



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud

**Estudio de la evaluación de la planificación 3D en la distracción facial para el
tratamiento de malformaciones craneomaxilofaciales**

Autor:

Josep Rubio Palau

Directora:

Dra. María Piedad Ramírez Fernández

Murcia, 7 de diciembre de 2020



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

AUTORIZACIÓN DE LO/S DIRECTOR/ES DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN

La Dra. María Piedad Ramírez Fernández como Directora de la Tesis Doctoral titulada “Estudio de la evaluación de la planificación 3D en la distracción facial para el tratamiento de malformaciones craneomaxilofaciales” realizada por D. Josep Rubio Palau en el Departamento de Ciencias de la Salud, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento al Real Decreto 99/2011, 1393/2007, 56/2005 y 778/98, en Murcia a 4 de diciembre de 2020.

Este estudio ha sido realizado por Josep Rubio Palau para acceder al grado de Doctor en Ciencias de la Salud por la Universidad Católica de Murcia (UCAM).

AGRADECIMIENTOS

A mis pacientes del Hospital Sant Joan de Déu por depositar su confianza en mí.

Al Dr. Guillermo Raspall por haber creado escuela e iniciar mi aprendizaje en la cirugía maxilofacial.

A la Dra. María Piedad Ramírez por su apoyo y búsqueda de soluciones.

A mis compañeros de Cirugía del Hospital Sant Joan de Déu i en especial al Dr Tarrado por darme la oportunidad de mi vida.

A mis compañeros de Cirugía pediátrica plástica: Paco, Asteria, Miguel y Mireia por su soporte dentro y fuera de quirófano.

A mis compañeros de Ortodoncia que han permitido que volvieran a sonreír los pacientes.

A mis compañeros de viaje Irene y Albert con los que formamos un gran equipo.

A los miembros de la Unidad 3D4H, y en especial a Arnau por crear de la nada un proyecto de largo recorrido.

A Adrián Jiménez, que diseñó parte de las guías quirúrgicas.

A Vanesa que supo aprovechar una oportunidad y dejó huella en el hospital.

A mi colega Herman por acompañarme en la cirugía craneofacial.

A Marta Ayats por su entusiasmo y predisposición en la creación de soluciones innovadoras, así como en el análisis de los resultados.

A mis padres Josep y M^a Mercè y mi hermano Jordi por darme unos valores y por su esfuerzo para que tuviera la mejor formación.

A Alejandra por su apoyo incondicional y a Guillem y Gerard por llenarme de ilusión cada día.

“Lo esencial es cómo se preparen y cómo planifiquen. El viaje es lo importante. Cuando el viaje es bueno, el resultado será fantástico”

Eliud Kipchoge (1984)

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| AUTORIZACIÓN DE LA DIRECTORA | |
| AGRADECIMIENTOS | |
| ÍNDICE | 13 |
| ABREVIATURAS | 17 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 19 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 21 |
| RESUMEN | 33 |
| Antecedentes..... | 33 |
| Hipótesis | 34 |
| Objetivos..... | 34 |
| Métodos | 34 |
| Relevancia | 35 |
| Palabras clave | 35 |
| SUMMARY..... | 36 |
| Background..... | 36 |
| Hypothesis | 37 |
| Objectives | 37 |
| Methods | 37 |
| Relevance | 38 |
| Keywords..... | 38 |
| 1 INTRODUCCIÓN | 39 |
| 1 INTRODUCCIÓN | 41 |
| 1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA | 41 |
| 1.1.1 Tercio superior..... | 41 |
| 1.1.2 Tercio medio..... | 42 |
| 1.1.3 Tercio inferior..... | 43 |
| 1.2 FISURA LABIOPALATINA..... | 45 |
| 1.3 SECUENCIA DE PIERRE ROBIN | 52 |
| 1.4 SÍNDROMES CRANEOFACIALES | 56 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 1.4.1 | Microsomía hemifacial..... | 56 |
| 1.4.2 | Craniosinostosis sindrómicas | 60 |
| 1.4.3 | Síndrome de Treacher Collins | 65 |
| 1.5 | ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA CIRUGÍA ORTOGNÁTICA Y DISTRACCIÓN | 68 |
| 1.6 | MALOCCLUSIÓN | 72 |
| 1.7 | OSTEOTOMÍA DE LE FORT..... | 75 |
| 1.8 | COMPLICACIONES DE LA CIRUGÍA ORTOGNÁTICA..... | 80 |
| 1.9 | OSTEOTOMÍA DE LE FORT III..... | 86 |
| 1.10 | DISTRACCIÓN OSTEOGÉNICA | 88 |
| 1.10.1 | Referencias históricas de la distracción..... | 88 |
| 1.10.2 | Distractores internos..... | 99 |
| 1.10.3 | Complicaciones de la distracción maxilar | 104 |
| 1.11 | PLANIFICACIÓN VIRTUAL..... | 106 |
| 1.11.1 | Planificación virtual en cirugía ortognática..... | 106 |
| 1.11.2 | Otras indicaciones de la planificación virtual en cirugía craneomaxilofacial | 115 |
| 2 | DISEÑO DEL ESTUDIO..... | 127 |
| 2 | DISEÑO DEL ESTUDIO..... | 129 |
| 2.1 | SUJETOS DEL ESTUDIO..... | 129 |
| 2.2 | RECOGIDA DE DATOS..... | 130 |
| 2.3 | PLAN DE TRABAJO | 130 |
| 2.4 | LIMITACIONES DEL ESTUDIO..... | 131 |
| 2.5 | EXPERIENCIA PREVIA DEL EQUIPO INVESTIGADOR SOBRE EL TEMA 132 | |
| 2.6 | APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO / APORTACIONES PREVISTAS | 132 |
| 2.7 | MARCO ESTRATÉGICO | 133 |
| 3 | JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... | 135 |
| 3 | JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... | 137 |
| 4 | HIPÓTESIS | 139 |
| 4 | HIPÓTESIS..... | 141 |
| 5 | OBJETIVOS..... | 143 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 5 | OBJETIVOS | 145 |
| 6 | MATERIAL Y MÉTODO..... | 147 |
| 6 | MATERIAL Y MÉTODO..... | 149 |
| 6.1 | DISTRACCIÓN FACIAL..... | 149 |
| 6.1.1 | Población del estudio. Criterios de inclusión | 149 |
| 6.1.2 | Población del estudio. Criterios de exclusión..... | 149 |
| 6.1.3 | Planificación virtual de la osteotomía le Fort III y vector de distracción..... | 149 |
| 6.1.4 | Planificación estandarizada de la osteotomía Le Fort III | 150 |
| 6.1.5 | Diseño de las guías de corte | 152 |
| 6.1.6 | Transferencia del vector planificado de distracción..... | 153 |
| 6.1.7 | Procedimiento: Osteotomía de Le Fort III..... | 156 |
| 6.1.8 | Precisión de las guías..... | 157 |
| 6.2 | DISTRACCIÓN MAXILAR..... | 159 |
| 6.2.1 | Entorno del estudio..... | 159 |
| 6.2.2 | Criterios de inclusión..... | 159 |
| 6.2.3 | Criterios de exclusión | 159 |
| 6.2.4 | Planificación quirúrgica..... | 160 |
| 6.2.5 | Técnica quirúrgica | 167 |
| 6.2.6 | Adquisición de datos | 170 |
| 6.3 | DISTRACCIÓN MANDIBULAR..... | 175 |
| 6.3.1 | Criterios de inclusión..... | 175 |
| 6.3.2 | Criterio de exclusión..... | 175 |
| 2. | Planificación virtual 3D..... | 176 |
| 3. | Modelos impresos y guías de corte | 179 |
| 4. | Procedimiento quirúrgico | 179 |
| 5. | Seguimiento | 180 |
| 6. | Comparación de superficies | 184 |
| 7 | RESULTADOS | 187 |
| 7 | RESULTADOS | 189 |
| 7.1 | DISTRACCIÓN FACIAL..... | 189 |
| 7.1.1 | Precisión de las guías..... | 189 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.1.2 | Precisión de la transferencia del vector planificado | 190 |
| 7.2 | DISTRACCIÓN MAXILAR..... | 192 |
| 7.3 | DISTRACCIÓN MANDIBULAR | 201 |
| 8 | DISCUSIÓN | 205 |
| 8 | DISCUSIÓN | 207 |
| 8.1 | DISTRACCIÓN FACIAL..... | 209 |
| 8.2 | DISTRACCIÓN MAXILAR..... | 214 |
| 8.3 | DISTRACCIÓN MANDIBULAR | 218 |
| 9 | CONCLUSIONES..... | 223 |
| 9 | CONCLUSIONES..... | 225 |
| 10 | LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN | 227 |
| 10 | LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN..... | 229 |
| 11 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 231 |
| 11 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 233 |
| 12 | ANEXOS..... | 249 |
| 12 | ANEXOS..... | 251 |
| 12.1 | COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM | 251 |
| 12.2 | COMITÉ DE ÉTICA DEL HOSPITAL SANT JOAN DE DÉU | 252 |
| 12.3 | DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO..... | 253 |
| 12.4 | DOCUMENTO DE INFORMACIÓN AL PACIENTE | 254 |
| 12.5 | CARTAS DE ACEPTACIÓN DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS | 256 |

