

**Comparación de la Simulación 3D y el Postoperatorio de Cirugías Ortognáticas
en Pacientes con Asimetrías Esqueléticas: Revisión de Tema**

Julio Fábrega, Residente de Posgrado de Ortodoncia, Universidad CES

julio_fabrega@hotmail.com

**Comparison of the 3D Simulation and Outcome of Orthognathic Surgery Patients
with Skeletal Asymmetries: Topic Review**

Julio Fábrega, Orthodontics Posgrade Program, Universidad CES

julio_fabrega@hotmail.com

Resumen

Una adecuada planeación de los movimientos a realizar durante una cirugía ortognática que busque corregir una asimetría facial es indispensable para poder obtener resultados estéticos y funcionales satisfactorios. Con el avance de la tecnología se han desarrollado programas (softwares) de planeación con imágenes 3D que permiten simular la cirugía y poder visualizar los resultados en una pantalla y modificarlos según se requiera. Este artículo trata de presentar un panorama de la utilización de simulación 3D en cirugía ortognática de pacientes con asimetrías esqueléticas para obtener resultados post-quirúrgicos más predecibles e ideales. De esta revisión podemos concluir que el uso de técnicas asistidas por computadora permiten obtener resultados funcionales y estéticos óptimos, aumentan la satisfacción del paciente, disminuyen costos y tiempo necesario de planeación, y facilitan el momento operatorio.

Palabras clave: imagen tridimensional, simulación por computador, asimetría facial, cirugía ortognática.

Abstract

An adequate planning of the osteotomies and movements during an orthognathic surgery that seeks the correction of a facial asymmetry is important in order to obtain

good esthetic and functional outcomes. With the advance of technology there have been the development of computer softwares able to simulate the surgery and visualize its outcome on a display to make any necessary changes. This article pretends to show an overview of the 3D simulation uses in orthognathic surgery for patients with skeletal asymmetries to obtain more predictable and ideal outcomes. With this revision we can conclude that computer-assisted techniques are helpful in obtaining better functional and esthetics results, improve patient satisfaction, reduce cost and planning time, and facilitates the actual surgery.

Keywords: imaging three-dimensional, computer simulation, facial asymmetry, orthognathic surgery.

Introducción

Los métodos tradicionales para planear una cirugía ortognática varían dependiendo del tipo de cirugía que se requiere. En general, se siguen los siguientes pasos: se obtiene información de distintas fuentes como examen clínico, fotografías, radiografías, y modelos de yeso. Con esto el cirujano se hace una idea de la deformidad que presenta el paciente, siendo muy difícil en los casos que involucran problemas complejos en los 3 planos del espacio como una asimetría esquelética. El segundo paso es simular la cirugía utilizando trazados de predicción, teniendo como principal problema que son bidimensionales (1, 3, 34, 35), haciendo imposible simular la cirugía en las 3 dimensiones (36, 37). Para mejorar esto se utilizan imágenes obtenidas por tomografía computarizada (CT), pero no muestran la suficiente claridad de los arcos dentales necesaria para la simulación (36, 38, 50). Por eso se siguen utilizando modelos de yeso para simular ésta parte de la cirugía con el fin de fabricar férulas quirúrgicas que serán necesarias al momento operatorio, pero estos modelos de yeso no representan las estructuras óseas adyacentes (38, 39), haciendo también imposible para el cirujano visualizar los cambios esqueléticos que ocurren durante la cirugía de modelos. Otra desventaja de la cirugía de modelos es que es imposible simular diferentes procedimientos en un mismo modelo, ya que una vez que el modelo es cortado, no se puede deshacer el corte (40). El último paso en la planeación de la cirugía es la transferencia del plan quirúrgico al momento de la operación. Esto se realiza a través de férulas que permiten al cirujano ubicar espacialmente los maxilares en la posición

deseada (50). El éxito de una cirugía ortognática no depende sólo de la técnica y destreza del cirujano, sino también de una buena planeación (5, 41-43, 46).

