



Revista Española de
**Cirugía Oral y
 Maxilofacial**

www.elsevier.es/recom



Controversias

Planificación tridimensional y utilización de férulas Computer Aided Design/Computed Aided Manufacturing en cirugía ortognática

Samir Aboul-Hosn Centenero

Unidad de Cirugía Maxilofacial, Hospital Plató, Barcelona, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 22 de noviembre de 2012

Aceptado el 10 de febrero de 2013

On-line el 17 de julio de 2014

Palabras clave:

Férula

Cirugía ortognática

Computer-Aided Design/Computed

Aided Manufacturing

R E S U M E N

El presente trabajo se centra en explicar las ventajas que aporta la planificación tridimensional (3D) y la confección de férulas quirúrgicas Computer Aided Design/Computed Aided Manufacturing (CAD/CAM) en cirugía ortognática. La digitalización del entorno laboral es una realidad imparable en nuestra sociedad y, en nuestra especialidad, nos proporciona ventajas desde un punto de vista logístico, de precisión diagnóstica y en la confección de férulas quirúrgicas. Las tradicionales férulas quirúrgicas siguen un método de fabricación casi artesanal sometido a errores sistemáticos que se van acumulando a lo largo del proceso. Las férulas CAD/CAM se crean directamente a partir de imágenes que obtenemos de la tomografía computarizada o de la tomografía de haz cónico con lo que acortamos, digitalizamos y estandarizamos el proceso de confección disminuyendo la posibilidad de cometer errores derivados de la confección manual. Las imágenes 3D sobre las que podemos trabajar nos aportan ventajas respecto a la visualización bidimensional (2D) ya que no hay una pérdida de información ni una superposición de estructuras anatómicas. En 3D podemos ver con mayor detalle puntos de referencia difíciles de visualizar en 2D y son imágenes idóneas para el estudio de asimetrías en el plano frontal.

© 2012 SECOM. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

3D planning and use of Computer Aided Design/Computed Aided Manufacturing surgical splints in orthognathic surgery

A B S T R A C T

The aim of this work is to present the advantages of 3D planning and CAD/CAM (Computer Aided Design/Computed Aided Manufacturing) surgical splints in orthognathic surgery. Digitalization of the working environment is an unstoppable reality in our society and, in our specialty it gives us advantages from a logistics, accuracy and diagnostic point of view, as well as in the manufacture process of surgical splints. The conventional surgical splints have an artisanal manufacturing process subjective to systematic errors. CAD/CAM surgical splints are built from computed tomography or cone beam computed tomography, which makes manufacturing process shorter, digitalized and standardized, thus decreasing the errors of the hand made manufacture. The 3D images that we can work with, give us advantages compared to two-dimensional (2D) visualization because there is no loss of

Keywords:

Splint

Orthognathic surgery

Computer-Aided Design/Computed

Aided Manufacturing

Correo electrónico: samiraboul@hotmail.com

1130-0558/\$ – see front matter © 2012 SECOM. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.maxilo.2013.02.003>

information or overlapping anatomical structures. More detailed points of references can be seen in 3D images, which are very difficult to see in two-dimensional images, and are ideal images for the study of frontal plane asymmetry.

© 2012 SECOM. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

El tratamiento de las deformidades dentoalveolares requiere de un diagnóstico preciso para una correcta planificación preoperatoria¹⁻⁵. Durante la planificación es fundamental reproducir los movimientos óseos que vamos a realizar en quirófano y confeccionar las férulas quirúrgicas que servirán al cirujano de guía antes de fijar las estructuras óseas osteotomizadas en la posición planificada².

Los protocolos de planificación utilizados desde hace más de 30 años siguen teniendo vigencia en la actualidad pero los avances tecnológicos y la consecuente digitalización de nuestro entorno laboral han hecho que dispongamos de nuevas herramientas que nos aportan evidentes ventajas respecto a los métodos tradicionales de planificación.

