

Caracterización de defectos óseos craneofaciales con software de reconstrucción tridimensional y tecnología CAD/CAM

Craniofacial bone defects characterization with tridimensional reconstruction software and CAD/CAM technology

Diana Carolina Navarro León¹, Genny Liliana Meléndez Flórez² y Clara Isabel López Gualdrón²

¹ Hospital Universitario de Santander (HUS). Bucaramanga, Colombia

² Universidad Industrial de Santander (UIS). Bucaramanga, Colombia

*Dirigir correspondencia a: dicanale@hotmail.com

Proceso Editorial

Recibido: 20 01 20

Aceptado: 11 11 20

Publicado: 21 01 21

RESUMEN

Introducción: Analizar y describir las características óseas en pacientes con defectos óseos cráneo-faciales complejos, utilizando un software de reconstrucción tridimensional. Determinar la utilidad y aplicabilidad en el planeamiento y tratamiento quirúrgico de los pacientes.

Métodos: Se realizó muestreo poblacional de pacientes con defectos óseos cráneo-faciales complejos tomando datos de historia clínica y tomografías computarizadas, determinando las características físicas y densitométricas de los huesos y realizando el análisis diagnóstico y planeación de tratamiento. Se realizó recolección de datos y posterior análisis usando el software Stata 12.0, cuantitativo y cualitativo, demostrando significancia estadística con prueba de chi². **Resultados:** Se recolectó información de 50 pacientes de los cuales el 70% correspondían a hombres, la edad promedio fue de 37 años, la causa más frecuente fue traumática secundaria a accidente de tránsito, el hueso comprometido en la mayoría de los pacientes fue la mandíbula y el tamaño del defecto llegó a ser hasta de 234 mm. El análisis de los pacientes con software de reconstrucción tridimensional permitió crear un algoritmo de enfoque diagnóstico y tratamiento. Se muestran algunos casos. **Conclusiones:** La utilidad de la implementación de tecnología CAD/CAM en el manejo de reconstrucciones óseas cráneo-faciales está demostrada, representan un alto costo para el paciente y el sistema de salud. Es posible mediante la implementación de software gratuitos y el trabajo multidisciplinario con servicios como biomedicina, diseño industrial e ingenierías, aplicar esta tecnología en pacientes, aprovechando sus beneficios en la reconstrucción de defectos complejos así como disminuyendo sus costos

Palabras clave: Reconstrucción 3D; cráneo-facial; planeamiento quirúrgico; CAD/CAM, análisis óseo; impresión 3D.

ABSTRACT

Background: To analyze and describe the bone characteristics in patients with complex craniofacial bone defects, using a three-dimensional reconstruction software. **Methods:** Population sampling of patients with complex craniofacial bone defects was performed, taking data from the clinical history and computerized tomography, determining the physical and densitometric characteristics of the bones and performing the diagnostic analysis and treatment planning. Data collection and subsequent quantitative and qualitative analysis were performed using the Stata 12.0 software, demonstrating statistical significance with chi² test. **Results:** Information was collected from 50 patients of which 70% were male, the average age was 37 years, the most frequent cause was trauma due to traffic accident, the bone involved in most of the patients was the jaw and the size of the defect reached up to 234 mm. The analysis of the patients with three-dimensional reconstruction software allowed to create an algorithm of diagnostic approach and treatment. Some cases are shown. **Conclusions:** The utility of CAD / CAM technology and 3d reconstruction in the analysis and description of craniofacial defects is demonstrated now days, they represent a high cost for the patient and the health system. It is possible through the implementation of free software and multidisciplinary work with services such as biomedicine, industrial design and engineering, to apply this technology in patients, taking advantage of its benefits in the reconstruction of complex defects as well as reducing their costs. **Keywords:** 3D Reconstruction, craniofacial, surgical planing, CAD/CAM, bone analysis, 3D printing.

[DOI 10.17081/innosa.111](https://doi.org/10.17081/innosa.111)

©Copyright 2021.

Navarro¹ et al.



I. INTRODUCCIÓN

La conformación tridimensional del macizo cráneo-facial determina una reconstrucción compleja y exigente. Los pacientes con defectos óseos cráneo-faciales requieren un manejo integral y resultados tanto funcionales como estéticos ideales que permitan restaurar no solo la apariencia armoniosa sino la funcionalidad, lo cual otorga un papel primordial a la implementación de ayudas y herramientas tecnológicas que permitan el adecuado y preciso tratamiento de este tipo de pacientes (1).

La aplicación de tecnologías emergentes como la tecnología de Diseño y Manufactura asistida por computación con sus siglas en inglés CAD/CAM (computer assisted design/ Computer assisted manufacturing), y la introducción y participación de las ingenierías biomédicas en el tratamiento de pacientes con defectos óseos cráneo-faciales complejos ha tenido un crecimiento exponencial en las últimas décadas, facilitando no solo el manejo de dichos pacientes sino también impactando el tiempo operatorio, precisión en procedimientos y resultados, posibilidad de medición y confirmación, diseño de dispositivos, herramientas e implantes a la medida específica del paciente teniendo en cuenta las características óseas del mismo (2) (3) (4) (5).

