

Estereolitografía y planeamiento por computadora en cirugía maxilofacial

Stereolithography and computer planning in maxillofacial surgery

*Gustavo Vargas-Soto, Hospital San Juan de Dios, CCSS, Costa Rica, gusvarso@gmail.com
Rodrigo Licéaga-Reyes, Hospital Juárez de México. México D.F., r_liceaga@hotmail.com*

RESUMEN

La estereolitografía es el método de impresión de un modelo tridimensional, basado en la información de imágenes tomográficas, utilizado como herramienta de diagnóstico y plan de tratamiento quirúrgico. El propósito de este trabajo es mostrar la utilidad de los modelos 3D, así como el planeamiento quirúrgico por computadora, en los distintos campos de la cirugía maxilofacial. Se realiza una revisión de literatura, se presentan casos clínicos y se analiza el valor de esta tecnología en nuestra especialidad quirúrgica.

PALABRAS CLAVE

Maxilofacial, estereolitografía, modelo tridimensional, planeamiento por computadora.

ABSTRACT

Stereolithography is the method of printing a tridimensional model, based on the information from tomographic images, used as a tool of diagnosis and surgical treatment plan. The purpose of this paper is to show the usefulness of 3D models and surgical computer planning, in the different fields of maxillofacial surgery. A literature review is performed, clinical cases are presented and the value of this technology in our surgical specialty is analyzed.

KEYWORDS

Maxillofacial, stereolithography, 3D model, computer planning.

Recibido: 20 enero, 2015

Aceptado para publicación: 2 junio, 2015

INTRODUCCIÓN

La estereolitografía se origina a partir de los sistemas de diseño asistido por computadora (CAD). El primero fue creado en 1963 en EE.UU, y a inicios de los años ochenta se consolidó su uso en diseño industrial, en prototipos automovilísticos y aeronáuticos. Pocos años después, el programa dio un salto con los primeros sistemas de diseño asistido por computadora en tercera dimensión (CAD3D), lo que permitió la obtención de modelos biomédicos.

Las primeras máquinas trabajaban mediante fresado, y posteriormente aparecieron métodos de fabricación de modelos tridimensionales por capas, en diversos materiales de manera rápida y económica.

El primer equipo de estereolitografía fue desarrollado por Charles Hull en 1982, y en 1992 aparecen los primeros sistemas selectivos por Laser (SLS), e impresoras 3D.1 La técnica se basa en la fabricación del modelo por polimerización de resina líquida sensitiva a rayos UV. Se utiliza un rayo láser en un plano horizontal, con construcción vertical mediante la sumersión del modelo en capas de 0,05mm.

Para explicar con más detalle, la estereolitografía consiste en un baño de resina fotosensitiva, una plataforma sobre la cual se construye el modelo y un láser ultravioleta. Un espejo controlado por computadora guía el láser hacia la resina, la cual es curada cuando se expone a la radiación UV. Cuando una capa de resina es curada, la plataforma desciende una pequeña distancia y otra vez el láser endurece otra capa. La propiedad autoadhesiva del material causa que las capas se unan y eventualmente formen un objeto 3D completo y robusto. La duración del proceso ronda entre 8 y 14 horas.

Los modelos tridimensionales son hechos de distintos materiales: sulfato de calcio, almidón, polímeros como resina Epoxy y resina acrílica. Los primeros requieren de una cuidadosa manipulación, mientras que los más modernos de resina acrílica son más resistentes y pueden ser esterilizados.

Los cortes tomográficos de 0,5 a 1 mm permiten la fabricación de modelos precisos. Se ha informado variaciones con respecto a la anatomía de 0,63% y 0,56%.

Jiménez y Benavides explican que el proceso consiste en obtener modelos en tercera dimensión de cualquier estructura anatómica, mediante un avanzado programa de cómputo, con la información de un estudio tomográfico o resonancia magnética almacenados en formato DICOM, lo que permite observar la anatomía del paciente así como sus defectos estructurales o patológicos.