Está ampliamente probada la utilidad de la planificación tridimensional (3D) en pacientes sindrómicos con grandes deformidades faciales donde son características las asimetrías en el plano frontal⁶⁻⁸. La discusión del presente trabajo se centra en valorar la utilidad de la planificación 3D y el uso de férulas confeccionadas a partir de la tecnología Computer Aided Design/Computed Aided Manufacturing (CAD/CAM) en nuestra rutina de trabajo habitual para casos con malformaciones dentoalveolares de pacientes no sindrómicos.

Como toda nueva metodología es necesaria una validación y un estudio en profundidad de sus ventajas y sus inconvenientes, solo así es posible asegurar la idoneidad de un cambio respecto a lo ya conocido. Cambiar a nuevos protocolos de trabajo no siempre es fácil, incluso en aquellos casos donde el beneficio del cambio puede parecer evidente. Implica aprender a utilizar nuevas herramientas y a invertir tiempo y dinero en innovación. Este cambio debe justificarse para poder implementarlo como método de trabajo habitual, más aún teniendo en cuenta la amplia integración del sistema de planificación clásico en cirugía ortognática.

Discusión

El cirujano maxilofacial debe hacer frente a unas complejas estructuras anatómicas y a un alto nivel de exigencias estéticas por parte del paciente por lo que disponer de la máxima información en el estudio preoperatorio se traduce en un mejor análisis diagnóstico y planificación de los objetivos a alcanzar⁹. La dificultad que supone trabajar en 2 dimensiones (2D) y sobre estructuras anatómicas del esqueleto facial queda resuelta mediante la planificación 3D y la realidad aumentada¹⁰.

El análisis clínico, el estudio fotográfico, el estudio sobre la telerradiografía de perfil, la cirugía de modelos, la utilización de programas informáticos, etc., son algunas de las herramientas de las que disponemos. No existe, sin embargo, un protocolo universalmente consensuado a seguir para realizar

la planificación preoperatoria por lo que se utiliza uno o varios de estos métodos según la experiencia, formación y resultados del clínico. Existen múltiples tipos de análisis cefalométrico pero es remarcable el hecho de que ante la discrepancia entre resultados cefalométricos y clínicos, estos últimos tienen mayor peso en nuestras decisiones¹¹.

Son varios los estudios publicados sobre la tecnología CAD/CAM aplicada a la cirugía ortognática donde se evidencia la posibilidad de realizar un plan de tratamiento y unas férulas quirúrgicas CAD/CAM a partir de un programa informático de forma precisa^{7,12,13}. También se han demostrado sus ventajas en términos de tiempo y dinero¹⁴. En este sentido es preciso destacar que los programas informáticos de planificación 3D han alcanzado un umbral de accesibilidad en términos económicos que los hacen asequibles para un mayor número de profesionales aunque sigue comportando un gasto económico elevado como ocurre ante toda inversión en tecnología.

A continuación exponemos las ventajas más significativas de la planificación 3D y las férulas quirúrgicas CAD/CAM.

Visión global del esqueleto

Incorporar la tercera dimensión y aumentar cualquier estructura anatómica en la pantalla de nuestro ordenador, sin alterar la precisión de nuestras imágenes y mediciones, hace que ver el esqueleto craneofacial, con su compleja anatomía, sea una tarea sencilla. La superposición de diferentes áreas anatómicas que en ocasiones podemos ver en radiografías convencionales no supone un problema al realizar nuestro plan de tratamiento en 3D¹² por lo que situar puntos de referencia anatómicos es un paso rápido y preciso. La visión 3D nos permite crear verdaderos planos de referencia que por definición tendrán 3 puntos y no definir como planos líneas bidimensionales como ocurre con el clásico plano de Frankfurt.

La planificación 3D permite obtener una visión global de todo el esqueleto craneofacial y del tejido blando, la posibilidad de visualizarlo desde infinitos puntos de vista, aumentar la imagen e interactuar con cualquier estructura ósea que haya sido virtualmente osteotomizada.