En nuestro medio no hay datos disponibles de las diferentes características sociodemográficas de la población con defectos óseos craneofaciales complejos, así como de las características geométricas, anatómicas y biomecánicas de estos. Sin embargo, es una patología prevalente y un sin número de pacientes se podrían beneficiar de la implementación de estas tecnologías para diagnóstico y tratamiento (6)(7) El acceso a estas tecnologías, es difícil debido a las limitaciones del sistema de salud, a su alto costo, los trámites administrativos y la falta de especialistas formados y capacitados en el uso de la tecnología CAD/CAM, por lo cual el diseño de flujogramas de manejo y herramientas de bajo costo es de gran utilidad.

El presente estudio tiene como objetivo la caracterización de los pacientes con defectos óseos cráneo-faciales mediante el uso de software de reconstrucción tridimensional, así como demostrar la aplicabilidad del mismo en el tratamiento de los pacientes con defectos óseos cráneo-faciales de forma asequible, económica y de fácil implementación en un hospital público de alta complejidad del territorio colombiano

II. MÉTODOS

2.1. Diseño del estudio. El presente es un estudio de tipo retrospectivo de alcance descriptivo, realizado en conjunto por los servicios de Cirugía Plástica y Diseño Industrial de la Universidad Industrial de Santander, se determinó la población, se obtuvo datos de la historia clínica y tomografías realizadas, realizando un análisis del diagnóstico a su ingreso y tratamiento propuesto, no se plasma seguimiento de los pacientes a corto ni largo plazo en el presente estudio, datos que podrán ser objeto para futuras publicaciones.

2.2. Población, muestra y protocolo de muestreo. Debido a la ausencia de datos sobre esta patología, desconocimiento de nuestra población, se seleccionaron los pacientes con defectos óseos cráneo-faciales complejos, con indicación de manejo quirúrgico, del Hospital

Universitario de Santander, los cuales podrían estar en manejo por los servicios: neurocirugía, cirugía maxilofacial, otorrinolaringología, cirugía de cabeza y cuello y cirugía plástica, durante un periodo de 12 meses entre enero y diciembre de 2017, para su análisis y descripción.

2.3. Evaluación de datos clínicos. Se tomaron datos de la historia clínica de cada paciente incluyendo información sociodemográfica, diagnóstico y antecedentes y datos específicos de las características del defecto óseo craneofacial.

2.4. Estudios tomográficos. Se obtuvo copia de tomografía computarizada con protocolo: cortes de menos de 1 mm, axiales, coronales y sagitales, y reconstrucción tridimensional. Se excluyeron del estudio pacientes con tomografías que no cumplieran el protocolo descrito. Las tomografías fueron analizadas con software de reconstrucción tridimensional gratuito: Rhinoceros.4, realizando caracterización del defecto óseo en cuanto a tamaño, características biomecánicas y densitométricas; se realizó planeamiento quirúrgico y diseño de instrumentos de utilidad para el tratamiento del paciente, previa creación de protocolo institucional para el manejo de pacientes con defectos óseos cráneo-faciales complejos. Los instrumentos creados para la realización de los procedimientos quirúrgicos fueron impresas en la impresora tridimensional VOXEL BGA del laboratorio de Diseño Industrial, usando como materia prima resinas de grado médico: Acido poliláctico (PLA) y polimetilmetacrilato (PMMA).

2.5. Análisis estadístico. El análisis se realizó usando el software Stata 12.0. Se procesaron las variables cuantitativas a las que se les determino medias, medianas, desviación estándar y rangos intercuartílicos. Las variables cualitativas se analizaron con frecuencias absolutas y porcentajes. Se realizó una comparación por grupos de edad (mayor o menor de 20 años) y por sexo a través de Mann-Whitney o Fisher). Se evaluó la asociación empleando Chi².

2.6. Aspectos éticos. Todos los procedimientos realizados en humanos estuvieron regidos por los estándares éticos del comité de ética institucional: Comité de Ética en investigación científica de la Universidad Industrial de Santander (CEINCI-UIS), N° 1; y con la declaración de Helsinki de 1964, y sus posteriores enmiendas o estándares éticos

III. RESULTADOS

Descripción de la muestra estudiada: Se recolectaron 50 pacientes, de los cuales 35 (70%) correspondían al sexo masculino y 15 (30%) eran mujeres, el promedio de edad fue de 36.5 años +/- 21, con rango entre 1 a 87 años y un intervalo de confianza de 30,55-42,49. La etiología más frecuente de los defectos óseos cráneo-faciales fue el trauma, representando el 50% de los casos, Siendo las principales causas: accidentes de tránsito, heridas por arma de fuego y heteroagresión. En cuanto al tiempo de evolución fueron más frecuentes los defectos cráneo-faciales de tipo crónico y el 66% de los pacientes habían recibido manejo reconstructivo previo, principalmente reducción y osteosíntesis de fracturas faciales, otros procedimientos realizados fueron reconstrucción con injertos óseos, colgajos regionales y libres en menor proporción. (Tabla 1)