Las especificaciones para el uso de los modelos estereolitográficos en cirugía oral y maxilofacial son:

- malformaciones y cirugía craneofacial
- cirugía de tumores
- traumatología
- reconstrucción
- cirugía ortognática
- distracción osteogénica
- implantología

CASOS CLÍNICOS

CASO 1. AMELOBLASTOMA SÓLIDO MANDIBULAR

Paciente masculino de 48 años de edad, sin antecedentes patológicos de relevancia, quien refiere un aumento de volumen progresivo en la mandíbula de 10 meses de evolución. Con el examen clínico se detecta un tumor en la región alveolar y gingival mandibular izquierda, que se extiende hacia

el vestíbulo y con expansión de la cortical lingual. Se palpa una consistencia blanda, no sangran-te, con movilidad dental. En la panorámica se observa una imagen radiolúcida multilocular, con bordes definidos, de forma bilateral en el cuerpo mandibular, y afecta el borde basal así como el hueso alveolar, con desplazamiento y reabsorción radicular. En la tomografía se confirma la presencia de una lesión osteolítica que expande y reabsorbe las corticales vestibular y lingual, e infiltra tejido blando. Se toma una biopsia incisional con resultado de ameloblastoma sólido folicular mandibular.

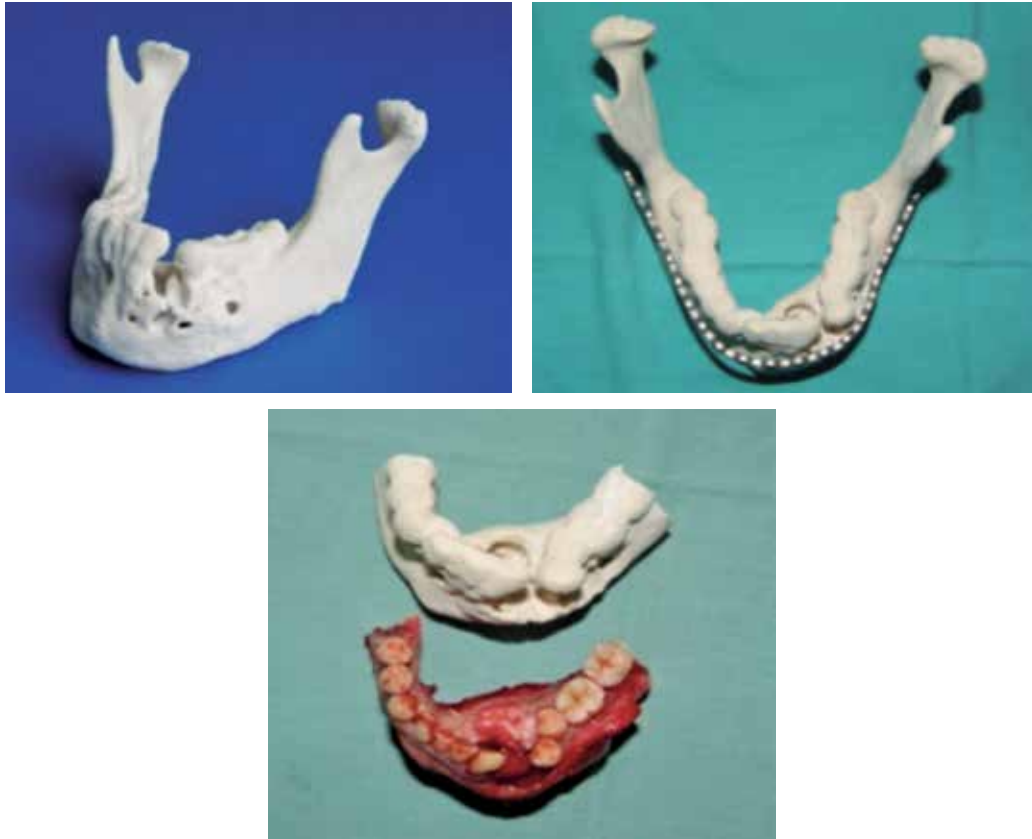
El tratamiento elegido fue resección segmentaria y colocación de placa de reconstrucción. En un segundo tiempo quirúrgico se realizó una transferencia de un colgajo vascularizado de fíbula.