ABREVIATURAS

3D: 3 dimensiones

ATMs: Articulaciones TemporoMandibulares

CAD/CAM: Computer-Aided Design/ Computer-Aided Manufacturing.

CBCT: Cone Beam Computed Tomography

DDF: Deformidad DentoFacial

DICOM: Digital Imaging and Communications in Medicine

DO: Distracción Osteogénica

FGFR: Fibroblast Growth Factor Receptor

FLP: Fisura LabioPalatina

LCR: Líquido CefaloRaquídeo

MHF: Microsomía HemiFacial

RED: Rigid External Distractor

RMN: Resonancia Magnética Nuclear

STD: Standard Deviation

STL: STereoLithography CAD, Standard Triangle Language o Standard Tessellation Language.

TC: Tomografía Computerizada

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1: Clasificación de la microsomía hemifacial según Pruzansky y modificaciones posteriores. Pág. 57
- Tabla 2: Clasificación OMENS de la microsomía hemifacial. Pág. 58
- Tabla 3: Síndromes craneofaciales con craniosinostosis. Buchanan EP, Xue AS, Hollier LH Jr. Craniofacial syndromes. *Plast Reconstr Surg.* 2014;134(1):128e-153e. Pág. 61
- Tabla 4: Resumen de las complicaciones quirúrgicas de la cirugía ortognática según Hueto-Madrid, J. A., & Gutiérrez-Santamaria, J. (2012). Complicaciones quirúrgicas de la cirugía ortognática: presentación de tres casos y revisión de la literatura. *Revista Española de Cirugía Oral y Maxilofacial* (Vol. 34, pp. 56–74). Pág. 84
- Tabla 5: Complicaciones de la osteotomía de Le Fort según Buchanan, E. P., & Hyman, C. H. (2013). LeFort I Osteotomy. *Seminars in Plastic Surgery*, 27(3), 149–154. Pág.85
- Tabla 6: Análisis de la precisión de las osteotomías laterales, mediales, pterigomaxilares y septales en cada paciente intervenido de Le Fort III. Pág. 190
- Tabla 7: Características de los pacientes sometidos a distracción maxilar. Pág. 193
- Tabla 8: Intervalo que mantiene el 90% de las distancias de los puntos entre la posición del maxilar planificada y la posición del maxilar final y la posición planificada y final de los tornillos cigomáticos (valor absoluto). Pág. 199

- Tabla 9: Valor máximo del histograma obtenido de la comparación de superficies (valor absoluto). Pág. 200
- Tabla 10: Características de los pacientes intervenidos de distracción mandibular. Pág. 201
- Tabla 11: Resultados de la comparación de superficies de los pacientes intervenidos de distracción mandibular. Pág. 202
- Tabla 12: Ventajas e inconvenientes de los distractores internos y externos. Pág. 215

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Desarrollo embrionario facial según A practical prenatal ultrasound classification system for common oral clefts. W Maarse et al¹¹. Pág. 46
- Figura 2: Clasificación de Kernahan “The Striped-Y”. Kernahan et al¹². Pág. 47
- Figura 3: Clasificación según Allori AC et al¹⁵. Pág. 48
- Figura 4: Clasificación de las fisuras faciales diagnosticadas prenatalmente mediante ecografía según A practical prenatal ultrasound classification system for common oral clefts. W Maarse et al¹¹. Pág. 49
- Figura 5: Clasificación de la clasificación de Kernahan en “Y” modificada, con todos los componentes hendiduras orales de la izquierda (es decir, el labio, el alvéolo, paladar duro y blando y paladar submucoso) según A practical prenatal ultrasound classification system for common oral clefts. W Maarse et al¹¹. Pág. 50
- Figura 6: Secuencia de Pierre Robin: Hipoplasia mandibular, glosoptosis y fisura palatina (figura propia). Pág. 52
- Figura 7: Distracción mandibular neonatal con distractores externos tipo Molina con agujas de Kirschner según la técnica “through and through” (figura propia). Pág. 55
- Figura 8: Microsomía hemifacial grado I según la clasificación de Pruzansky (figura propia). Pág. 58
- Figura 9: Microsomía hemifacial grado II según la clasificación de Pruzansky (figura propia). Pág. 59
- Figura 10: Microsomía hemifacial grado III según la clasificación de Pruzansky (figura propia). Pág. 59