Tabla 1. Características del paciente

Características del paciente		
Variable	Número de casos (n)	Porcentaje %
Edad		
< 20 años	10	20
20 – 40 años	19	38
41 - 60 años	13	26
> 60 años	8	16
Sexo		
Femenino	15	30
Masculino	35	70
Etiología del defecto		
Congénito	12	24
Traumático	25	50
Oncológico	13	26
Diagnóstico		
Secuelas labio paladar hendido	4	8
Micrognatismo maxilar	5	10
Prognatismo mandibular	1	2
Micrognatismo mandibular	2	4
Otras malformaciones congénitas*	5	10
Secuelas de fracturas faciales	7	14
Fracturas cráneo-faciales	18	36
Accidentes de tránsito	17	34
Heridas por arma de fuego	5	10
Accidente laboral	3	6
Tumor benigno huesos de la cara	1	2
Tumor maligno de huesos de la cara	6	12
Tumor maligno de piel con compromiso óseo	7	14
Tiempo de evolución		
Agudo**	16	32
Subagudo**	1	2
Crónico**	33	66
Antecedente de cirugía reconstructiva previa		
Si	17	34
No	33	66
Procedimiento realizado		
Reducción y osteosíntesis	10	20
Colgajo libre	2	4
Colgajo regional	3	6
Injerto	4	8
Resección ósea	7	14
Resección ósea + Colgajo libre	2	4
Resección ósea + Colgajo regional	1	2
Resección ósea + Injerto	2	4
Resección ósea + Injerto + colgajo libre	2	4

*Microsomía hemifacial, Craneosinostosis, hendiduras craneofaciales.

Agudo:<=1 mes,Subagudo: 1-3 meses, Crónico >3 meses **Fuente:Elaboración propia

Caracterización del defecto óseo: El tamaño del defecto varió entre 10-50 mm en promedio, siendo el de mayor tamaño de 234 mm. Comprometiéndose en un 44% (22 pacientes) el tercio inferior, el hueso que con más frecuencia estaba comprometido por el defecto fue la mandíbula siguiéndolo en frecuencia el maxilar, malar, palatino y frontal. Al analizar la densidad ósea de los diferentes huesos comprometidos se encontró una ligera diferencia comparando hueso cortical con esponjoso, sin ningún impacto en cuanto a manejo. El coeficiente de elasticidad (capacidad de deformación) del hueso fue mayor en el de tipo esponjoso que el cortical. (**Tabla 2**). En la **Tabla 3**. Se expone el análisis descriptivo de las variables cuantitativas del estudio.

Tabla 2. Características del efecto óseo

Características del defecto óseo							
Variable	MEDIA	DS	25%	50%	75%	MINIMO	MÁXIMO
Tamaño del Defecto							
Altura	31,8	20,7	16	32	38	1	111
Longitud	48,4	46,2	30	35	54	1	234
Ancho	12,7	8,93	8	12	18	1	59
Módulo de Elasticidad							
Hueso cortical	16234,22	8.626.106	14360	15311	15467	11167	75449
Hueso esponjoso	7638,6	276,708	7657	7726,01	7764	6808	7945
Densidad ósea							
Hueso cortical	2,255	0,073	2,206	2,264	2,288	2	2,414
Hueso esponjoso	1,721	0,025	1,721	1,726	1,731	1,639	1,745
Variable	Número de casos (n)			Porcentaje %			
Tercio facial Comprometido							
Superior	11			22			
Medio	21			42			
Inferior	22			44			
Medio e inferior	2			4			
Sup. , Med. E Inf	2			4			
Hueso Comprometido							
Occipital	1			2			
Temporal	4			8			
Parietal	5			10			
Frontal	11			22			
Malar	18			36			
Maxilar	15			30			
Palatino	5			10			
Nasal	6			12			
Esfenoides	6			12			
Etmoides	2			4			
Lacrimal	1			2			
Mandíbula	22			40			

Fuente: Elaboración propia

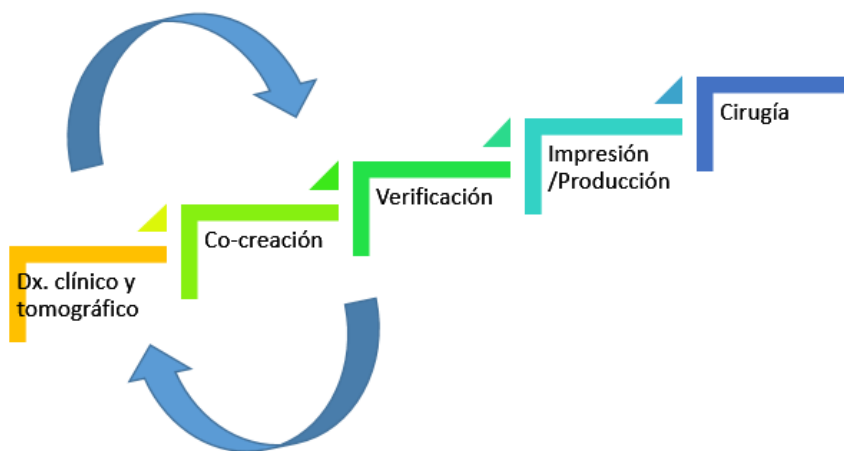
Tabla 3. Variables cuantitativas: Análisis descriptivo