En el estudio convencional toda esta información nos llega desde diferentes pruebas (radiografías, modelos de las arcadas dentales, fotografía, etc.) y el clínico extrae información de cada una de las pruebas del estudio elaborando un plan de tratamiento. Pensamos que el disponer de toda la información en una sola prueba facilita el estudio, evita la pérdida de información y disminuye errores sistemáticos que se acumulan en cada una de las pruebas que requerimos para realizar el estudio convencional⁵.

Hay que resaltar la importancia que tiene obtener unas correctas imágenes desde la tomografía computarizada convencional o la tomografía de haz cónico, todas ellas con una férula oclusal que mantenga al paciente en relación céntrica

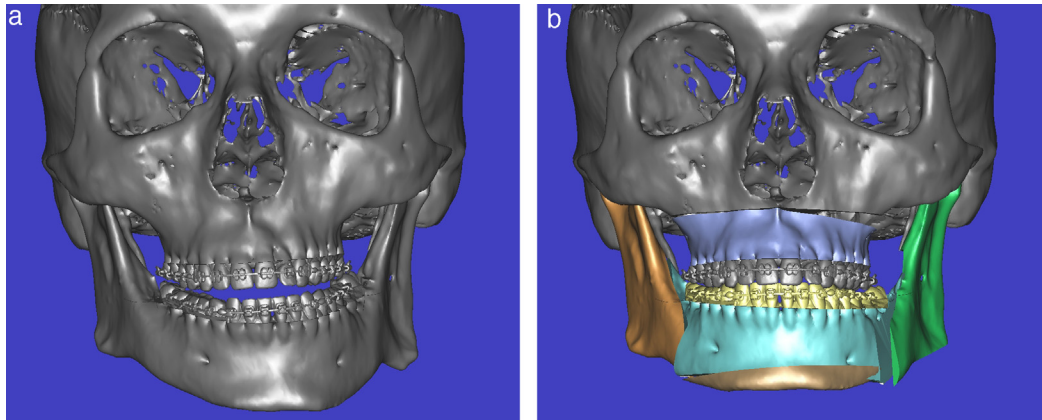


Figura 1 – a) Imagen 3D del esqueleto craneofacial de un paciente con desviación de la línea media mentoniana hacia la izquierda y canting maxilar. b) Resultado tras la cirugía virtual, corrigiendo la asimetría facial el canting maxilar y la oclusión hasta la clase I tras planificar una cirugía bimaxilar con mentoplastia.

durante la realización de las pruebas de imagen y en la posición natural de la cabeza.

Precisión en el plano frontal

La visión en 3D hace más fácil estudiar el esqueleto facial en el plano frontal que el análisis cefalométrico bidimensional convencional siendo más sencilla la detección de asimetrías faciales en el plano coronal. En la planificación convencional la visión frontal del paciente se obtiene a partir de 3 métodos: fotografía, radiografía y montaje de los modelos dentales en el articulador. Respecto a la fotografía, el análisis 3D ya incorpora la imagen del paciente para valorar la asimetría de los tejidos blandos. Con respecto a la radiografía de frente convencional existen evidentes ventajas si disponemos de una imagen 3D: no existe superposición de estructuras anatómicas y nos proporciona mayor precisión y resolución de puntos de referencia. Por último, respecto al articulador, tenemos la ventaja de poder estudiar ambas arcadas dentales unidas a la anatomía ósea real (no a una escayola que no representa la anatomía del paciente) y relacionar esto con el resto de la anatomía facial del paciente, característica fundamental para diagnosticar la asimetría entre la línea intersticial y la línea mediofacial (fig. 1a y b), así como problemas de canteo.

Precisión en el plano vertical

La posición en el eje vertical del complejo maxilomandibular viene definida por diferentes puntos de referencia y la distancia entre ellos. Desde el canto interno del ojo al incisivo lateral o al canino y/o desde el agujero infraorbitario al incisivo lateral o el canino en ambos lados se pueden obtener mediciones que nos ayudan a estabilizar dicho complejo maxilomandibular en una correcta posición. Los programas informáticos 3D permiten, en algunos casos, obtener mediciones en el eje vertical en la pantalla del ordenador antes y después de la osteotomía y movilización de las estructuras óseas a la posición definitiva. Además se localizan

ambos agujeros infraorbitarios y el canto interno óseo fácilmente.