- Figura 11: Paciente con síndrome de Crouzon por Octave Crouzon - Octave Crouzon²⁶. Pág. 62
- Figura 12: Malformación craneofacial en paciente afecto de síndrome de Treacher Collins (figura propia). Pág. 67
- Figura 13: Fotografía de V. P. Blair, quien fue el primero en describir varias técnicas operativas para la corrección de las deformidades maxilofaciales (cortesía de Anthony Wolfe). A la derecha La osteotomía del cuerpo mandibular realizada por Blair en 1897 en la llamada "operación de Saint Louis"³⁷. Pág. 68
- Figura 14: Junto al Profesor Dr Hugo Obwegeser (1920-2017) en el Congreso Europeo de Cirugía Maxilofacial en 2006. Pág. 69
- Figura 15: Avance maxilar complete mediante la osteotomía de Le Fort I en un paciente con fisura labiopalatina. Obwegeser³⁹. Pág. 70
- Figura 16: Primer set de miniplacas Luhr que fue diseñado para la aplicación de osteosíntesis de compresión y que se utilizó en cirugía ortognática³⁷. Pág. 71
- Figura 17: Distintos fragmentos de la descripción de las maloclusiones dentales según Edward Angle en 1900⁴⁴. Pág. 74
- Figura 18: Oclusión dental y esquelética tipo I o normoclusión (izquierda), tipo II o distoclusión (centro) y tipo III o mesioclusión (derecha). Pág. 74
- Figura 19: René Le Fort y Fracturas de Le Fort I, II y III. AO Surgery Reference. Pág. 76
- Figura 20: Imágenes del artículo original de René Le Fort en 1901⁴⁶. Pág. 76
- Figura 21: Imagen de los patrones clásicos de fractura de los maxilares descritos por Le Fort⁴⁸. Pág. 77
- Figura 22: Osteotomía de Le Fort I segmentada en "H" con injertos en la parte anterior de las osteotomías (figura propia). Pág. 79

- Figura 23: Osteotomía de Le Fort I segmentada asimétrica con injerto óseo y transposición de las bolas adiposas de Bichat en paciente con fisura (figura propia). Pág. 80
- Figura 24: Ilustración de la primera osteotomía tipo Le Fort III realizada por Gillies y Harrison en 1942⁵⁹. Pág. 86
- Figura 25: Esquemas de la osteotomía de Le Fort III según Tessier, P⁶⁰. Pág. 86
- Figura 26: Diagrama de la técnica experimental de osteotomía según Ilizarov, G. A.⁶⁷. Pág. 89
- Figura 27: Alargamiento de extremidades en acondroplasia según Ilizarov, G. A.⁶⁶ Pág. 90
- Figura 28: Distractor mandibular con pins de 2mm. Dibujo esquemático del lado de la corticotomía y de la colocación del distractor según Karp, N. S.⁶⁹ Pág. 91
- Figura 29: Telerradiografías de perfil de cráneo que muestran el cambio en la morfología mandibular tras una distracción mandibular bilateral. McCarthy et al²⁰. Pág. 91
- Figura 30: Distractor rígido de tercio medio (KLS Martin). Polley, J. W., & Figueroa, A. A. ⁷⁷. Pág. 93
- Figura 31: Utilización del distractor externo rígido en un paciente con fisura labiopalatina. Polley, J. W., & Figueroa, A. A. ⁷⁷. Pág. 94
- Figura 32: Utilización experimental de distractores maxilares internos. Rachmiel et al⁸¹. Pág. 95
- Figura 33: Tipos de tracción facial en el sistema RED: izquierda a través de un arco de anclaje dental, derecha mediante miniplacas de anclaje esquelético (Fuente KLS-Martin). Pág. 97

- Figura 34: Izquierda tracción mediante anclaje dental, derecha mediante anclaje esquelético. (Fuente KLS-Martin). Pág. 98
- Figura 35: Sistema RED con fijación craneal a medida del paciente (figura propia). Pág. 99
- Figura 36: Distractor maxilar interno en un macaco Rhesus. Weinzweig et al⁸⁶. Pág. 100
- Figura 37: Planificación virtual con adaptación con modelos estereolitográficos. Nadjmi et al⁹⁰. Pág. 102
- Figura 38: Distintos pasos de la planificación quirúrgica manual tradicional de cirugía ortognática (figura propia). Pág. 107
- Figura 39: Proceso de flujo de trabajo para la planificación virtual de cirugía ortognática. Swennen et al¹⁰³. Pág. 108
- Figura 40: 7 pasos de la planificación virtual en cirugía ortognática. Rubio-Palau et al¹⁰⁴. Pág. 111
- Figura 41: Análisis preoperatorio de la vía aérea en una paciente con deformidad dentofacial clase III esquelética (Figura propia). Pág. 113
- Figura 42: Dispositivo de realidad aumentada X-Scope descrito por Mischkowski para cirugía ortognática¹¹⁵. Pág. 117
- Figura 43: Sistema WARM descrito por Badiali et al¹¹⁶. Pág. 117
- Figura 44: Izquierda modelo estereolitográfico a escala real, distractores maxilares, guías de corte y guías de posicionamiento. Derecha simulación de osteotomía Le Fort III en cráneo impreso en 3D. Pág. 119
- Figura 45: Izquierda teleradiografía lateral de cráneo preoperatoria, centro planificación quirúrgica virtual, derecha teleradiografía lateral de cráneo postoperatoria (figura propia). Pág. 120
- Figura 46: Imágenes de perfil pre y postoperatorias de paciente sometido a cirugía ortognática bimaxilar y mentoplastia (figura propia). Pág. 120

- Figura 47: Simulación virtual de distracción osteogénica mediante distractores externos en un paciente neonato con secuencia de Pierre Robin (figura propia). Pág. 121
- Figura 48: Izquierda teleradiografía lateral de cráneo preoperatoria, centro planificación virtual de osteotomía de premaxila, derecha teleradiografía lateral de cráneo postoperatoria (figura propia). Pág. 123
- Figura 49: Arriba planificación virtual de osteotomías para la corrección de una deformidad nasal. Abajo rinoplastia ultrasónica según planificación 3D (figura propia). Pág. 124
- Figura 50: Planificación virtual e imágenes intraoperatorias de la corrección de una craneosinostosis (figura propia). Pág. 125
- Figura 51: A Fotografía 360 preoperatoria. B Simulación quirúrgica mediante software Crisalix. C Resultado postoperatorio (figura propia). Pág. 126
- Figura 52: Detalles de la estandarización de la osteotomía de Le Fort III a nivel de la sutura frontocigomática (a), la pared orbitaria lateral (b), la unión pterigomaxilar (c), la pared orbitaria medial (d) y el hueso nasal y el tabique (e) (figura propia). Pág. 151
- Figura 53: Todas las guías de corte se conectan a una barra de referencia supraorbitaria con conexiones en puzle e indican los cortes orbitarios, nasales, septales y pterigomaxilares planificados (figura propia). Pág. 152
- Figura 54: Imagen intraoperatoria del posicionamiento de las guías, impresa en plástico Multijet transparente. Las guías se fijan con tornillos autopercutores de 1,5 mm. (figura propia) Pág. 153
- Figura 55: Para asegurar una posición correcta del distractor externo y transferir el vector planificado de distracción, se han diseñado diferentes métodos de transferencia. En esta figura se muestra el método Face-bow en combinación con una guía oclusal (figura propia). Pág. 154