Variables	Media, DS	IC 95%
Edad	36.52 ± 21	30,55-42,49
Altura del defecto	31.8 ± 20.7	25,39543 - 37,16457
Longitud del defecto	48.4 ± 46.2	35,26874 - 61,57126
Ancho del defecto	12.7 ± 8.93	10,17999 - 15,26001
Densidad ósea del hueso cortical	2.255 ± 0.073	2,2344 - 2,276286
Densidad ósea del hueso esponjoso	1.721 ± 0.025	1,713921 - 1,72819
Módulo de elasticidad del hueso cortical	16234,22 ± 8626,106	13782,71 - 18685,73
Módulo de elasticidad del hueso esponjoso	7638,6 ± 276,708	7559,96 - 7717,24

Fuente:Elaboración propia

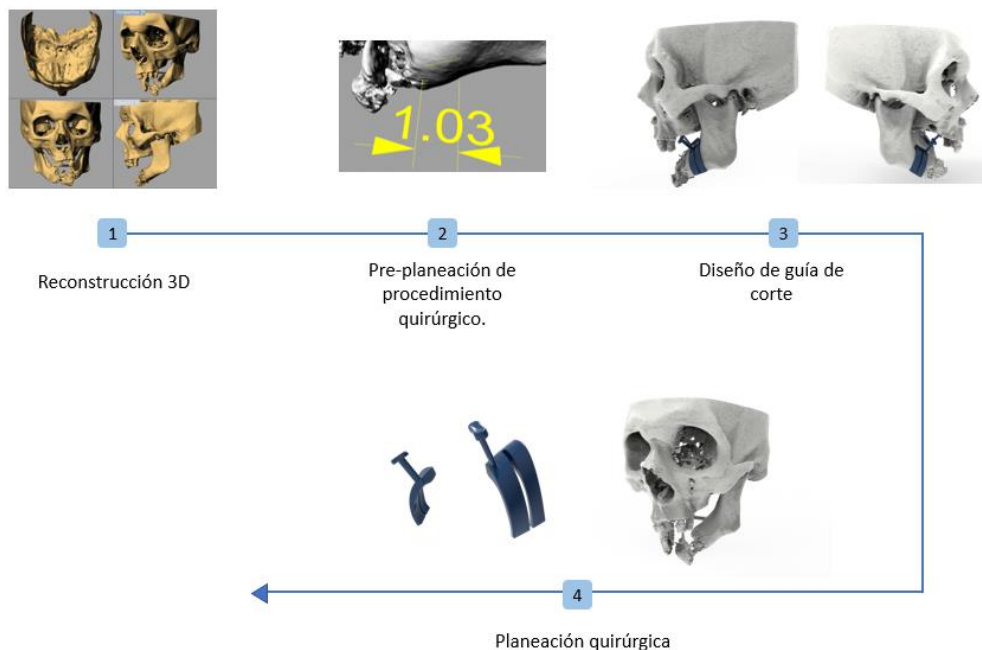
Flujograma de manejo propuesto: Se creó un algoritmo basado en búsqueda bibliográfica de estudios similares con algoritmos propuestos, para implementar el uso de planeamiento quirúrgico virtual y tecnología CAD/CAM en la institución, dando un valor agregado a este estudio, facilitando el enfoque diagnóstico y tratamiento de los pacientes en una institución pública de tercer nivel de atención, referente del Nororiente Colombiano. **(Figura 1).** En las **Figuras 2-5**, se esquematizan algunos de los casos clínicos analizados a través del protocolo de manejo creado, con el fin de proponer un posible tratamiento.

Figura 1. Resumen de proceso clínico efectuado a pacientes con defectos óseos craneo-faciales complejos aplicando planeamiento quirúrgico virtual y tecnología CAD/CAM



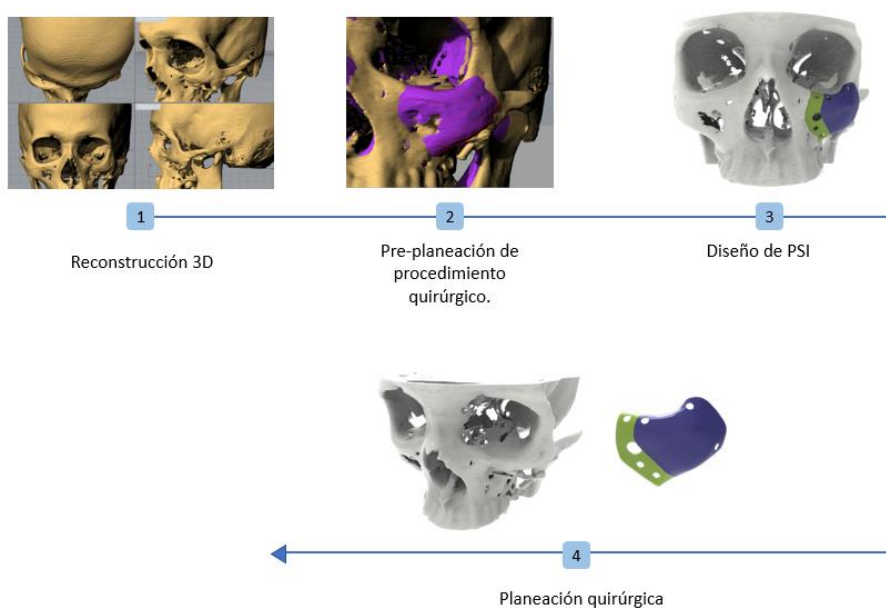
Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Paciente con Ameloblastoma mandibular, se realiza planeamiento quirúrgico virtual, simulación de resección oncológica y diseño de guías de corte.