En este caso la estereolitografía se utilizó para mostrar al paciente su problema y explicarle el plan quirúrgico. Se definieron las dimensiones y el grado de expansión del tumor. Además, se modeló previo al procedimiento la placa de reconstrucción de forma favorable, simétrica, atraumática y así disminuyó el tiempo operatorio.

CASO 2. AMELOBLASTOMA UNIUÍSTICO MANDIBULAR

Paciente masculino de 17 años de edad, quien acude a valoración por un aumento de volumen progresivo de la región correspondiente a la rama mandibular izquierda. En el examen clínico, la piel de la cara tiene adecuada coloración e hidratación y sin compromiso de estructuras blandas como músculos de la expresión facial, nervio facial, glándulas salivales mayores incluido conducto parotídeo funcionales. Leve limitación de apertura oral, parestesia de labio inferior, y mucosa oral de adecuado

Caso 1. Ameloblastoma sólido mandibular



Fotos 1, 2, 3: Modelo tridimensional de un ameloblastoma mandibular

Caso 2. Ameloblastoma uniuquístico mandibular

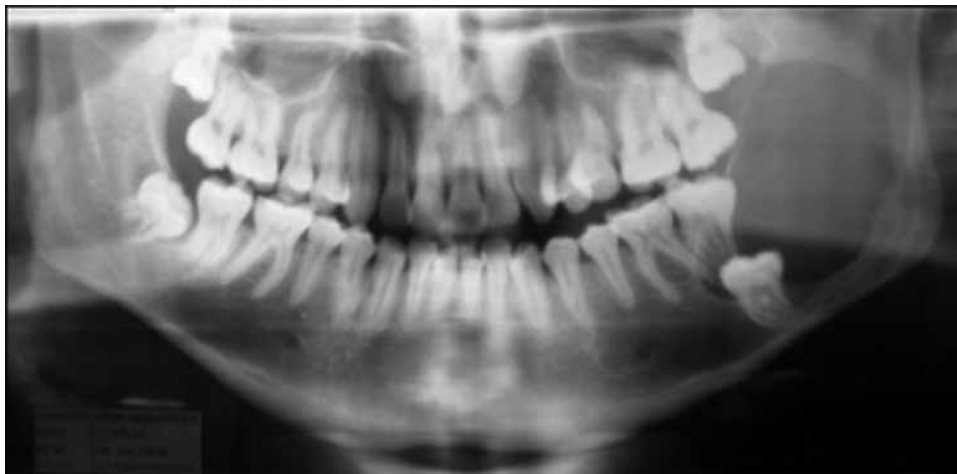


Foto 4: Caso de ameloblastoma uniuquístico donde se muestra la imagen radiográfica.

aspecto, con edema de la región retromolar izquierda, levemente doloroso a la palpación, firme, no fluctuante, con leve disoclusión por esta misma razón. En la radiografía y el TAC se confirma la presencia de una patología osteolítica en el ángulo y la rama mandibular izquierda, con expansión, adelgazamiento de corticales y un tercer molar desplazado. Se realiza una biopsia incisional con diagnóstico de ameloblastoma uniuquístico.

Bajo anestesia general se realiza una excisión del tumor mediante enucleación y curetaje, más osteotomía periférica. El paciente evolucionó favorablemente con adecuada cicatrización de la mucosa oral y regeneración ósea.

El modelo tridimensional fue valioso para comprender la localización y extensión del tumor, la expansión y el adelgazamiento de las corticales afectadas, la posición del tercer molar y el compromiso del borde basal. Se descartó una afectación de la articulación temporomandibular. El modelo ayudó también para diseñar el abordaje quirúrgico y realizar el procedimiento con mayor información.