- Figura 56: Colocación de distractor RED según el método Face-bow (figura propia). Pág. 154
- Figura 57: Colocación del distractor RED con la guía oclusal combinada con el método Face-bow (figura propia). Pág. 155
- Figura 58: Colocación de guías de posicionamiento de placas específicas por paciente (figura propia). Pág.155
- Figura 59: Para realizar la osteotomía del tabique nasal, un osteotomo recto de 6 mm está marcado con un Steri-Strip™ (3M™, Minnesota, EE. UU.) a una distancia predeterminada (figura propia). Pág. 156
- Figura 60: Todas las osteotomías se analizan por separado seleccionando un área idéntica en las superficies registradas. La selección es similar a un haz para las osteotomías laterales y pterigomaxilar. El haz está orientado paralelo a la dirección de la osteotomía e incluye la superficie de osteotomía (a). Para el análisis de la región orbital medial, el hueso nasal y el tabique nasal, se prefiere un área de selección esférica (b) (figura propia). Pág. 161
- Figura 61: Posicionamiento de la mandíbula (figura propia). Pág. 158
- Figura 62: Diseño de la osteotomía de Le Fort I (figura propia). Pág. 161
- Figura 63: Planificación de la posición del maxilar (figura propia). Pág. 161
- Figura 64: Elección y personalización del distractor según la anatomía del paciente (figura propia). Pág. 162
- Figura 65: Diseño del raíl en el malar para la estabilización del distractor (figura propia). Pág 162
- Figura 66: Medición de la profundidad de cada tornillo de osteosíntesis (figura propia). Pág 162
- Figura 67: Diseño de la posición de los distractores evitando las raíces dentales (figura propia). Pág. 163

- Figura 68: Diseño de las guías de corte y posicionamiento de anclaje dental. Izquierda: Guías de corte en dos piezas. Osteotomía Le Fort I en azul. Derecha: Posicionamiento y guías de vector con distractores adaptados a la anatomía del paciente (figura propia). Pág. 163
- Figura 69: Vista sagital de las guías de corte (izquierda), guías de posicionamiento y vector y distractores (medio), y simulación del avance maxilar (derecha) (figura propia). Pág. 164
- Figura 70: Guías de corte y posicionamiento de anclaje esquelético (arriba), distractores maxilares y tornillos adaptados a la anatomía del paciente (abajo) (figura propia). Pág 164
- Figura 71: Modelo estereolitográfico del maxilar, distractores maxilares Zurich KLS-Martin, guías de vector y de posicionamiento (figura propia). Pág 165
- Figura 72: A: Guías de corte; B: Guías de posicionamiento y guías de vector; C: Guías de corte y posicionamiento (figura propia). Pág. 166
- Figura 73: Reposicionamiento maxilar virtual antes de la colocación de los distractores. Medición de la corrección del canting maxilar. B Diseño de la guía de corte para realizar la osteotomía asimétrica de Le Fort I. C Reposicionamiento maxilar con férula intermedia. D Diseño de guías de posicionamiento de distractores maxilares según la posición del maxilar corregida (figura propia). Pág. 166
- Figura 74: Reposicionamiento maxilar quirúrgico. Colocación y fijación de las guías de corte de la osteotomía de Le Fort. B y C Osteotomía izquierda doble para corregir el canting maxilar. D Reposicionamiento maxilar y colocación del distractor utilizando una férula intermedia (figura propia). Pág. 167
- Figura 75: Down-fracture del maxilar (figura propia). Pág 168

- Figura 76: Colocación del distractor según la guía del vector y de posicionamiento (figura propia). Pág 168
- Figura 77: Colocación de las guías de vector, activación y protección de los activadores con una cánula de silicona (figura propia). Pág 169
- Figura 78: Telerradiografías laterales para la comprobación del progreso del avance maxilar. (figura propia) Pág. 170
- Figura 79: Tomografías computarizadas preoperatorias y posteriores a la distracción osteogénica y tras la retirada de los distractores y ortodoncia. Pág. 170
- Figura 80: Creación de un mapa de superficie común (figura propia). Pág. 171
- Figura 81: Resultado de la herramienta de comparación de superficies aplicada a la posición maxilar (figura propia). Pág. 172
- Figura 82: Esquema de la herramienta de comparación de superficies GOM Inspect. Se representan dos superficies: superficie 1 (S1) en azul y superficie 2 (S2) en verde. Para cada punto de S1, se genera un vector perpendicular que alcanza el punto más cercano en S2. La longitud de este vector es la distancia entre puntos. El software colorea la superficie de acuerdo con la longitud del vector; el código de color se muestra a la derecha. En este ejemplo, hay un vector de 1mm y un vector de 1,3mm, dos vectores de 1,1mm y dos vectores de 1,2mm. No hay vectores de 0mm o 2mm en este caso (figura propia). Pág. 172
- Figura 83: Resultado de la herramienta “Comparación de superficies” para el posicionamiento de los tornillos cigomáticos (figura propia). Pág. 173
- Figura 84: Histograma resultante de la aplicación de la herramienta de comparación de superficies para comparar los maxilares. Las líneas rojas indican el intervalo en el que se encuentra el 90% de los puntos. La línea azul indica el valor máximo del histograma (figura propia). Pág. 174

- Figura 85: Planificación quirúrgica virtual. A: Línea de osteotomía; distractor y tornillos de fijación. B: Guía de corte virtual. (figura propia) Pág. 177
- Figura 86: Planificación quirúrgica virtual. Tornillos de longitud y posición para evitar el contacto con raíces dentales y dañar el nervio dentario inferior. A, B: Lado derecho. C, D: Lado izquierdo (figura propia). Pág. 177
- Figura 87: Planificación quirúrgica virtual. Guía de corte con los agujeros para los tornillos y la línea de osteotomía, el distractor virtual y el gap para distraer (figura propia). Pág. 178
- Figura 88: A: Tomografía computarizada 3D del paciente 3 antes de la cirugía. B: Planificación virtual de la simulación del movimiento del distractor. C: Planificación virtual del resultado final (figura propia). Pág. 178
- Figura 89: Modelos impresos, incluyendo la guía de corte (figura propia). Pág. 179
- Figura 90: Campo quirúrgico. A: Guía de corte en el ángulo de la mandíbula. B: Línea de osteotomía y orificios de los tornillos ya hechos. C: Distractor colocado en la posición final. D: Distractor activado en el campo quirúrgico (figura propia). Pág. 180
- Figura 91: Radiografía panorámica. A: Antes de la cirugía. B: Con el distractor antes de la activación. C: Con la distracción completa, antes de retirar el distractor. D: Con el distractor retirado y el hueso consolidado (figura propia). Pág. 181
- Figura 92: Telerradiografía lateral de cráneo. A: Antes de la cirugía. B: Con el distractor antes de la activación. C: Con la distracción completa, antes de retirar el distractor. D: Con el distractor retirado y el hueso consolidado. Las placas de tracción se utilizaron para cerrar la mordida abierta anterior durante el proceso de consolidación. Observe la mejoría de la vía

respiratoria y la sobrecorrección de la posición mandibular con oclusión de clase III (figura propia). Pág. 182

- Figura 93: Apariencia del paciente 1. Visión sagital. R: Antes de la cirugía. B: Después de la cirugía (figura propia). Pág. 182
- Figure 94: Planificación virtual (A) vs. Resultado final (B) del paciente 2 (figura propia). Pág. 183
- Figura 95: Planificación virtual (A) vs. Resultado final (B) del paciente 4 (figura propia). Pág. 183
- Figura 96. Comparación de superficies del paciente 2. Línea de osteotomía. A: Línea de osteotomía derecha. B: Línea de osteotomía izquierda (figura propia). Pág. 184
- Figura 97: Ángulo del distractor en el paciente 3 (figura propia). Pág. 185
- Figura 98: Comparación de superficies en el paciente 1. Tornillos posteriores derechos (A). Tornillos posteriores izquierdos (B) (figura propia). Pág. 185
- Figura 99: La planificación preoperatoria (en gris) se proyecta en la TC postoperatoria el primer día postoperatorio (en azul) para los diferentes sistemas de transferencia: el método Face-bow (a), las placas específicas del paciente (b), la transferencia con una guía oclusal (c), y la combinación del método de arco frontal con una guía oclusal (d, e). En casi todos los casos, se detectó un aumento de la rotación en el sentido de las agujas del reloj del RED al final del período de consolidación de al menos 8 semanas (f); la TC postoperatoria inmediata (en gris) se proyecta en la tomografía computarizada al final de la consolidación (en azul) para dos casos (figura propia). Pág. 191
- Figura 100: Distractor maxilar izquierdo hallado roto en el momento de la retirada (figura propia). Pág. 192