Los nuevos avances y desarrollo de programas (softwares) permiten la planeación y simulación de la cirugía en una pantalla de computadora, pero es un método que requiere destreza no sólo del cirujano sino también del técnico encargado de realizarla. Este artículo trata de presentar un panorama de la utilización de simulación 3D en cirugía ortognática de pacientes con asimetrías esqueléticas para obtener resultados post-quirúrgicos más predecibles e ideales.

Valoración de Asimetrías Esqueléticas

La simetría facial es un estado de equilibrio, de correspondencia de forma y tamaño, y disposición de los rasgos faciales a cada lado del plano sagital (27). Sin embargo, existe una prevalencia de asimetría facial del 4.7% en el tercio superior, 36% en el tercio medio, y de un 74% en el tercio inferior (28). Es por esta razón, que resulta necesario valorar correctamente la asimetría facial, siendo un defecto tridimensional, ya que no es preciso con métodos bidimensionales como radiografías panorámicas y cefálicas laterales y posteroanteriores (50).

La planeación de las cirugías ortognáticas convencionalmente se realiza con un examen clínico, fotografías extraorales e intraorales, radiografías cefálica lateral y posteroanterior, y modelos de yeso (10). Toda esta información junto con el montaje en articulador es utilizada para realizar una simulación y decidir el plan de tratamiento. La principal limitación de estos métodos es que proveen información en 2 dimensiones sobre estructuras tridimensionales, sobre todo en casos de asimetrías faciales esqueléticas (24, 25, 50).

La utilización de métodos convencionales como radiografías para la ubicación de los puntos cefalométricos de línea media resulta muy difícil en casos de asimetrías debido a la superposición de estructuras craneales, lo que obliga a ubicarlos de manera arbitraria, por lo que la valoración de la asimetría del paciente no es muy precisa (2, 50). Además, la planeación convencional incorpora errores en varios momentos:

primero con la transferencia de los modelos al articulador con el arco facial debido a las características del articulador, anatomía del paciente, o falta de cooperación del paciente (21). Seguido por la dificultad de obtener un registro en relación céntrica (22). Tercero, el uso de líneas de referencia trazadas con métodos 2D (como calibrador) en un modelo 3D que no representan la estructura ósea del paciente ni las líneas de corte usadas durante la cirugía (21). Además, las medidas lineales y angulares que se realizan tomando como referencia marcas de lápiz están sujetas a errores que se van a incorporar a la férula intermedia dando como resultado una asimetría residual (2).

Para poder medir y cuantificar una asimetría facial utilizando métodos asistidos por computadora, es necesario establecer distintos planos cefalométricos que posteriormente serán usados como referencia a los puntos que se quieran comparar entre la simulación y los resultados post-operatorios. El primero de ellos es el plano de Frankfort horizontal (FHP), muy utilizado ya que no se ve afectado por la mayoría de las anomalías cráneo-faciales (50, 51), que se construye uniendo el orbital izquierdo y derecho, y el porion de un lado (30). A partir de éste, se trazan otros planos como la línea media facial (MFP), trazada perpendicular a Frankfort pasando por nasion; plano coronal (CP) construido perpendicular al Frankfort pasando por sella; plano oclusal que se traza por las cúspides de molares e incisivos; plano maxilar o palatino, que une la espina nasal anterior y el punto más posterior izquierdo y derecho del maxilar; y el plano mandibular, que pasa por menton y el gonion izquierdo y derecho (30).

Para lograr un correcto plan de tratamiento, se deben evaluar todas las dimensiones y así determinar la magnitud de la asimetría, ya que puede tener un componente en tejidos duros y blandos (26). El diagnóstico utilizando imágenes 3D se puede mostrar a los pacientes para que tengan un mayor conocimiento de la deformidad que presentan (50).