CASO 3. ASIMETRÍA FACIAL Y ANQUILOSIS POR UN TUMOR INFRATEMPORAL

Se trata de un paciente masculino de 14 años de edad, quien acude a valoración debido a que presenta una deformidad notoria en el tercio medio facial izquierdo. Durante la anamnesis refiere que se trata de un crecimiento progresivo desde la niñez y además que no puede abrir su boca desde años atrás, lo que le imposibilita comunicarse favorablemente y alimentarse. En la exploración física se descarta un problema de los tejidos blandos faciales y se palpa la deformidad en la región del cuerpo del malar, el rango de apertura oral era mí-

nimo no mayor a 5 mm y presentaba además micrognatia. En la ortopantomografía se observa una hiperplasia de ambas apófisis coronoides. En la tomografía se descubre la presencia de un tumor de consistencia dura en la fosa infratemporal, originado de la apófisis coronoides pero en estrecha relación con la cara interna del cuerpo del hueso malar, lo que provoca protrusión, adelgazamiento y deformidad malar. Este atrapamiento mecánico dio lugar a una anquilosis mandibular extraarticular.

Mediante abordajes preauricular e intraoral se realiza una coronoidectomía más excisión del tumor, separándolo cuidadosamente del arco cigomático, de la fascia y el músculo temporal y así como la cara interna del cuerpo del malar. El resultado histopatológico fue

de osteocondroma. En el período posoperatorio se enfatizó en la fisioterapia y se logró obtener un adecuado rango de apertura oral. Posteriormente, el paciente inició un tratamiento de ortodoncia previo a su cirugía ortognática para atender la asimetría facial y la falta de crecimiento mandibular.

El modelo 3D en este caso es de gran utilidad para entender el padecimiento y la razón de la anquilosis mandibular. El modelo permitió conocer las dimensiones exactas del tumor y de la apófisis coronoides afectada. Mostró con exactitud la localización del tumor en el espacio infratemporal, medial al arco cigomático y atrapado en la cara interna del cuerpo del malar.

El modelo 3D permite analizar la simetría y la proporción del es-

Caso 2. Ameloblastoma uniuquístico mandibular

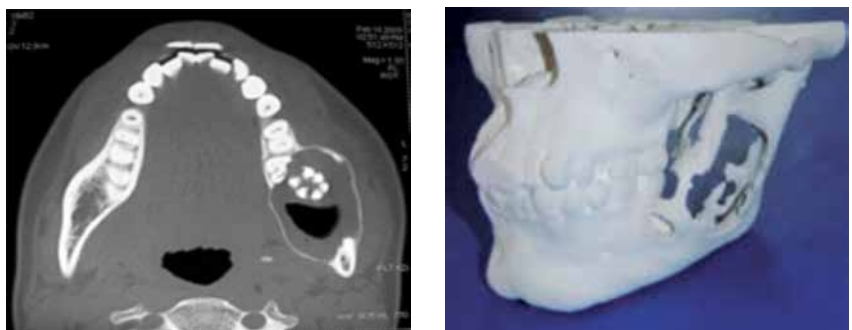


Foto 5, 6: Corte axilar de tomografía y el modelo estereolitográfico.

Caso 3. Asimetría facial y anquilosis por un tumor infratemporal



Foto 7, 8: El modelo 3D muestra un paciente con una deformidad facial ocasionado por un tumor de apófisis coronoides.

queleto facial, medir las malformaciones y discrepancias esqueléticas de los maxilares, realizar un correcto diagnóstico y planear el procedimiento de cirugía ortognática o distracción ósea.

CASO 4. TUMOR ÓSEO MANDIBULAR

Paciente femenina de 27 años de edad, sin antecedentes patológicos, quien acude a consulta refiriendo una sensación de presión en la mandíbula, parestesia de labio inferior y una deformidad progresiva en los últimos 9 meses. Durante la exploración facial, era notorio el aumento de volumen del tercio inferior facial. Los tejidos blandos periorales e intraorales se encontraban sanos.