- Figura 101: Imágenes pre y postoperatorias de perfil e intraorales laterales del paciente 5 (figura propia). Pág. 194
- Figura 102: Imágenes pre y postoperatorias de perfil e intraorales laterales del paciente 1 (figura propia). Pág. 194
- Figura 103: Imágenes pre y postoperatorias de perfil de la paciente 3 (figura propia). Pág. 195
- Figura 104: Imágenes pre y postoperatorias de perfil de la paciente 2 (figura propia). Pág. 195
- Figura 105: Imágenes pre y postoperatorias de perfil de la paciente 11 (figura propia). Pág. 196
- Figura 106: Imágenes pre y postoperatorias de perfil de la paciente 8 (figura propia). Pág. 196
- Figura 107: Imágenes pre y postoperatorias de perfil de la paciente 6 (figura propia). Pág. 197
- Figura 108: Imágenes preoperatorias (izquierda), planificadas (centro) y postoperatorias (derecha) de la oclusión del paciente 1 (figura propia). Pág. 197
- Figura 109: Desviación del 100% de la precisión de la posición del maxilar en cada paciente. La línea roja indica el límite de 1.5mm. Pág. 198
- Figura 110: Intervalo que engloba el 90% de los valores de la distancia del posicionamiento de los tornillos zigomáticos en cada paciente. La línea roja indica el límite superior de 1.5mm. Pág. 199
- Figura 111: Imágenes faciales de la paciente 3. A: Antes de la intervención. B: Después de la cirugía (figura propia). Pág. 203
- Figura 112: Canting maxilar y oclusión de la paciente 3. A, C: Previo a la intervención. B, E: Después de la intervención. D Nivelación y creación de mordida abierta posterior contralateral con levante de mordida (figura propia). Pág. 204

- Figura 113: Histograma de superficie de la paciente 3 tras la finalización de la activación del distractor en comparación con la planificación virtual. (figura propia). Pág. 204
- Figura 114: A Imagen prequirúrgica. B Durante el período de distracción. C Tras la retirada del distractor de la paciente 1 (figura propia). Pág. 212
- Figura 115: A Imagen prequirúrgica. B Durante el período de distracción. C Tras la retirada del distractor de la paciente 1 (figura propia). Pág. 212

RESUMEN

Antecedentes

Las deformidades dentofaciales severas y algunos síndromes craneofaciales se asocian a alteraciones de la oclusión que suelen precisar tratamiento quirúrgico para su corrección. En casos leves o moderados se pueden tratar mediante cirugía ortognática pero cuando la deformidad es muy severa precisan la realización de distracción osteogénica. Dicho procedimiento consiste en la realización de una osteotomía, estabilización de los fragmentos para la creación del callo de fractura y elongación progresiva del mismo para generar tejido óseo.

Este tratamiento es utilizado rutinariamente para alargar las extremidades y a nivel facial en los maxilares.

La planificación 3D consiste en la realización de una TAC y mediante un software específico realizar la cirugía en un entorno virtual para la posterior impresión de modelos físicos 3D y guías de corte y posicionamiento que trasladen la cirugía virtual al quirófano.

El estudio consiste en evaluar la eficacia de la planificación 3D en los pacientes sometidos a distracción facial para corregir su oclusión y anatomía facial en tres niveles:

1. Distracción facial en síndromes craneofaciales (Crouzon, Apert, Pfeiffer) que precisen osteotomía de Le Fort III.
2. Distracción maxilar en pacientes con fisura labiopalatina que presenten clase III esquelética por hipoplasia maxilar severa.
3. Distracción mandibular en pacientes con clase II esquelética de causa mandibular que puedan condicionar la vía aérea o con asimetrías mandibulares severas por microsomía hemifacial.

Hipótesis

La planificación 3D proporciona una alta precisión en el tratamiento quirúrgico de las malformaciones craneomaxilofaciales con distracción osteogénica.

Objetivos

Objetivo Principal:

Validar el uso de la planificación 3D en las osteotomías faciales y posterior distracción osteogénica de los pacientes con fisura labiopalatina o síndromes craneofaciales intervenidos en el Hospital Sant Joan de Déu de Barcelona.

Objetivos secundarios:

1. Desarrollar nuevos diseños de guías de corte y de posicionamiento de los distractores y analizar la precisión de las mismas.
2. Analizar la precisión de la posición final de los maxilares respecto a la planificación virtual.
3. Estandarizar los procedimientos quirúrgicos de distracción craneofacial.

Métodos

Se han analizado los pacientes intervenidos de distracción osteogénica de tercio superior, medio e inferior planificados mediante tecnología 3D. Se ha comparado la planificación con la TC postoperatoria para evaluar la precisión y se han analizado los resultados.

Relevancia

La principal aportación es la validación y estandarización de un proceso que permite mejorar la calidad del tratamiento, aumentar la precisión y reducir la morbilidad en pacientes pediátricos sometidos a cirugías de alta complejidad.

Palabras clave

Distracción osteogénica; planificación virtual, planificación 3D; osteotomía Le Fort; fisura labiopalatina; síndrome craneofacial.

SUMMARY

Background

Severe dentofacial deformities and some craniofacial syndromes are associated with occlusal disturbances that often require surgical treatment for correction. Mild and moderate cases may be treated with orthognathic surgery; in cases with severe deformity, osteogenic distraction becomes a need. The procedure involves performing osteotomies, stabilizing the fragments to promote creation of a fracture callus, and progressively elongating the callus to generate bone tissue.

This treatment is routinely used to lengthen the limbs; in the face, it is commonly applied to the jaws.

3D planning is the use of specific software to perform surgery in a virtual environment, based on CT scan data, and subsequently printing physical 3D models, and cutting and positioning guides, that will help move virtual surgery to the operating room.

The aim of this study is to evaluate the effectiveness of 3D planning in patients undergoing facial distraction to correct their occlusion and facial anatomy at three different points:

1. Facial distraction in craniofacial syndromes (Crouzon, Apert, Pfeiffer) that require Le Fort III osteotomy.
2. Maxillary distraction in patients with cleft lip and palate who have skeletal class III malocclusion due to severe maxillary hypoplasia.
3. Mandibular distraction in patients with severe mandibular hypoplasia concerning the airway, or severe jaw asymmetry due to hemifacial microsomia.

Hypothesis

3D planning provides high accuracy in osteogenic distraction when treating craniomaxillofacial malformations.

Objectives

Main objective:

To validate the use of 3D planning in facial osteotomies and subsequent osteogenic distraction in patients with cleft lip and palate or craniofacial syndromes.