Planeación y Simulación Quirúrgica

El uso de métodos para generar imágenes virtuales del cráneo humano ha tenido muchos avances a partir de 1980 (4). En 2000, Xia et al demostraron las ventajas de observar tridimensionalmente la anatomía de un paciente antes de la cirugía sobre los métodos convencionales de imágenes 2D (1). En ese estudio también se definió la importancia de poder realizar los cortes quirúrgicos en un modelo virtual para poder predecir cuáles serían los resultados postquirúrgicos.

El desarrollo de estos nuevos métodos no escapa de la necesidad de tener que evaluar la precisión de los resultados obtenidos a través de ellos, por lo que se han desarrollado varios métodos (6) que comparan imágenes de la simulación de la cirugía con las obtenidas del paciente luego de operarse.

La planeación de cirugías de pacientes con asimetrías es más complejo que la corrección de problemas sagitales debido al manejo de los diferentes movimientos que hay que hacerle a los modelos como pitch, yaw, y roll (23) que afectarán la posición

final de la línea media y el plano oclusal (2). Con la planeación 3D se puede evaluar y planear la recolocación de los segmentos cortados para evitar interferencias óseas y para seleccionar la localización apropiada y tamaño de la fijación que se va a utilizar (11). Al posicionar los maxilares en la posición deseada, se pueden incluso identificar las cúspides que necesitarán ser talladas para lograr un acople adecuado (20).

Férulas y guías de corte

La correcta planeación pre-quirúrgica requiere que cada procedimiento planeado se lleve a cabo de manera precisa durante la cirugía. Para ayudar a lograr esto y transferir la planeación a la cirugía, se requiere de un método preciso que permita reestablecer la simetría maxilofacial en los 3 planos del espacio (30). Para ello se fabrican férulas y guías de corte que serán utilizadas para mover y cortar los maxilares según lo planeado y poder tener resultados más precisos.

Tradicionalmente éstas se realizan con acrílico sobre los modelos de yeso, requiriendo gran habilidad del operador para no cometer errores que luego serán transmitidos a la cirugía, dando como resultado una ubicación poco precisa de los maxilares. Además, éste método tiene otras limitaciones asociadas a las radiografías 2D y a la simulación que se hace utilizando un articulador semiajustable, resultando en un control insuficiente de la posición 3D del maxilar con malposiciones de hasta 5 mm (29). Con la ayuda de computadoras e impresoras estereolitográficas, estas guías se pueden

confeccionar virtualmente con una precisión mucho mayor eliminando el factor humano, y de ésta manera obteniendo mejores resultados (6, 36).

Utilizando los softwares el cirujano opera al paciente realizando las osteotomías o cortes en los maxilares tal como se haría en una cirugía real. Dependiendo de la maloclusión y de la preferencia del cirujano, se opta por tratar primero el maxilar superior o el inferior (2). En los casos donde se opera primero el maxilar superior, se confecciona una férula intermedia que ayudará al cirujano durante el momento operatorio a ubicar espacialmente el maxilar en su nueva posición. Al tener el maxilar fijado en la posición deseada, se necesitará una férula final para permitir el movimiento de la mandíbula hasta tener una buena intercuspidadación (30).

La confección de ésta férula intermedia utilizando métodos 3D, es según varios autores un método confiable y muy preciso (11, 21). El método más utilizado para la impresión de estas férulas es el de prototipaje rápido a través de estereolitografía (47), que consiste en la impresión de la férula utilizando un monómero líquido fotosensible que se solidifica al ser expuesto a luz ultravioleta. Éste líquido es dispuesto en capas por la impresora 3D de prototipaje rápido hasta reproducir la totalidad de la férula que fue diseñada por el software (47).

La confiabilidad y exactitud de estas férulas confeccionadas con métodos 3D ya han sido validadas para transferir la planeación a la cirugía (10, 52, 53). En el estudio de Shqaidef et al (48) buscaban comparar la precisión de éstas férulas confeccionadas por

prototipaje rápido al compararlas con las convencionales de acrílico, y obtuvieron un error promedio al ocluir el modelo superior e inferior de 0.94 mm. En el estudio de Zinser et al (30) donde compararon métodos para transferir la simulación utilizando férulas, cuando lo hicieron con CAD/CAM tuvieron una diferencia de menos de 0.23 mm para posicionar el maxilar, y con el método tradicional de 1.1 mm.