Se palpaba un tumor de consistencia dura en el vestíbulo así como en la cortical lingual mandibular y piso de boca. Los dientes presentaban apiñamiento sin movilidad. En la ortopantomografía se observa una lesión radiomixta, áreas intermedias radiopacas y radiolúcidas. En el TAC se confirma la presencia de un tumor que deforma el cuerpo mandibular, y afecta el hueso medular así como las corticales. El resultado de la biopsia dio un osteoblastoma.

El tratamiento consistió en una resección mandibular segmentaria con colocación de una placa de reconstrucción. Se colocó un injerto de cresta ilíaca el cual sufrió de exposición oral y falló, razón por la cual la placa de reconstrucción fue vital para su rehabilitación y luego de dos años, se reconstruyó de forma secundaria con un colgajo vascularizado de fíbula.

Este modelo estereolitográfico moderno hecho de resina acrílica, muestra con mucho detalle la mandíbula con estructuras anatómicas como el canal mandibular, órganos dentales con sus respecti-

Caso 4. Tumor óseo mandibular



Foto 9, 10: Moderno modelo estereolitográfico de resina acrílica, de alta exactitud, con colores que muestra detalles anatómicos y se demarca el tumor mandibular.

vas raíces, dientes retenidos. Además, se marca el tumor con color, lo que facilita su reconocimiento y medir su extensión y sus dimensiones, así como su relación con otras estructuras. Esta información es de relevancia para el cirujano a la hora de definir el plan quirúrgico, se modela el material de osteosíntesis de reconstrucción con antelación, procurando mayor exactitud, por lo que también es posible también medir el tamaño y la forma del defecto para diseñar el injerto o el colgajo que se va a transferir.

CASO 5. RECONSTRUCCIÓN DE TERCIO MEDIO FACIAL

Reconstrucción de órbita. El modelo muestra un caso de un tumor maxilar izquierdo, con infiltración y pérdida de piso órbita, maxila y cigoma. La estereolitografía permite medir las dimensiones del tumor y del defecto, seleccionar y moldear la malla de titanio y planear el injerto de cresta ilíaca para reconstruir el defecto.

CASO 6. RECONSTRUCCIÓN MANDIBULAR CON PLANEAMIENTO POR COMPUTADORA

Paciente masculino de 30 años de edad. Presenta un aumento de volumen mandibular progresivo a lo largo de varios años. Refiere la sensación de presión, parestesia del labio inferior, dificultad para

masticar así como un rechazo social por su deformidad facial. Se toma una biopsia y se diagnostica un fibroma osificante.

El tratamiento planeado es una resección mandibular segmentaria, que abarca el cuerpo mandibular de forma bilateral más reconstrucción inmediata con colgajo vascularizado de fíbula.

Caso 5. Reconstrucción de tercio medio facial



Foto 11. Reconstrucción de órbita. El modelo muestra un caso de un tumor maxilar izquierdo, con infiltración y pérdida de piso órbita, maxila y cigoma. La estereolitografía permite medir las dimensiones del tumor y del defecto, seleccionar y moldear la malla de titanio y planear el injerto de cresta ilíaca para reconstruir el defecto.

Se solicita una tomografía del maxilar facial y del fémur izquierdo. Se utiliza un sistema de computación, para aislar y modificar los cortes tomográficos según el plan quirúrgico. Además se modela el fémur según las osteotomías planeadas y de forma que se restituya el arco mandibular en una posición favorable, para la colocación posterior de implantes dentales.

De esta forma, se toma en cuenta en el planeamiento, primero la oclusión y la rehabilitación dental, posteriormente la posición de los implantes y según esto, se decide la colocación del colgajo de fémur tratando de hacer coincidir estos factores, y procurando además alcanzar una armonía con el res-

to del esqueleto facial. Utilizando este programa es posible medir y confirmar aspectos como la línea media, la simetría, la posición vestibulo-lingual y la proyección anterior de la fémur.