Secondary objectives:

1. To develop new designs of cutting and positioning guides for distraction osteogenesis and to analyze their accuracy.
2. To analyze the accuracy of the final position of the jaws, compared to virtual planning.
3. To standardize surgical procedures involving craniofacial distraction.

Methods

Pre and postoperative CT scans of patients operated with virtually planned osteogenic distraction of the upper, middle or lower facial thirds using 3D technology will be analyzed. Results will be described and quantified to determine accuracy of the procedure.

Relevance

The main contribution of this work will be the validation and standardization of a process that improves the quality of treatment by increasing accuracy and reducing morbidity in a group of pediatric patients with severe deformities undergoing highly complex surgical procedures.

Keywords

Distraction osteogenesis; virtual planning, 3D planning; Le Fort osteotomy; cleft lip and palate; craniofacial syndrome.

1 INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL TEMA

A continuación, se describen los antecedentes de cada uno de los subestudios a nivel de los tercios faciales.

1.1.1 Tercio superior

Existe un consenso general de que el avance quirúrgico del tercio medio de la cara ofrece importantes beneficios funcionales y psicológicos a los niños con hipoplasia de esta zona asociada a un síndrome. Sin embargo, la morbilidad quirúrgica de este tipo de cirugía es desafortunadamente considerable. Por lo tanto, la necesidad de disminuir la morbilidad de la cirugía ya no puede ser ignorada desde que en otros campos quirúrgicos se aplican técnicas mínimamente invasivas que han demostrado su seguridad, viabilidad y eficacia.

La planificación preoperatoria tridimensional es el estado del arte en cirugía ortognática y actualmente es un procedimiento rutinario ampliamente extendido. El desplazamiento óseo de los maxilares se mide en relación a la base craneal anterior que no se altera durante la cirugía ortognática, ya que sólo afecta al tercio inferior de la cara. En cambio, en la cirugía craneofacial, la base craneal anterior se modifica y no puede utilizarse como referencia de calibración. Esto hace que la planificación 3D en este tipo de cirugías sea un reto, ya que es necesario desarrollar un marco de referencia alternativo.

La planificación quirúrgica 3D preoperatoria de las osteotomías, así como la colocación de los distractores puede ser útil para asegurar que las estructuras

críticas, como arterias o nervios principales, puedan no ser dañadas durante el procedimiento quirúrgico y que la movilización de las estructuras óseas sea según el estudio virtual. Las guías de corte quirúrgicas esterilizables proporcionan ayudas tangibles ya que marcan la trayectoria de la osteotomía y pueden usarse para asegurar que la osteotomía virtualmente planificada se transfiera correctamente al paciente real durante la cirugía.

1.1.2 Tercio medio

La fisura labiopalatina es la deformidad craneofacial más frecuente¹. La hipoplasia maxilar es una deformidad común en los pacientes con fisura labiopalatina. El déficit de crecimiento maxilar puede ser secundario a la extensa cicatrización postoperatoria como resultado de múltiples cirugías y consecuentemente se produce una hipoplasia maxilar en los planos vertical, horizontal y transversal^{1,2}. Esto puede aparecer en hasta el 50% de los pacientes en algunas series³. Las deficiencias leves y moderadas pueden ser tratadas mediante cirugía ortognática. Rachmiel describió que los pacientes fisurados tienen más tendencia a la recidiva después de la osteotomía de Le Fort I que los pacientes no fisurados⁴. Las hipoplasias severas pueden ser tratadas mediante distracción osteogénica. Este procedimiento se basa en la formación ósea entre dos fragmentos después de la tensión gradual. Esta técnica fue descrita en 1905 por Codivilla. En 1950, Ilizarov aplicó la distracción para alargar las extremidades de los pacientes durante más de 35 años¹. Esta técnica fue publicada en deformidades craneofaciales por McCarthy en 1992³. La distracción maxilar fue descrita en 1997 por Polley y Figueroa utilizando un distractor rígido externo (Rigid External Distractor, RED), que permite un avance gradual del maxilar evitando la necesidad de fijación o injertos óseos⁵. También permite ajustar la orientación del vector durante toda la duración

del período de distracción. En 1998, Molina y Ortiz Monasterio describieron los resultados de la distracción maxilar en pacientes con fisura labiopalatina³.

Hay varias publicaciones que estudian los cambios postoperatorios después de la distracción maxilar usando dispositivos RED^{6,7} y menos con distractores internos^{3,8} que son más pequeños y más cómodos para el paciente. Los resultados habitualmente se evalúan con cefalometrías laterales 2D y recientemente algunas publicaciones han descrito las ventajas de la planificación 3D en la distracción maxilar.

El propósito de este estudio es analizar la precisión de la planificación 3D en la distracción maxilar con distractores internos en pacientes con fisura labiopalatina.

1.1.3 Tercio inferior

La hipoplasia mandibular severa puede producir importantes patologías en el organismo secundarias a la apnea obstructiva del sueño. Esto puede suceder desde el nacimiento como en los pacientes afectados de secuencia Pierre Robin, una rara enfermedad genética con una incidencia de 1 paciente de cada 8500 recién nacidos, y que se caracteriza por una tríada clásica: hipoplasia mandibular (como alteración primaria), glosoptosis que produce que la lengua obstruya la fusión palatina durante el desarrollo fetal (alteración secundaria) y fisura palatina en forma de "U" (alteración secundaria). Este trastorno es aislado en un 40% de los casos y asociado a otros síndromes con alteraciones craneofaciales cardíacas en un 60% y puede producir desnutrición por defectos en la deglución, estridor por obstrucción de la vía aérea superior, apneas, tiraje costal o cor pulmonale entre otras patologías. Consecuentemente el tratamiento tiene que ser precoz y en un hospital de tercer nivel pediátrico de manera escalonada: inicialmente de manera conservadora con medidas posturales (decúbito lateral o prono para dormir), cánulas nasofaríngeas,

CPAP o intubación endotraqueal y si no es suficiente hay que proceder a una terapia invasiva. Se han descrito distintos tipos de tratamiento quirúrgico como la glosopexia, la traqueostomía o la distracción osteogénica mandibular. En nuestro centro optamos por esta última dada que trata el problema etiológico y se realiza mediante la colocación de distractores previa planificación virtual de la osteotomía, estudio del vector de distracción y del sitio de colocación de los distractores para normalizar la anatomía mandibular. Este protocolo es aplicado también en los pacientes pediátricos con hipoplasia mandibular bilateral que condiciona una apnea obstructiva del sueño o en los unilaterales secundarios a microsomía hemifacial (por ejemplo, en el síndrome oculoaurículovertebral de Goldenhar). En estos casos es imprescindible la colaboración con el equipo de Ortodoncia para definir la oclusión posterior y en algunos casos confeccionar un levante de mordida previo a la intervención.

1.2 FISURA LABIOPALATINA

La fisura labiopalatina es la malformación congénita más frecuente a nivel craneofacial¹ y tiene una causa multifactorial durante el desarrollo embrionario entre la sexta y octava semanas de vida intrauterina. La incidencia a nivel mundial varía en las distintas zonas geográficas y oscila entre 1 de cada 500 a 2500 recién nacidos vivos⁹. Las fisuras pueden presentarse de manera aislada o asociadas a síndromes genéticos, ser unilaterales o bilaterales. En varones suelen ser más frecuentes en el lado izquierdo.