Otra de las herramientas con las que se cuenta actualmente gracias a los software de planeación virtual son las guías de corte, que ayudan al cirujano a guiar la sierra durante las osteotomías para reproducir los mismos contornos óseos que se obtuvieron virtualmente, facilitando de ésta manera la realización de la cirugía con resultados más parecidos a la simulación.

Precisión de los Resultados con Simulación 3D

Xia et al (6) realizaron cirugías en 5 pacientes con deformidades cráneo-maxilares previa planeación virtual siguiendo los parámetros del sistema Computer-Aided Surgical Simulation (CASS) y obtuvieron resultados de una gran precisión con una discrepancia de tan sólo 0.85 mm en las medidas lineales y 1.7° en las angulares, lo cual según estudios previos (7-9) son diferencias mínimas que no tuvieron relevancia clínica. Estos resultados son similares a los obtenidos por Rustemeyer et al (17) cuya diferencia entre la simulación de cirugías ortognáticas y el resultado post-quirúrgico fue de 1-2° utilizando métodos bidimensionales de simulación, y con los obtenidos

mediante el método CASS por Gellrich (19) cuyos resultados no superaron 1 mm de diferencia entre ambas imágenes.

Hsu et al en su estudio con 65 pacientes (11) encontraron una diferencia en las medidas lineales de 1.1 mm para los puntos maxilares y de 1 mm para los mandibulares, y de 1.8° en las medidas angulares.

En el 2006, Marchetti et al (44) realizaron la comparación de los resultados postoperatorios con la simulación 3D en 25 pacientes. Ellos utilizaron un método de superposición que alineaba la base del cráneo y luego midieron la distancia entre puntos en tejidos duros y blandos de ambas imágenes, con una diferencia menor de 2 mm en 20 de los 25 pacientes. Mazzoni et al (45) realizaron lo mismo en 10 pacientes, y obtuvieron una diferencia menor a 2 mm en el 86.5% de los puntos comparados.

De Riu et al compararon los resultados obtenidos en cirugías de pacientes con asimetrías faciales utilizando métodos convencionales y simulación por computadora (2), en el cual las diferencias entre ambos grupos en la ubicación del punto interincisal inferior, plano sagital mandibular, y la posición de las líneas medias dentales fueron significativas, siendo el grupo con planeación virtual mucho más preciso.

El avance y mejoramiento de estos softwares permiten no sólo obtener imágenes más detalladas y reales, sino que permiten la visualización de la posición de los tejidos blandos una vez que se realicen los movimientos óseos (3). Sin embargo, la ubicación

que adoptarán los tejidos blandos luego de la cirugía no se ha podido predecir con tanta exactitud, con discrepancias de hasta 3.2 mm, pero los métodos de planeación 3D han obtenido mejores resultados que cuando se utilizan métodos tradicionales (30). Esto coincide con un reporte de Wermker et al (33) que sugiere que los programas que predicen los cambios en los tejidos blandos utilizados en la actualidad no son confiables, y deberán ser usados con precaución para demostrarle al paciente el posible resultado de una cirugía.

Costo-beneficio

El tiempo total de planeación que requiere un cirujano utilizando planeación 3D puede ser disminuido a 5.25 horas comparado con 9.7 horas por la manera clásica que requiere cefalometrías 2D, registro con arco facial, cirugía de modelos, fabricación de férulas por un técnico (31). En otro estudio similar (32) se demostró que utilizando el método CASS se disminuyó 60 min del tiempo total que requería el cirujano para manejar el caso comparado con la manera tradicional.