El modelo tridimensional permite transferir el plan quirúrgico hecho con la computadora a la sala de operaciones. La estereolitografía con el plan quirúrgico digital, se utiliza para calcular el tamaño de hueso requerido, modelar la placa de reconstrucción, fuera del quirófano, previo al procedimiento, asegurando una adecuada longitud, con dobleces hechos manualmente favorables y con una cantidad y posición de tornillos correcta. Esta placa de titanio

guía, a la vez, los cortes para modelar la fémur y la posición final de la reconstrucción mandibular.

DISCUSIÓN

La estereolitografía es considerada como una tecnología de prototipos rápidos, que provee modelos de gran exactitud y mejor terminado de la superficie que cualquier otra.

En cirugía craneofacial, estos modelos pueden ser utilizados en casos difíciles de deformidades como hipertelorismo, plagiocefalia, síndromes como Crouzon, Apert, microsomnia hemifacial, fisuras faciales. Además, en defectos traumáticos que requieren de reconstrucción de cráneo u órbita. Facilita el diagnóstico, ya que se conoce con detalle la anatomía de la base de cráneo y esqueleto facial, se puede medir el tamaño del defecto, analizar asimetrías, planear osteotomías así como la colocación y vector de los distractores óseos. En casos de defectos craneales, permite la confección de prótesis individualizadas, fabricadas previamente al procedimiento o el diseño de injertos. A inicios del 2000, se recomendaba la cirugía virtual, cortando y ejecutando el plan en el modelo 3D, para analizar las posibles complicaciones, el resultado final y modelar el material de osteosíntesis. En los últimos años, los sistemas de planeación por computadora facilitan la cirugía virtual. Además, a pesar del costo, se ha informado el uso de distractores y de prótesis de ATM, hechos según la medida y requerimientos del paciente.

En implantología el objetivo principal es colocar unos implantes dentales con suficiente estabilidad e integración ósea, que soporten favorablemente una rehabilitación dental protésica. El uso de modelos 3D impresos para el diagnóstico y la fabricación de guías

Caso 6. Reconstrucción mandibular con planeamiento por computadora

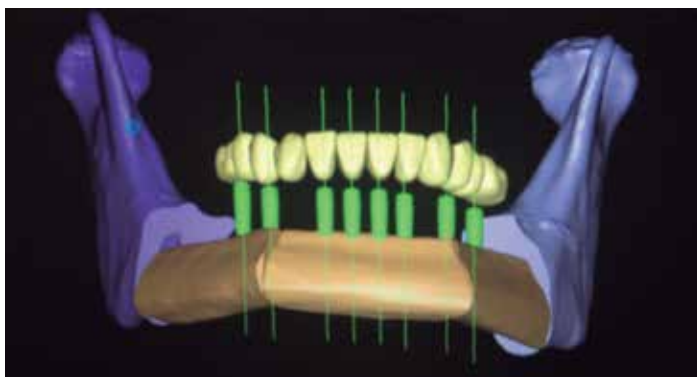


Foto 12,13: Plan de tratamiento computarizado de reconstrucción mandibular, donde se planea la resección del tumor, se modela la fémur y se posiciona de forma que tenga una adecuada relación intermaxilar y que permita la colocación de implantes dentales. Modelo tridimensional de la reconstrucción con fémur o peroné, que permite medir y modelar el material de osteosíntesis, guiar las osteotomías y transferir el plan computarizado al paciente.

diseñadas y manufacturadas por computadora, son herramientas versátiles y precisas. Se combina el plan prostodóntico con una réplica de la prótesis deseada con marcadores radiopacos, más el análisis tomográfico de estructura ósea disponible, y mediante el uso de un software, se planea la posición, longitud y disposición de los implantes osteointegrados. Posteriormente con la técnica de estereolitografía o impresión 3D se fabrican las guías quirúrgicas.

