. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:287–295.
- Van Assche N, van Steenberghe D, Guerrero ME, et al. Accuracy of implant placement based on pre-surgical planning of three-dimensional cone-beam images: A pilot study. *J Clin Periodontol* 2007;34:816–821.
- Van Steenberghe D, Malevez C, van Cleynebreugel J, et al. Accuracy of drilling guides for transfer from three-dimensional CT-based planning to placement of zygoma implants in human cadavers. *Clin Oral Implants Res* 2003;14:131–136.
- Loubele M, Guerrero ME, Jacobs R, Suetens P, van Steenberghe D. A comparison of jaw dimensional and quality assessments of bone characteristics with cone-beam CT, spiral tomography, and multislice spiral CT. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007;22:446–454.
- Di Giacomo GA, Cury PR, de Araujo NS, Sendyk WR, Sendyk CL. Clinical application of stereolithographic surgical guides for implant placement: Preliminary results. *J Periodontol* 2005;76:503–507.
- Oh TJ, Shotwell J, Billy E, Byun HY, Wang HL. Flapless implant surgery in the esthetic region: Advantages and precautions. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2007;27:27–33.