En el estudio realizado por Zinser et al (30) donde compararon los resultados utilizando 3 métodos de confección de férulas, entre ellos el tradicional y con férulas obtenidas por impresión 3D, obtuvieron que el tiempo promedio que dura una cirugía utilizando férulas confeccionadas tradicionalmente dura 4.3 horas. Utilizando las férulas CAD/CAM se aumentó 20 min por la preparación que requería del campo quirúrgico.

En cuanto a costos, Xia et al (31) realizaron una comparación entre el valor de los materiales utilizados para la planeación tradicional y con el método CASS. Ellos obtuvieron como resultado que cada planeación con el método CASS cuesta \$1,900 comparado con \$3,510 de la planeación tradicional. El método 3D realizado de manera colectiva a gran escala, utilizando un centro que se dedique a hacer las simulaciones de varios pacientes de varios cirujanos, va a permitir disminuir los costos y el tiempo que requiere el cirujano para dedicarle a cada planeación quirúrgica (31), ya que algunos procedimientos de la planeación 3D como la creación del modelo 3D, segmentación, y las osteotomías, pueden ser realizados por personal técnico entrenado en vez del cirujano (40).

Satisfacción de los Pacientes

Los resultados post-quirúrgicos y su aceptación por parte del paciente dependen de varios factores (12). Se ha demostrado que la insatisfacción no necesariamente está relacionada con la destreza del cirujano, sino de una falla de comunicación por parte del cirujano sobre cuáles serían los resultados esperados (13). El utilizar métodos 3D para simular la cirugía permite que el paciente pueda observar en una pantalla cuál será el resultado post-operatorio (3, 50), sin afectar negativamente la percepción de síntomas o satisfacción después de la cirugía (16), así como también permite al cirujano poder explicar mejor el procedimiento logrando una mejor aceptación del paciente (14, 15).

Discusión

Los métodos tradicionales de planeación en cirugía ortognática presentan limitaciones ya que se basan en radiografías bidimensionales que no toman en cuenta los 3 planos del espacio donde se extiende la asimetría. La precisión de estos métodos permite obtener resultados aceptables en que los pacientes quedan satisfechos ya que los errores no son clínicamente significantes. Sin embargo, en casos complejos como las asimetrías faciales se pueden obtener resultados desfavorables y poco predecibles, por lo que se recomienda implementar la simulación 3D y su traslado a la cirugía a través de férulas confeccionadas por prototipaje estereolitográfico para disminuir las fallas y aumentar las posibilidades de éxito y predicción.

La planeación y simulación 3D permite a los clínicos conocer realmente la magnitud de la asimetría que presenta el paciente, pudiendo desde un inicio establecer un correcto plan de tratamiento que permita obtener mejores resultados post-quirúrgicos. Esta información se puede transferir fácilmente a la cirugía a través de las férulas y guías de posicionamiento, que ayudarán al cirujano a cortar y movilizar los fragmentos óseos en la misma magnitud en que fueron planeados.

Conclusión

A pesar de realizarse de forma cotidiana, utilizar la cirugía de modelos y métodos bidimensionales para planear y predecir resultados de una anomalía tridimensional como lo es la asimetría esquelética, no brinda resultados suficientemente precisos ni predecibles en el postoperatorio. Con esto se obtienen resultados no ideales, y también aleja al cirujano de poder predecir de manera sistemática los tratamientos que realiza. Es necesario aprovechar los softwares de simulación 3D y la tecnología de estereolitografía para desarrollar un protocolo que permita mayor eficiencia a los cirujanos al momento de tratar deformidades complejas de la cabeza.