Kermer et al informan el uso de modelos estereolitográficos en trauma cráneo-maxilofacial, como auxiliar en el diagnóstico de casos de fracturas panfaciales o reconstrucciones secundarias. Describen la cirugía guiada, cortando el modelo, para posteriormente, reducir las fracturas, modelar la osteosíntesis y así planificar la cirugía previa al procedimiento como tal. Más recientemente, Xia, Gateno y Teichgraeber, dan a conocer el "abordaje reverso", en el cual se planean las osteotomías y se reposicionan los fragmentos óseos mediante un programa de computadora, se obtiene un modelo tridimensional basado en el objetivo, lo que permite predoblar las placas de osteosíntesis y guiar la reducción. Esto puede combinarse con navegación quirúrgica.

En el manejo de patología se ha descrito previamente las ventajas que estos modelos ofrecen. El cirujano puede comunicarse con más facilidad y comprender a fondo, la localización, extensión, y relaciones de la patología en estudio. La técnica de estereolitografía de colores, desarrollada muy recientemente, permite colorear y diferenciar estructuras anatómicas, pues se identifican las dimensiones de la patología y se planea con más exactitud cirugías complejas de tumores. En cuanto a la reconstrucción, esta técnica

de impresión 3D cumple un papel muy importante, mediante el uso de plantillas para guiar la toma del injerto, modelar con anticipación la placa de reconstrucción lo que determina la configuración del colgajo o tejido transferido, así como seleccionar la posición y tamaño de los tornillos. Es posible realizar cirugía virtual, segmentando las imágenes del TAC, de la forma como se eliminaría el tumor, y mediante "imagen en espejo" del lado contrario de la cara o segmentando el hueso seleccionado como donante, es posible reconstruir al paciente en la computadora y obtener un modelo 3D de este proceso.

Entre otros usos, se ha mencionado la posibilidad de que estos modelos tridimensionales tengan un espacio en la medicina forense, ya que pueden mostrar patrones y mecanismos de heridas.

Según un estudio europeo multicéntrico, las aplicaciones de los modelos estereolitográficos en la cirugía maxilofacial son: ayudar a la producción de implantes, mejorar la calidad de diagnóstico, mejorar el plan quirúrgico, orientar al cirujano durante el procedimiento, ser utilizada en simulación prequirúrgica, mejorar la comunicación con el paciente y obtener el consentimiento quirúrgico, preparar una plantilla o guía de resección quirúrgica así como modelar la placa de reconstrucción y el material de osteosíntesis previo al procedimiento.

Chow y Cheung realizaron un estudio sobre la opinión de cirujanos, residentes, técnicos y pacientes, en cuanto a la utilidad de los modelos estereolitográfico en cirugía maxilofacial, en casos de reconstrucción, distracción, patología y trauma. De 45 estereolitografías, 24 fueron empleadas en distracción osteogénica (53,3%), 15 para

cirugía reconstructiva (33,3%), 3 para cirugía de articulación temporomandibular (6,7%), 2 para patologías y 1 en un caso de trauma. Los cirujanos encontraron estos modelos particularmente útiles en simulación quirúrgica, fabricación de prótesis, como guía intraoperatoria en cirugía reconstructiva, y los consideraron extremadamente favorables como herramienta de enseñanza y comunicación con el paciente. Para los estudiantes, los modelos les ayudaban a apreciar la patología en tres dimensiones y les facilitaban realizar el plan de tratamiento. Para los técnicos, las características físicas de los modelos les permitían trabajar en ellos y fabricar las prótesis con mejor comunicación con los cirujanos y el paciente. Y, por último, en el caso de los pacientes, valoraron los modelos 3D como una herramienta útil, y recomendaban su uso.