Las fisuras aparecen por un defecto de fusión de los procesos faciales. Un defecto de la fusión de los procesos maxilares y frontonasal en un lado o en los dos del alvéolo condicionará la aparición de una fisura unilateral o bilateral¹⁰ (Figura 1). El paladar se puede dividir en primario o secundario en función de su localización anterior o posterior al foramen incisivo. El paladar primario o proceso palatino medio formará posteriormente la premaxila, mientras que el paladar secundario, que se empieza a formar a partir de la sexta semana, desarrollará tanto el paladar duro como blando. Las fisuras del paladar primario son secundarias al mismo fallo de fusión de los procesos maxilares y frontonasal⁹. La aparición de la fisura del paladar secundario tiene otro origen embriológico y es secundario al fracaso de fusión de las crestas palatinas que habitualmente sucede alrededor del día 40 uniéndose de delante hacia atrás. Un stop en este proceso de fusión posterior al foramen incisivo producirá una fisura palatina. Las fisuras palatinas pueden aparecer de manera aislada o asociadas a fisura labioalveolar. Es excepcional la aparición de una fisura labiopalatina con integridad del proceso alveolar ya que sería la aparición de dos variantes embriológicas en el mismo paciente¹⁰.

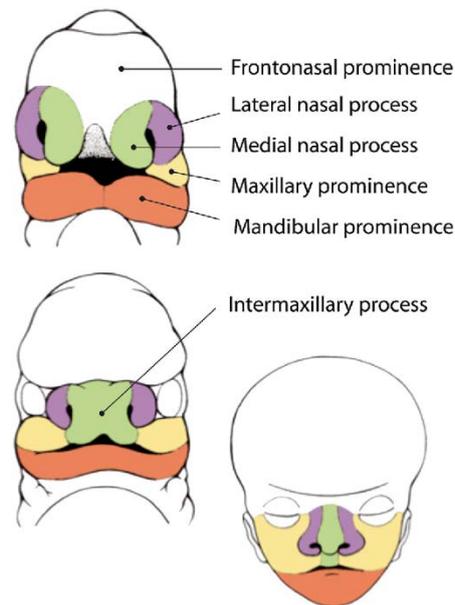


Figura 1: Desarrollo embrionario facial según A practical prenatal ultrasound classification system for common oral clefts. W Maarse et al¹¹.

Respecto a la etiopatogenia existen varios factores ambientales relacionados con su aparición como las infecciones (rubéola), la edad materna avanzada, obesidad materna, fármacos como la talidomida o el ácido retinoico, el tabaco o el déficit de ácido fólico y vitamina B12. Por otra parte, la altitud, insularidad y la pobreza también se asocian a una mayor incidencia de fisura labiopalatina. Aparte de los factores ambientales también existen factores genéticos y síndromes que se asocian a fisura como el velocardiofacial por delección del 22q11 y que se transmite de forma autosómica dominante asociándose a trastornos cardíacos, de la audición, genitourinarios, microcefalia o inmunitarios entre otros. Otro síndrome es el alcohólico fetal secundario a la ingesta de alcohol durante la gestación y que produce un retraso psicomotor y en el crecimiento junto a unos rasgos faciales característicos con microcefalia, micrognatia y menor apertura ocular. Otro síndrome es el CHARGE que es producido por un trastorno en el gen CHD7 y recibe su nombre por las siglas en inglés de Coloboma iris, Cardiopatía (Heart),

Atresia de coanas, Retraso psicomotor, hipoplasia Genital, anomalías del pabellón auricular y/o sordera (Ear). El síndrome de Van der Woude también tiene una herencia autosómica dominante y se caracteriza por un piqueteado en el labio inferior junto a la fisura. Otro síndrome con herencia autosómica dominante es el pterígium poplíteo que asocia contracturas en extremidades, genitales, sindactilias y anomalías ungueales.

Existen distintos tipos y severidades de fisura labiopalatina y se han descrito múltiples clasificaciones en las últimas décadas. Una de las más utilizadas es la de Kernahan¹² descrita en 1958 quien describió todos los tipos comunes de fisura labiopalatina y la fisura palatina aislada en un sistema de clasificación simbólico.¹³ En 1971 publicó una modificación para añadir tipos de fisura menos comunes¹⁴ denominada "Striped-Y" (Figura 2).

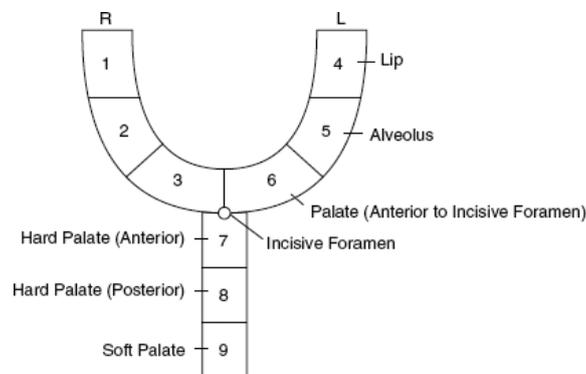


Figura 2: Clasificación de Kernahan "The Striped-Y". Kernahan et al¹².

Para cubrir las deficiencias de las distintas clasificaciones se han ido realizando revisiones de las mismas para poder describir la afectación anatómica¹⁵ (Figura 3).

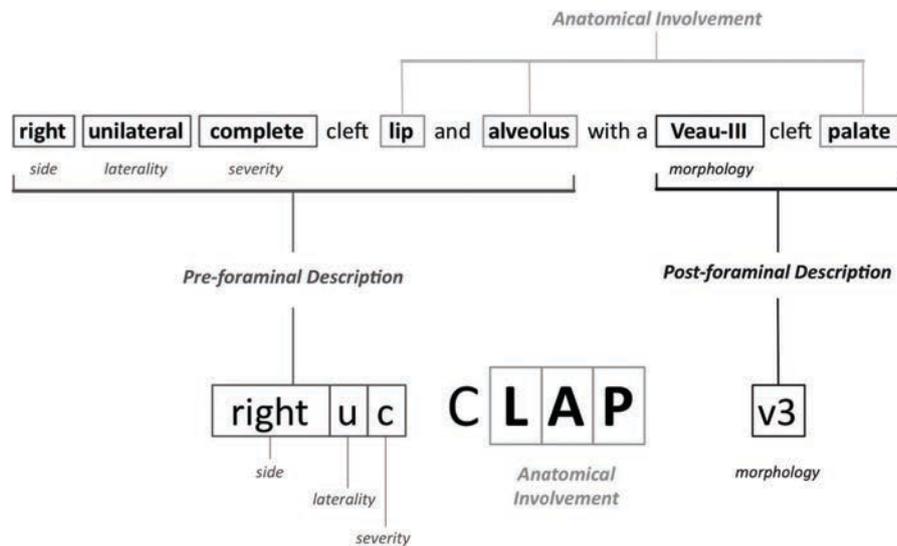


Figura 3: Clasificación según Allori AC et al¹⁵.