Referencias

1. Xia J, Ip HH, Samman N, Wang D, Kot CS, Yeung RW et al. Computer-assisted three-dimensional surgical planning and simulation: 3D virtual osteotomy. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2000 Feb; 29 (1): 11-17.
2. De Riu G, Meloni SM, Baj A, Corda A, Soma D, Tullio A. Computer-assisted orthognathic surgery for correction of facial asymmetry: Results of a randomized controlled clinical trial. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2014 Mar; 52 (3): 251-257.
3. Papadopoulos MA, Christou PK, Christou PK, Athanasiou AE, Boettcher P, Zeilhofer HF et al. Three-dimensional craniofacial reconstruction imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2002 Apr; 93 (4): 382-393.
4. Cline HE, Lorensen WE, Ludke S, Crawford CR, Teeter BC. Two algorithms for the three-dimensional reconstruction of tomograms. *Med Phys*. 1988 May-Jun; 15 (3): 320-327.
5. Gateno J, Teichgraeber JF, Aguilar E. Computer planning for distraction osteogenesis. *Plast Reconstr Surg*. 2000 Mar; 105 (3): 873-882.
6. Xia JJ, Gateno J, Teichgraeber JF, Christensen AM, Lasky RE, Lemoine JJ et al. Accuracy of the computer-aided surgical simulation (CASS) system in the treatment of patients with complex craniomaxillofacial deformity: A pilot study. *J Oral Maxillofac Surg*. 2007 Feb; 65 (2): 248-254.
7. Donatsky O, Bjorn-Jorgensen J, Holmqvist-Larsen M, Hillerup S. Computerized cephalometric evaluation of orthognathic surgical precision and stability in relation to

maxillary superior repositioning combined with mandibular advancement or setback.

J Oral Maxillofac Surg. 1997 Oct; 55 (10): 1071-1079.

8. Tng TT, Chan TC, Hagg U, Cooke MS. Validity of cephalometric landmarks: An experimental study on human skulls. Eur J Orthod. 1994 Apr; 16 (2): 110-120.
9. Padwa BL, Kaiser MO, Kaban LB. Occlusal cant in the frontal plane as a reflection of facial asymmetry. J Oral Maxillofac Surg. 1997 Aug; 55 (8): 811-816.
10. Uribe F, Janakiraman N, Shafer D, Nanda R. Three-dimensional cone-beam computed tomography-based virtual treatment planning and fabrication of a surgical splint for asymmetric patients: Surgery first approach. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2013 Nov; 144 (5): 748-758.
11. Hsu SS, Gateno J, Bell RB, Hirsch DL, Markiewicz MR, Teichgraeber JF et al. Accuracy of a computer-aided surgical simulation protocol for orthognathic surgery: A prospective multicenter study. J Oral Maxillofac Surg. 2013 Jan; 71 (1): 128-142.
12. Rustemeyer J, Eke Z, Bremerich A. Perception of improvement after orthognathic surgery: The important variables affecting patient satisfaction. Oral Maxillofac Surg. 2010 Sep; 14 (3): 155-162.
13. Peterson LJ, Topazian RG. The preoperative interview and psychological evaluation of the orthognathic surgery patient. J Oral Surg. 1974 Aug; 32 (8): 583-588.
14. Jensen SH. The psychosocial dimensions of oral and maxillofacial surgery: A critical review of the literature. J Oral Surg. 1978 Jun; 36 (6): 447-453.
15. Kiyak HA, McNeill RW, West RA. The emotional impact of orthognathic surgery and conventional orthodontics. Am J Orthod. 1985 Sep; 88 (3): 224-234.

16. Phillips C, Kiyak HA, Bloomquist D, Turvey TA. Perceptions of recovery and satisfaction in the short term after orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2004 May; 62 (5): 535-544.
17. Rustemeyer J, Groddeck A, Zwerger S, Bremerich A. The accuracy of two-dimensional planning for routine orthognathic surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2010 Jun; 48 (4): 271-275.
18. Tucker S, Cevdanes LH, Styner M, Kim H, Reyes M, Proffit W et al. Comparison of actual surgical outcomes and 3-dimensional surgical simulations. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010 Oct; 68 (10): 2412-2421.
19. Gellrich NC, Schramm A, Hammer B, Rojas S, Cufi D, Ladreze W et al. Computer-assisted secondary reconstruction of unilateral posttraumatic orbital deformity. *Plast Reconstr Surg.* 2002 Nov; 110 (6): 1417-1429.
20. Swennen GR, Mollemans W, De Clercq C, Abeloos J, Lamoral P, Lippens F et al. A cone-beam computed tomography triple scan procedure to obtain a three-dimensional augmented virtual skull model appropriate for orthognathic surgery planning. *J Craniofac Surg.* 2009 Mar; 20 (2): 297-307.
21. Aboul-Hosn Centenero S, Hernández-Alfaro F. 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results . our experience in 16 cases. *J Craniomaxillofac Surg.* 2012 Feb; 40 (2): 162-168.
22. Bamber MA, Firouzal R, Harris M, Linney A. A comparative study of two arbitrary face-bow transfer systems for orthognathic surgery planning. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1996 Oct; 25 (5): 339-343.