Erickson y cols. en otro estudio de opinión sobre beneficios de los modelos estereolitográficos, informaron que el 62% de los cirujanos encuestados los consideraba importantes para un adecuado diagnóstico, un 92% asegura que favorecen al desarrollo del plan de tratamiento, el 73% se apoyaban en ellos para la educación de sus pacientes y el 77% pensaban que su empleo disminuye el tiempo operatorio. ■■■

Dr. Gustavo Vargas Soto
Profesor Cirujano Oral y Maxilofacial del Hospital San Juan de Dios. San José, Costa Rica

Dr. Rodrigo Licéaga Reyes
Profesor Cirujano Oral y Maxilofacial del Hospital Juárez de México. México D.F.

Correspondencia:
Dr. Gustavo Vargas Soto
correo: gusvarso@gmail.com
Servicio de Cirugía Maxilofacial del Hospital San Juan de Dios
Caja Costarricense de Seguro Social, CCSS.
Apartado postal 10103. San José, Costa Rica

BIBLIOGRAFÍA

Bill JS et al. (1995) *Stereolithography in oral and maxillofacial operation planning. Int J. Oral Maxillofac Surg* 24: 98-103.

Chow, L.K., Cheung, L.K. (2007) *The Usefulness of Stereomodels in Maxillofacial Surgical Management. J. Oral Maxillofac Surg* 65:2260-2268.

Cunningham, L., Madsen, M.J., Peterson, G. (2005) *Stereolithographic Modeling Technology Applied to tumor Resection. J. Oral Maxillofac Surg* 63: 873-878.

Dolz, M.S., Cina, S.J., Smith, R. (2000) *Stereolithography. A Potential New Tool in Forensic Medicine. The American Journal of Forensic Medicine and Pathology* 21(2) 119-123.

Erickson, D.M., Chance, D., Schmitt, S., Mathis, J. (1999) *An opinion survey of reported benefits from the use of Stereolithographic Models. J Oral Maxillofac Surg* 5; 1040-1043.

Jiménez R., Benavides A. (2005) *La estereolitografía en la Facultad de Odontología de la UNAM. Revista Odontológica Mexicana. Vol.9 Núm 1: pp48-50.*

Kermer, C., et al. (1998) *Preoperative stereolithographic model planning for primary reconstruction in cranio-maxillofacial trauma surgery. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 136-139.

Kermer, C. et al. (1998) *Colour stereolithography for planning complex maxillofacial tumour surgery. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 26, 360-362,

Kernan, B.T., Wimsatt III, J.A. (2000) *Use of a Stereolithography Model for Accurate, Preoperative Adaptation of Reconstruction Plate. J Oral Maxillofac Surg* 58: 349-351.

McGurk et al. (1997) *Rapid prototyping techniques for anatomical modelling in medicine. Ann R Coll Surg Engl;* 79: 169-174

Nikzad, S., Azari, A., (2008) *A novel Stereolithographic Surgical Guide Template for Planning Treatment involving a Mandibular Dental Implant. J. Oral Maxillofac Surg* 66: 1446-1454.

Politi M. et al. (2007) *Feasibility of preoperative planning using anatomical facsimile models for mandibular reconstruction. Head and Face Medicine.* 3 (5).

Sailer et al. (1998) *The value of stereolithographic models for preoperative diagnosis of craniofacial deformities and planning of surgical corrections. Int. J. Oral Maxillofac Surg;* 27: 327-333

Sinn, D.P., Cilio, J.E., Miles, B.A. (2006) *Stereolithography for Craniofacial Surgery. The Journal of Craniofacial Surgery;* 17(5).

Winder J., Bibb R. (2005) *Medical Rapid Prototyping Technologies: State of the Art and Current Limitations for Application in Oral and Maxillofacial Surgery. J. Oral Maxillofac Surg* 63: 1006-1015.

Wong, T.J., Chung, C.H., Huang, J.S. (2002) *Restoration of the Temporal Defect using Laser Stereolithography Technique. J. Oral Maxillofac Surg* 60: 1374-1376.

Xia, J., Gateno, J., Teichgraber, J.F.A (2009) *New Paradigm for Complex Midface Reconstruction: A Reversed Approach. J Oral Maxillofac Surg* 67; 693-703.