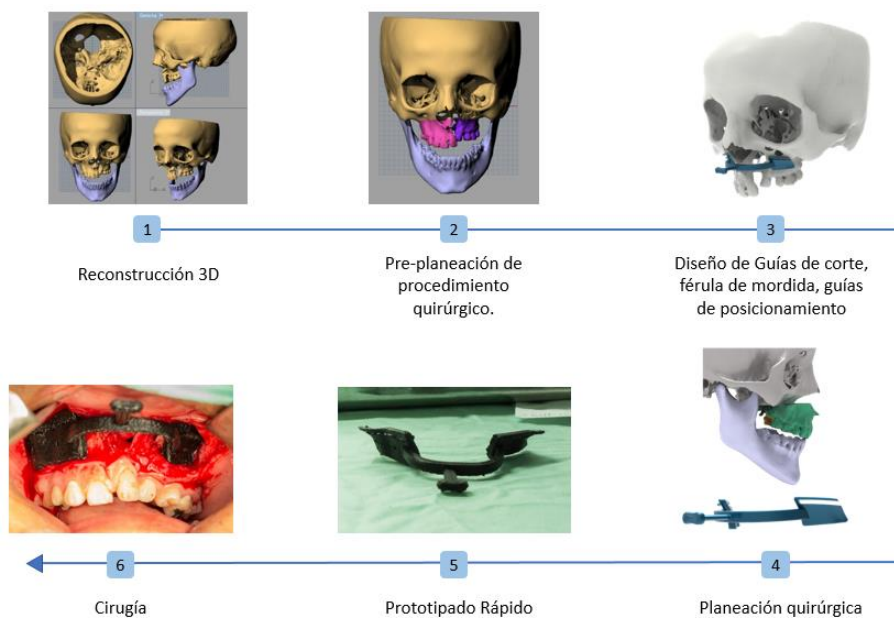
Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Paciente con pérdida de proyección malar izquierda, secuelas de fractura orbito malar por heteroagresión, se diseña implante a la medida con imagen en espejo del lado contralateral.



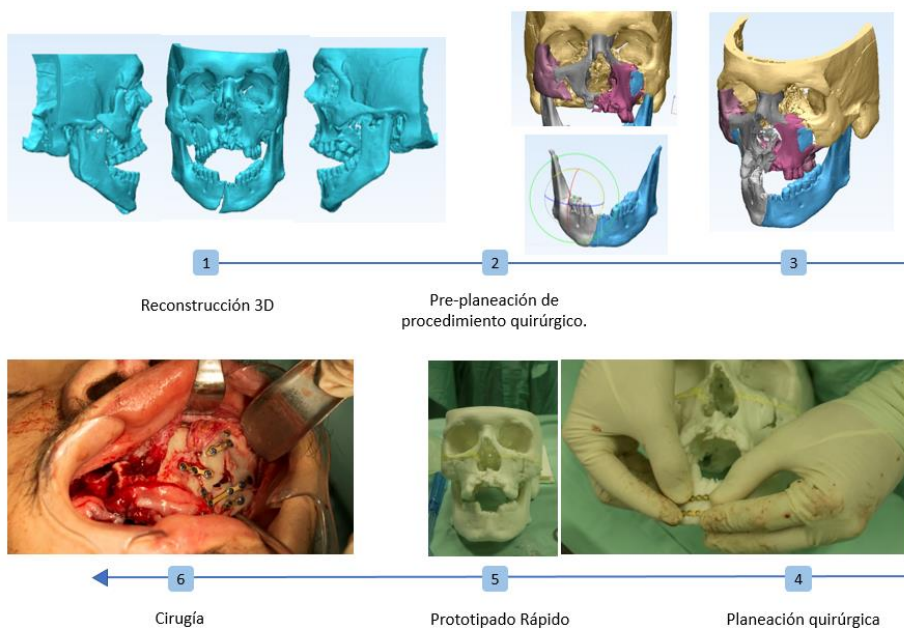
Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Paciente con hipoplasia y retrognatismo maxilar, secuelas de Labio – Paladar Hendido, se realiza planeamiento quirúrgico, simulación y diseño de guías de corte para osteotomía Lefort I.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Paciente con fracturas panfaciales secundarias a politraumatismo en accidente de tránsito, se realiza reconstrucción 3d, reducción de fracturas en simulación, impresión de modelo estereolitográfico y pre moldeamiento de placas de osteosíntesis



Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

En la reconstrucción craneofacial, específicamente la que involucra tejido esquelético óseo, se requiere de un amplio conocimiento anatómico y de las características del defecto que se va a reconstruir, tanto físicas como biomecánicas con el fin de determinar la mejor opción de tratamiento. En Colombia no se cuenta con estudios que caractericen el tipo de defectos óseos cráneo-faciales en cuanto a información demográfica de los pacientes ni a características específicas de los huesos comprometidos, razón por la cual este estudio es un primer paso que nos permite conocer nuestra población y ser un punto de partida y comparación para futuros estudios.