23. Ackerman JL, Proffit WR, Sarver DM, Ackerman MB, Kean MR. Pitch, roll, and yaw: Describing the spatial orientation of dentofacial traits. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 Mar; 131 (3): 305-310.
24. Schwartz HC. Efficient surgical management of mandibular asymmetry. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011 Mar; 69 (3): 645-654.
25. Baek SH, Cho IS, Chang YI, Kim MJ. Skeletodental factors affecting chin point deviation in female patients with Class III malocclusion and facial asymmetry: A three-dimensional analysis using computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007 Nov; 104 (5): 628-639.
26. Cheong YW, Lo LJ. Facial asymmetry: Etiology, evaluation, and management. *Chang Gung Med J.* 2011 Jul-Aug; 34 (4): 341-351.
27. Peck H, Peck S. A concept of facial esthetics. *Angle Orthod.* 1970 Oct; 40 (4): 284-318.
28. Severt TR, Proffit WR. The prevalence of facial asymmetry in the dentofacial deformities population at the University of North Carolina. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1997; 12 (3): 171-176.
29. Ellis E. Accuracy of model surgery: Evaluation of an old technique and introduction of a new one. *J Oral Maxillofac Surg.* 1990 Nov; 48 (11): 1161-1167.
30. Zinser MJ, Sailer HF, Ritter L, Braumann B, Maegele M, Zoller JE. A paradigm shift in orthognathic surgery? A comparison of navigation, computer-aided designed/computer-aided manufactured splints, and %classic+intermaxillary splints to surgical transfer of virtual orthognathic planning. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013 Dec; 71 (12): 2151.e1-e21.

31. Xia JJ, Phillips CV, Gateno J, Teichgraeber JF, Christensen AM, Gliddon MJ et al. Cost-effectiveness analysis for computer-aided surgical simulation in complex cranio-maxillofacial surgery. *J Oral Maxillofac Surg*. 2006 Dec; 64 (12): 1780-1784.
32. Schwartz HC. Does computer-aided surgical simulation improve efficiency in bimaxillary orthognathic surgery?. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2014 May; 43 (5): 572-576.
33. Wermker K, Kleinheinz J, Jung S, Dirksen D. Soft tissue response and facial symmetry after orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg*. 2014 Sep; 42 (6): e339-e345.
34. Xia JJ, Gateno J, Teichgraeber JF. Three-dimensional computer-aided surgical simulation for maxillofacial surgery. *Atlas Oral Maxillofac Surg Clin North Am*. 2005 Mar; 13 (1): 25-39.
35. Gateno J, Teichgraeber JF, Xia JJ. Three-dimensional surgical planning for maxillary and midface distraction osteogenesis. *J Craniofac Surg*. 2003 Nov; 14 (6): 833-839.
36. Gateno J, Xia JJ, Teichgraeber JF, Rosen A. A new technique for the creation of a computerized composite skull model. *J Oral Maxillofac Surg*. 2003 Feb; 61 (2): 222-227.
37. Santler G. 3D COSMOS: A new 3D model based computerized operation simulation and navigation system. *J Craniomaxillofac Surg*. 2000 Oct; 28 (5): 287-293.
38. Santler G. The Graz hemisphere splint: A new precise, non-invasive method of replacing the dental arch of 3D models by plaster models. *J Craniomaxillofac Surg*. 1998 Jun; 26 (3): 169-173.