Versatilidad de los movimientos rotacionales del complejo maxilomandibular

En la cirugía bimaxilar los movimientos rotacionales del complejo maxilomandibular necesitan también un estudio previo.

El nuevo plano oclusal y la dirección de la rotación del complejo maxilomandibular están influidos por la posición en el eje anteroposterior del mentón, por la anatomía paranasal y el contorno facial¹⁵, estructuras anatómicas que podemos ver en su conjunto gracias a esta tecnología. El punto sobre el cual va a rotar el complejo maxilomandibular puede ser de gran ayuda para acercarnos a una predicción de resultados¹⁶ ya que según donde esté situado provocará unos cambios en el tejido blando proyectándolo más o menos en el eje anteroposterior. Aun así, el talón de Aquiles de la planificación 3D sigue estando en la predicción de resultados sobre tejido blando debido a las limitaciones tecnológicas para representar el comportamiento de dicho tejido y la variabilidad de resultados interoperatorio.

Una posibilidad que nos aportan estos programas es el hecho de poder rotar toda la imagen 3D hasta fijarla en la posición ideal (que equivaldría a la clásica posición natural de la cabeza) y rotar cada estructura ósea osteotomizada antes de empezar a realizar movimientos lineales.

Osteotomización de los segmentos

La planificación 3D permite individualizar en la pantalla del ordenador cada parte esquelética osteotomizada⁷ y moverla en los 3 planos del espacio, realizar movimientos de rotación definiendo la situación de su centro de rotación, aumentar la imagen y realizar mediciones lineales y angulares. Gracias a la precisión de las imágenes 3D de la anatomía ósea craneofacial y de cada segmento osteotomizado también es posible estudiar las características anatómicas intrínsecas de cada paciente y prever posibles interferencias óseas entre



Figura 2 – Detalle de la férula quirúrgica CAD/CAM.

fragmentos osteotomizados que puedan comprometer la estabilidad de la osteosíntesis.

No solo vamos a conseguir realizar estas mediciones sobre una estructura tridimensional sino que las vamos a poder realizar sobre nuestra predicción postoperatoria y tendremos la opción de corregir, volver a realizar la osteotomía, volver a posicionar las estructuras osteotomizadas y volver a analizar nuestras mediciones tantas veces como sea necesario en nuestro ordenador personal.

Férula quirúrgica

Erickson et al.¹⁷ describieron el maxilar como un cuerpo libre en el espacio una vez efectuada la osteotomía, pudiendo moverse en los 3 ejes del espacio (anteroposterior, mediolateral y vertical). En la cirugía de modelos una de las maniobras más difíciles es la de posicionar los modelos de las arcadas dentales en el articulador consiguiendo la correcta oclusión. Gracias a la férula intermedia esta maniobra se vuelve rápida, fácil y precisa² por parte del cirujano, el cual deberá establecer la apropiada dimensión vertical, previamente planificada, pues la dimensión posteroanterior y mediolateral vendrán determinadas por la férula quirúrgica¹⁷.

Toda la confección de la férula CAD/CAM (fig. 2) gira en torno a la planificación 3D, mientras que la fabricación de las férulas quirúrgicas convencionales se basa en la cirugía de modelos. Los modelos de escayola son el único elemento en 3D de estructuras anatómicas «duras» del que disponemos en un estudio preoperatorio convencional y nos muestra la relación entre las arcadas dentales. No nos da ninguna información en 3D de las estructuras óseas subyacentes por lo que será utilizado para buscar la correcta oclusión dental pero no nos informará de los cambios en las estructuras óseas y los tejidos blandos ni de la relación anatómica entre dientes y esqueleto facial. Es evidente que la información en el método convencional proviene de elementos donde la mano del hombre influye mucho más que la información obtenida a partir de la tomografía y las imágenes 3D. En la planificación 3D obtenemos férulas quirúrgicas a partir de un proceso informatizado y robotizado proporcionando precisión y reproducibilidad al método de confección de la férula quirúrgica, hecho que no ocurre en la confección de férulas quirúrgicas convencionales.