La información encontrada en la literatura mundial es escasa, consta en su mayoría de reporte de series de casos, presentadas por secciones, tercios faciales comprometidos, o tipo de huesos comprometidos, sin embargo al comparar los resultados de este estudio con dicha información, se encontró que al igual que en los estudios disponibles, en su mayoría los pacientes con defectos óseo cráneo-faciales son de sexo masculino, siendo en pacientes masculinos menores de 50 años más frecuentes los defectos de origen traumático en su mayoría secundarias a accidentes de tránsito o heridas por arma de fuego, mientras que en aquellos mayores de 50 años la etiología tiende a ser más frecuente de origen oncológico (8). (9) (10) (11).

La patología más frecuente en nuestra población pediátrica, similar a los resultados expuestos por Gray R. & Cols. (12), fue de etiología congénita y a medida que aumentada la edad de los pacientes aumento de etiología secundaria a trauma.

Se evidencia que los huesos comprometidos en mayor proporción en orden descendente son la mandíbula, el hueso maxilar y el malar, seguidos posteriormente por los huesos del cráneo, datos que concuerdan con la literatura mundial, (13) (14) (15). En cuanto al tamaño del defecto óseo pocos estudios reportan el tamaño del mismo, muchos lo referencian como segmentos del hueso comprometido como es el caso de la mandíbula o tipos de resecciones oncológicas como sucede con el maxilar en la clasificación de Cordeiro, entre otros (11) (16) (17). En el presente estudio el defecto óseo de mayor tamaño se encontró a nivel mandibular y era de 23 cm, correspondiente a un compromiso completo por tumor de la mandíbula, casos como estos requieren evidentemente un análisis y planeamiento quirúrgico mucho más minucioso, inclusive muchos autores han descritos distintos algoritmos para el abordaje de este tipo de reconstrucciones complejas (18). La reconstrucción de cráneo tiene la más amplia experiencia en lo referente a planeamiento quirúrgico y diseño de implantes a medida del paciente, en la literatura el defecto de mayor tamaño encontrado es de 15 x 15 cm, reconstruido con prótesis en titanio (19), en nuestro estudio, el defecto a nivel de cráneo de mayor tamaño fue de 11 x 8 cm.

Si bien las fracturas pan-faciales no representan como tal un defecto óseo o segmento óseo faltante, si requieren de un planeamiento quirúrgico complejo y minucioso y además son casos que se benefician de la aplicación de tecnología CAD/CAM con el fin de facilitar el tratamiento de estos pacientes y disminuir el tiempo quirúrgico, obteniendo resultados posoperatorios más precisos (20).

Es de vital importancia el análisis juicioso de las características del defecto óseo que se piensa reconstruir, el cual debe ser muy preciso en cuanto a dimensiones y subunidades comprometidas, además de conocer factores importantes de la población atendida, como etiología del defecto, para poder estipular medidas preventivas, de enfoque diagnóstico temprano y tratamiento rápido preciso y específico para cada paciente, a la medida. La implementación de tecnología CAD/CAM, y el trabajo conjunto del área quirúrgica reconstructiva con ingenieros y diseñadores industriales haciendo uso de dispositivos y software de reconstrucción tridimensional permite facilitar el tratamiento de pacientes con defectos óseos complejos, herramientas que están disponibles en nuestro medio.

Un valor agregado de este estudio es la creación de una guía de manejo institucional para el tratamiento de defectos óseos cráneo-faciales complejos al trabajar multidisciplinariamente y en proceso de co-creación con diseñadores industriales, con el cual se inició y aplicó el tratamiento de defectos óseos cráneo-faciales en algunos de los pacientes del Hospital Universitario de Santander. Al hacer la revisión de literatura referente a defectos cráneo-faciales reconstruidos con planeamiento quirúrgico virtual y tecnología CAD/CAM, se proponen algoritmos de manejo (11) (21) (22), también se describe tecnología de bajo costo con software gratuitos y prototipados rápidos que reducen costos, al igual que el presente estudio (23) (24) (25). Actualmente dicha guía se encuentra en estudio y desarrollo con el fin de ser ampliado y organizado para poder enfocar el tratamiento de los distintos defectos óseos cráneo-faciales por regiones y poder dar una solución más oportuna y específica a cada paciente. El presente estudio no solamente facilitó y permitió hacer un diagnóstico más preciso y tratamiento de los pacientes sino que además fortaleció la línea de investigación en cuanto a reconstrucción cráneo-facial, estimulando la creación de nuevos proyectos de investigación anidados que buscan en un futuro establecer un servicio que pueda ofrecerse no solamente a nivel local y regional sino nacionalmente.

V. CONCLUSIONES

Con el advenimiento de la tecnología CAD/CAM, el planeamiento quirúrgico virtual y la aplicación de estos en el área de cirugía cráneo-facial, tratamientos que en algún momento se consideraron complejos y generaban gran morbilidad y riesgo para el paciente, además de difícil acceso por costos y difícil consecución, hoy en día se pueden realizar con mayor facilidad y precisión, utilizando herramientas que se encuentran disponibles de forma gratuita que permiten el análisis, diagnóstico del paciente y además un planeamiento y simulación del procedimiento quirúrgico para asegurar los mejores resultados.