39. Lambrecht JT. 3D modeling technology in oral and maxillofacial surgery. 1 ed.
Chicago (IL): Quintessence; 1995. p. 61.
40. Gateno J, Xia JJ, Teichgraeber JF, Christensen AM, Lemoine JJ, Liebschner MA et al. Clinical feasibility of computer-aided surgical simulation (CASS) in the treatment of complex cranio-maxillofacial deformities. *J Oral Maxillofac Surg.* 2007 Apr; 65 (4): 728-734.
41. Xia JJ, Samman N, Yeung RW, Shen SG, Wang D, Ip HH et al. Three-dimensional virtual reality surgical planning and simulation workbench for orthognathic surgery. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 2000 Winter; 15 (4): 265-282.
42. Xia JJ, Samman N, Yeung RW, Wang D, Shen SG, Ip HH et al. Computer-assisted three-dimensional surgical planning and simulation: 3D soft tissue planning and prediction. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2000 Aug; 29 (4): 250-258.
43. Xia JJ, Ip HH, Samman N, Wong HT, Gateno J, Wang D et al. Three-dimensional virtual-reality surgical planning and soft-tissue prediction for orthognathic surgery. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2001 Jun; 5 (2): 97-107.
44. Marchetti C, Bianchi A, Bassi M, Gori R, Lamberti C, Sarti A. Mathematical modeling and numerical simulation in maxilla-facial virtual surgery (VISU). *J Craniofac Surg.* 2006 Jul; 17 (4): 661-667.
45. Mazzoni S, Badiali G, Lancellotti L, Babbi L, Bianchi A, Marchetti C. Simulation-guided navigation: A new approach to improve intraoperative three-dimensional reproducibility during orthognathic surgery. *J Craniofac Surg.* 2010 Nov; 21 (6): 1698-1705.

46. Xia JJ, Shevchenko L, Gateno J, Teichgraeber JF, Taylor TD, Lasky RE et al. Outcome study of computer-aided surgical simulation in the treatment of patients with craniomaxillofacial deformities. *J Oral Maxillofac Surg*. 2011 Jul; 69 (7): 2014-2024.
47. Isaza JF, Naranjo M. Prototipaje rápido de estructuras craneofaciales. *Ingeniería y Ciencia Universidad EAFIT*. 2008; 4 (8): 27-43.
48. Shqaidef A, Ayoub AF, Khambay BS. How accurate are rapid prototyped (RP) final orthognathic surgical wafers? A pilot study. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2014 Sep; 52 (7): 609-614.
49. Lee DH, Yu HS. Masseter muscle changes following orthognathic surgery: A long-term three-dimensional computed tomography follow-up. *Angle Orthod*. 2012 Sep; 82 (5): 792-798.
50. Lin HH, Lo LJ. Three-dimensional computer-assisted surgical simulation and intraoperative navigation in orthognathic surgery: A literature review. *J Formos Med Assoc*. 2015 Apr; 114 (4): 300-307.
51. Terajima M, Nakasima A, Aoki Y, Goto TK, Tokumori K, Mori N et al. A 3-dimensional method for analyzing the morphology of patients with maxillofacial deformities. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009; 136: 857-867.
52. Gateno J, Xia JJ, Teichgraeber JF, Rosen A, Hultgren B, Vadnais T. The precision of computer-generated surgical splints. *J Oral Maxillofac Surg*. 2003; 61: 814-817.
53. Scolozzi P, Herzog G. Total mandibular subapical osteotomy and Le Fort I osteotomy using piezosurgery and computer-aided designed and manufactured surgical splints: A favorable combination of three techniques in the management of

severe mouth asymmetry in Parry-Romberg syndrome. J Oral Maxillofac Surg. 2014;
72: 991-999.