La cirugía de modelos convencional simula la posición de ambas arcadas dentales tras la intervención quirúrgica y, en

ocasiones, implica cortar y volver a unir los fragmentos de los modelos en la posición deseada. Es evidente que la mano del hombre influye mucho más que en la confección de férulas CAD/CAM pues es quien realiza el corte y vuelve a pegar los fragmentos y, lo que es más importante, no nos permite realizar la maniobra tantas veces como queramos si no es obteniendo unos nuevos modelos del paciente.

Por tanto, podríamos suponer u otorgar una serie de características a la tecnología CAD/CAM que aportan mayor precisión a la férula quirúrgica.

Las férulas quirúrgicas creadas a partir de la tecnología CAD/CAM son el producto de un estudio en 3D de las diferentes estructuras anatómicas del paciente.

En el estudio 3D disponemos de toda la visión en conjunto de las estructuras anatómicas craneofaciales con lo cual podemos calcular las dimensiones en los 3 planos del espacio en una sola imagen y posicionar las estructuras óseas y dentales teniendo muy presente el resto de la anatomía facial. Es lógico creer que efectos de proporcionalidad y simetría facial se aprecian con mayor claridad en el estudio 3D, lo que llevaría a deducir que la posición en la simulación de las estructuras osteotomizadas es más precisa cuando el estudio se realiza en 3D^{6,18}.

Existe una evolución lógica en la confección de las férulas quirúrgicas donde la digitalización y robotización de los procedimientos de fabricación¹³ están siendo la alternativa a la confección de férulas acrílicas convencionales. Un punto interesante en el estudio de la oclusión en 3D es la posibilidad de estudiar todos los puntos de contacto entre arcada dental superior e inferior calculando el grado de interferencia que existe entre 2 superficies oclusales. Actualmente el escáner intraoral nos proporciona un nuevo avance en la planificación ya que permite obtener imágenes de toda la superficie oclusal sin necesidad de escanear los modelos de escayola para tener unas correctas imágenes 3D. El uso del escáner intraoral permite eliminar los modelos de escayola aunque, por ser una tecnología relativamente nueva, su precio es aún elevado.

Ventajas de la planificación 3D y férulas CAD/CAM desde un punto de vista logístico

El talón de Aquiles de la planificación clásica se sitúa a varios niveles como ya han puesto de relieve varios autores^{2,5}, independientemente de la ventaja intrínseca que supone ver una estructura anatómica en 3D. Mediante esta planificación estamos trabajando solo con elementos digitales: fotografía del paciente, imágenes del esqueleto craneofacial e imágenes de las arcadas dentales. Se elimina el arco facial, el articulador, los modelos de escayola en favor de la imagen 3D.

Poder almacenar en el PC tantos estudios como queramos de un mismo caso para luego poderlos comparar, repetir, corregir, enviar de forma sencilla a cualquier ordenador personal es algo que simplifica el flujo de trabajo y unifica la información del mismo. Por otro lado, el material utilizado para realizar el estudio cefalométrico convencional ocupa un espacio físico, más aún si vamos a almacenar los estudios de todos los pacientes tratados durante un periodo de tiempo. Esto no ocurre si se realiza un estudio informático ya que todas las planificaciones pueden guardarse en un espacio virtual

como es una carpeta informática, pero además de estas aportaciones de carácter logístico, este sistema debe ser preciso para justificar su incorporación a nuestra rutina de trabajo.

Conclusiones

La planificación 3D nos aporta mayor información y precisión diagnóstica, más evidente en casos de asimetría en el plano coronal. También nos aporta mayor precisión en las osteotomías y en el movimiento de las estructuras óseas y arcadas dentales. Todo ello en un entorno informatizado teniendo el milímetro y el grado como unidades de medición.