Es además menester hacer énfasis en la importancia del trabajo en equipo multidisciplinario no solamente entre las diferentes especialidades reconstructivas que abordan el macizo cráneo-facial sino además la integración de áreas como las ingenierías biomédicas, diseño industrial las cuales en las últimas décadas han tenido un rol importante en el desarrollo e implementación de tecnologías y dispositivos que facilitan el tratamiento de los pacientes

Contribución de los autores: Conceptualización, Diana Carolina Navarro León, Genny Liliana Meléndez Flórez.; metodología, Diana Carolina Navarro León, Genny Liliana Meléndez Flórez.; software, Clara Isabel, López Gualdrón.; validación, Diana Carolina Navarro León, Genny

Liliana Meléndez Flórez, Clara Isabel López Gualdrón.; análisis formal, Diana Carolina Navarro León.; investigación, Diana Carolina Navarro León, Genny Liliana Meléndez Flórez, Clara Isabel López Gualdrón.; recursos, Clara Isabel López Gualdrón.; curación de datos, Diana Carolina Navarro León, Genny Liliana Meléndez Flórez.; escritura: Diana Carolina Navarro León.; escritura: revisión y edición, Diana Carolina Navarro León.; visualización, Diana Carolina Navarro León, Genny Liliana Meléndez Flórez.; supervisión, Genny Liliana Meléndez Flórez.; administración del proyecto, Genny Liliana Meléndez Flórez.; adquisición de fondos, Clara Isabel López Gualdrón. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Fondos: Esta investigación no recibió fondos externos.

Agradecimientos: A la Universidad Industrial de Santander, que permitió y facilitó esta investigación con el uso de instrumentos y dispositivos del laboratorio de Diseño Industrial de la Facultad de Diseño Industrial.

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. Lübbers HT, Matthews F, Kruse AL. Modern technologies in cranio-maxillofacial surgery. *Praxis* (Bern 1994). 2014 Feb 26; 103(5):257-64. [DOI: 10.1024/1661-8157/a001570](https://doi.org/10.1024/1661-8157/a001570)
2. Bell B. Computer Planning and Intraoperative Navigation in Cranio-Maxillofacial Surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin N Am* 22 (2010) 135–156. [DOI: 10.1016/j.coms.2009.10.010](https://doi.org/10.1016/j.coms.2009.10.010)
3. Chim H., Wetjen N., Mardini S., Virtual Surgical Planning in Craniofacial Surgery. *Semin Plast Surg* 2014; 28:150–158. [DOI: 10.1055/s-0034-1384811](https://doi.org/10.1055/s-0034-1384811)
4. Tack P., Jan V., Gemmel P., Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *BioMed Eng OnLine* (2016) 15:115. [DOI: 10.1186/s12938-016-0236-4](https://doi.org/10.1186/s12938-016-0236-4)
5. Carlos G. Landaeta-Quinones C., Hernández N. Zarroug N. Computer-Assisted Surgery Applications in Dentistry and Oral and Maxillofacial Surgery. *Dent Clin N Am* 62 (2018) 403–420. [DOI: 10.1016/j.cden.2018.03.009](https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.03.009)
6. Fuertes L., Mafla A., López E. Análisis epidemiológico de trauma maxilofacial en Nariño, Colombia *Rev.CES Odont.* (2010); 23(2)33-40. [DOI: 10.1016/j.cden.2018.03.009](https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.03.009)
7. Ortiz G., Arango J., Giralgo C., Ramírez D., Uribe J. Análisis Retrospectivo de historias clínicas de pacientes intervenidos por Cirugía Maxilofacial en el Hospital General de Medellín. *Rev.CES Odont.* (2007); 20(2)17-21. [DOI: 10.21615/99](https://doi.org/10.21615/99)
8. Foley B., Thayer W., Honeybrook A., McKenna S., Press S. Mandibular Reconstruction Using Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing: An Analysis of Surgical Results, *J Oral Maxillofac Surg* 71: e111-e119, 2013. [DOI: 10.1016/j.joms.2012.08.022](https://doi.org/10.1016/j.joms.2012.08.022)
9. Bell R., Markiewicz M. Computer-Assisted Planning, Stereolithographic Modeling, and Intraoperative Navigation for Complex Orbital Reconstruction: A Descriptive Study in a Preliminary Cohort. *J Oral Maxillofac Surg* 67:2559-2570, 2009. [DOI: 10.1016/j.joms.2009.07.098](https://doi.org/10.1016/j.joms.2009.07.098)
10. R. Bosc, B. Hersant, R. Carloni, J. Niddam, J. Bouhassira, H. De Kermadec, E. Bequignon, T. Wojcik, M. Julieron, J.-P. Meningaud: Mandibular reconstruction after cancer: an in-house approach to manufacturing cutting guides. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2016. [DOI: 10.1016/j.ijom.2016.10.004](https://doi.org/10.1016/j.ijom.2016.10.004)

11. Kim N., Kim H., Kim H. J., Cha I., Nam W. Considerations and Protocols in Virtual Surgical Planning of Reconstructive Surgery for More Accurate and Esthetic Neomandible with Deep Circumflex Iliac Artery Free Flap. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 2014; 36(4):161-167. DOI: [10.14402/jkamprs.2014.36.4.161](https://doi.org/10.14402/jkamprs.2014.36.4.161)
12. Gray R., Gougoutas A., Nguyen V., Taylor J., Bastidas N. Use of three-dimensional, CAD/CAM-assisted, virtual surgical simulation and planning in the pediatric craniofacial population, *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology* 97 (2017) 163-169. DOI: [10.1016/j.ijporl.2017.04.004](https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2017.04.004)
13. Dell'Aversana Orabona G, Abbate V, Maglitto F, Bonavolontà P, Salzano G, Romano A, Reccia A, Committeri U, Iaconetta G, Califano L. Low-cost, self-made CAD/CAM-guiding system for mandibular reconstruction. *Surgical Oncology* (2018), DOI: [10.1016/j.suronc.2018.03.007](https://doi.org/10.1016/j.suronc.2018.03.007)
14. Tarsitano A, Mazzone S, Cipriani R, Scotti R, Marchetti C, Ciocca L, The CAD/CAM technique for mandibular reconstruction: an 18 patients oncological case-series, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* (2014). DOI: [10.1016/j.jcms.2014.04.011](https://doi.org/10.1016/j.jcms.2014.04.011)
15. M. Visocchi et al. (eds.), *Trends in Reconstructive Neurosurgery*. *Acta Neurochirurgica Supplement* 124, 137, 2017. DOI [10.1007/978-3-319-39546-3_21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39546-3_21)
16. Futran N., Mendez E. Developments in reconstruction of midface and maxilla. *Lancet Oncol* 2006; 7: 249–58. DOI: [10.1016/S1470-2045\(06\)70616-7](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(06)70616-7)
17. Costa H, Zenha H, Sequeira H, Coelho G, Gomes N, Pinto C, Martins J, Santos D, Andresen C. Microsurgical Reconstruction Of The Maxilla – Algorithm And Concepts. *British Journal of Plastic Surgery* (2015), DOI: [10.1016/j.bjps.2014.12.002](https://doi.org/10.1016/j.bjps.2014.12.002).
18. Liu X., Gui L., Mao C., Peng X., Yu G. Applying Computer Techniques in Maxillofacial Reconstruction Using a Fibula Flap: A Messenger and an Evaluation Method. *The Journal of Craniofacial Surgery & Volume* 20, Number 2, March 2009. DOI: [10.1097/SCS.0b013e31819b9443](https://doi.org/10.1097/SCS.0b013e31819b9443)
19. Park E. Et al. Cranioplasty Enhanced by Three-Dimensional Printing: Custom-Made Three-Dimensional-Printed Titanium Implants for Skull Defects. *J Craniofac Surg* 2016; 00: 00–00. DOI: [10.1097/SCS.0000000000002656](https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000002656)
20. Tepper O. et al. Use of Virtual 3-Dimensional Surgery in Post-Traumatic Craniomaxillofacial Reconstruction. *J Oral Maxillofac Surg* 69:733-741, 2011. DOI: [10.1016/j.joms.2010.11.028](https://doi.org/10.1016/j.joms.2010.11.028)
21. Singara S., Et al. Individually Prefabricated Prosthesis for Maxilla Reconstruction. *Journal of Prosthodontics XX* (2007). DOI: [10.1111/j.1532-849X.2007.00266.x](https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2007.00266.x)
22. McCarthy C., Cordeiro P. Microvascular Reconstruction of Oncologic Defects of the Midface. *Plast. Reconstr. Surg.* 126: 1947, 2010. DOI: [10.1097/PRS.0b013e3181f446f1](https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3181f446f1)
23. Xia J., Et al., Cost-Effectiveness Analysis for Computer-Aided Surgical Simulation in Complex Cranio-Maxillofacial Surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 64:1780-1784, 2006. DOI: [10.1016/j.joms.2005.12.072](https://doi.org/10.1016/j.joms.2005.12.072)
24. Popescu D., Laptoiu D. Rapid prototyping for patient-specific surgical orthopaedics guides: A systematic literature review. *J Engineering in Medicine*, 2016, Vol. 230(6) 495–515. DOI: [10.1177/0954411916636919](https://doi.org/10.1177/0954411916636919)
25. Maschio F., Pabdy M., Olszewski R. Experimental Validation of Plastic Mandible Models Produced by a “Low-Cost” 3-Dimensional Fused Deposition Modeling Printer. *Med Sci Monit*, 2016; 22: 943-957. DOI: [10.12659/MSM.895656](https://doi.org/10.12659/MSM.895656)
26. Fuller S., Strong B. Computer applications in facial plastic and reconstructive surgery (2007). *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 15:233–237 DOI: [10.1097/MOO.0b013e3181df2c5f](https://doi.org/10.1097/MOO.0b013e3181df2c5f)
27. Alessandro Marro BSc, Taha Bandukwala MD, Walter Mak MD, 3d Printing and Medical Imaging: A Review of the Methods and Applications, *Current Problems in Diagnostic Radiology*. DOI: [10.1067/j.cpradiol.2015.07.009](https://doi.org/10.1067/j.cpradiol.2015.07.009)