Aunque presenta una curva de aprendizaje de 4 o 5 días, sigue siendo más rápida para el cirujano maxilofacial que la toma de registros convencional con la curva de aprendizaje que esta presenta.

Las férulas CAD/CAM suponen un cambio radical en el proceso de fabricación de guías quirúrgicas eliminando los errores sistemáticos que se van acumulando en cada punto del proceso de fabricación de las férulas convencionales y simplificando dicho proceso. Estas 2 características nos permiten realizar un diagnóstico tridimensional y una férula quirúrgica más precisa.

La implementación de esta metodología de trabajo va creciendo gracias a la precisión y reproducibilidad que aporta, además de las evidentes ventajas logísticas que implica el digitalizar el proceso de planificación preoperatoria. Como se expone en el presente trabajo ya hay publicaciones que advierten de un coste-efectividad favorable en tiempo y dinero¹⁴ y este beneficio será mayor en el futuro al aumentar la implementación del sistema que conllevará a la disminución de los costes.

Conflicto de intereses

El autor del presente trabajo declara que no existe un conflicto de intereses para su realización y publicación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ellis E. Accuracy of model surgery: evaluation of and old technique and introduction of a new one. *J Oral Maxillofac Surg.* 1990;48:1161.
2. Ellis III E. Bimaxillary surgery using an intermediate splint to position the maxilla. *J Oral Maxillofac Surg.* 1999;57:53-6.
3. Burstone CJ, James RB, Legan H, Murphy GA, Norton LA. Cephalometrics for orthognathic surgery. *J Oral Surg.* 1978;36.
4. Legan HL, Burstone CJ. Soft tissue cephalometric analysis for orthognathic surgery. *J Oral Surg.* 1980;38:744-51.
5. Olszewski R, Reychler H. Les limites de la chirurgie des modèles en chirurgie orthognathique: implications théoriques et pratiques. *Rev Stomatol Chir Maxillofac.* 2004;105:165-9.
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;65:248-54.
7. 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;65:728-34.
8. Mommaerts MY, Jans G, Sloten JV, Staels P, van der Perre G, Gobin R. On the assets of CAD planning for craniosynostosis surgery. *J Craniofac Surg.* 2001;12:547-54.
9. Talaas MF, Baker RC. Soft tissue profile changes resulting from retraction of maxillary incisors. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1987;91:385-94.
10. Hernández-Alfaro F, Mair D, Martí C, Biosca MJ. Planificación virtual y diseño de férulas CAD/CAM en cirugía ortognática: ¿una nueva era? *Rev Esp Ortod.* 2006;36:363-70.
11. Ferrario VF, Sforza C, Schmitz JH, Miani Jr A, Serrao G. A three-dimensional computerized mesh diagram analysis and its application in soft tissue facial morphometry. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1998;114:404-13.
12. Swennen GR, Mollemans W, Schutyser FJ. Three-dimensional treatment planning of orthognathic surgery in the era of virtual imaging. *Oral Maxillofac Surg.* 2009;67:2080-92. Erratum in: *J Oral Maxillofac Surg.* 67 (12 Dec):2703.
13. 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 Cranio-maxillofac Surg.* 2012;40:162-8.
14. 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;64:1780-4.
15. Woldford LM, Hilliard FW, Dugan DJ. Surgical treatment objective: a systematic approach to the prediction tracing. St Louis: Mosby; 1985.
16. Reynecke JP, Evans WG. Surgical manipulation of the occlusal plane. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1990;5:99-110.
17. Erickson KL, Bell WH, Goldsmith DH. Analytical model surgery: modern practice in orthognathic and reconstructive surgery Philadelphia: Saunders; 1992. p. 154-216.
18. Metzger MC, Hohlweg-Majert B, Schwarz U, Teschner M, Hammer B, Schmelzeisen R. Manufacturing splints for orthognathic surgery using a three-dimensional printer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;105:1-7.