Dados los avances en la ecografía se pueden detectar pacientes con fisura labiopalatina durante el embarazo. De esta manera se puede asesorar a los padres antes de nacer el paciente y transmitir la información necesaria por el equipo multidisciplinar para mejorar el manejo durante los primeros meses de vida. Para correlacionar las imágenes de la ecografía 4D con la fisura clínica se han descrito varias clasificaciones basadas en los hallazgos radiográficos¹¹. Las fisuras se suelen diagnosticar en el segundo trimestre del embarazo aunque en algunos casos si es realizado por un experto con un ecógrafo de alta tecnología se pueden diagnosticar en el primer trimestre⁹. Las fisuras palatinas aisladas difícilmente se diagnostican prenatalmente (Figuras 4 y 5).

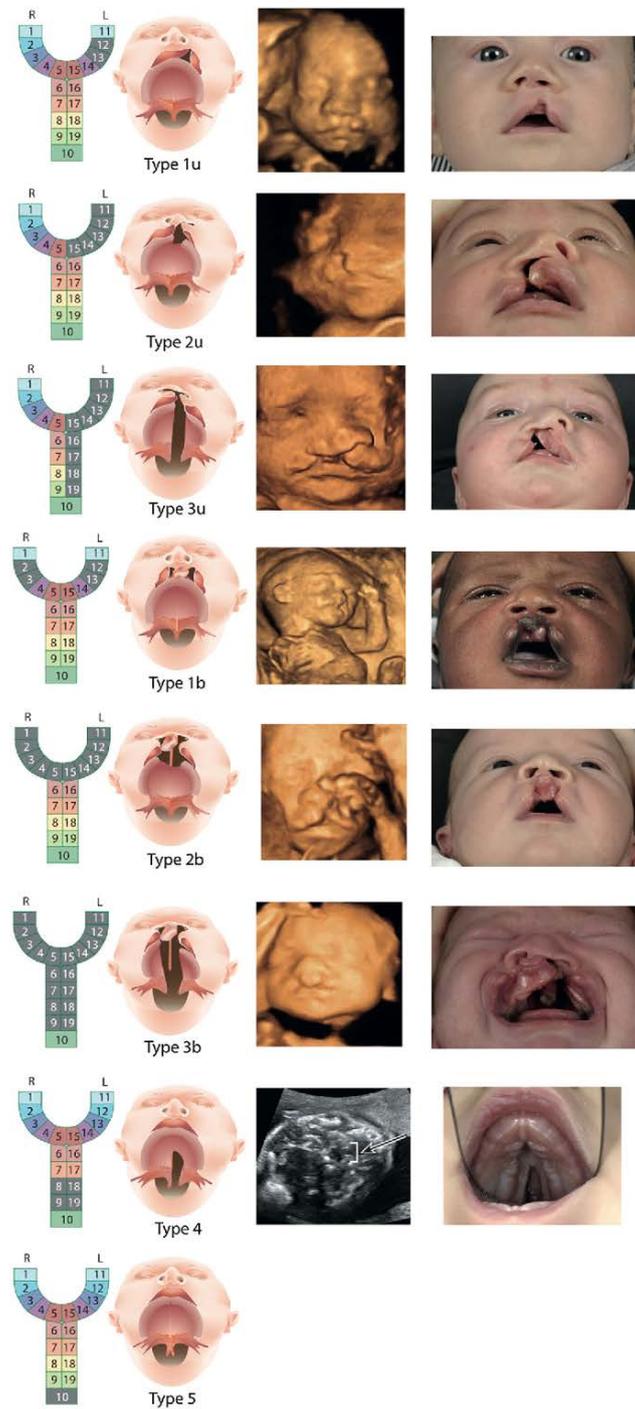


Figura 4: Clasificación de las fisuras faciales diagnosticadas prenatalmente mediante ecografía según A practical prenatal ultrasound classification system for common oral clefts. W Maarse et al¹¹.

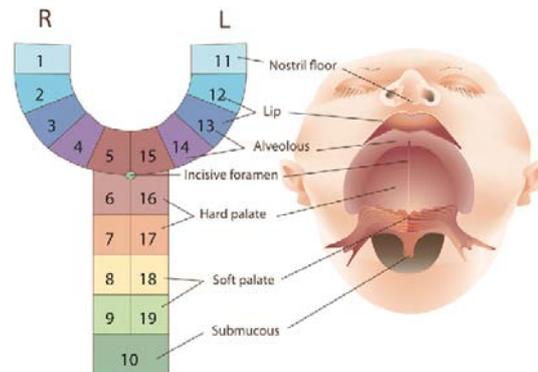


Figura 5: Clasificación de la clasificación de Kernahan en "Y" modificada, con todos los componentes de las fisuras orales a la izquierda (es decir, el labio, el alvéolo, paladar duro y blando y paladar submucoso). W Maarse et al.¹¹

El manejo de los pacientes con fisura requiere un equipo de profesionales formado por Genetista, Neonatólogo y Pediatra, Otorrinolaringólogo, Logopeda y Rehabilitador, Anestesiólogo, Odontólogo y Ortodoncista y Cirujano Maxilofacial/Pediátrico/Plástico, para coordinar las distintas fases del tratamiento. En el momento inicial las prioridades son la respiración, alimentación, ganancia ponderal y el habla. La primera de ellas especialmente en los pacientes que también presentan una secuencia Pierre Robin con obstrucción de la vía aérea superior y necesitarán solucionarla antes que tratar la fisura.

Existen múltiples protocolos y técnicas quirúrgicas para la corrección de la fisura labial y palatina. Se suele empezar por el cierre de la fisura labial a partir de los 3-5 meses o según la "regla de los 10" cuando el lactante tiene 10 semanas de vida, pesa 10 libras y la hemoglobina es de 10mg/dL¹⁶. En fisuras anchas puede ser útil el uso de ortopedia prequirúrgica con placas palatinas, NasoAlveolar Molding (NAM), bandas de aproximación (tipo DynaCleft) o la técnica adhesiva para unir los dos extremos y reducir el tamaño de la fisura previo a la corrección quirúrgica. Los principales procedimientos quirúrgicos son el cierre de la fisura labial (mediante la técnica de Millard 2, Fisher, Mohler, Afroze entre otras en las

unilaterales o mediante dos tiempos en las bilaterales o con la técnica de Mulliken y modificaciones de la misma). La fisura palatina se puede operar en uno o dos tiempos según el protocolo y tamaño de la fisura. La fisura alveolar se reconstruye a partir de los 7-8 años con un injerto de cresta ilíaca habitualmente. Otras posibilidades son con injertos de mentón, rama ascendente, tibia i biomateriales. En algunos pacientes pueden ser necesarias otras intervenciones como el cierre de fístulas oronasales, faringoplastia para corregir la insuficiencia velofaríngea, retoques secundarios en labio, rinoplastia, exodoncia de dientes supernumerarios o malposicionados, lipofilling, entre otras. La mayoría de los pacientes requieren seguimiento por Otorrinolaringología dada la mayor frecuencia de otitis media, Logopedia y Ortodoncia para corregir la maloclusión mediante disyuntores maxilares para expandir la arcada y ortodoncia con multibrackets para alinear y nivelar las arcadas. Debido a las múltiples intervenciones, cicatrización y fibrosis el maxilar puede tener un déficit de crecimiento vertical, transversal y sagital que precisará un tratamiento quirúrgico al finalizar el crecimiento esquelético a partir de los 16-18 años mediante cirugía ortognática en los casos leves o moderados o distracción osteogénica en los casos graves que es el motivo de esta tesis.

1.3 SECUENCIA DE PIERRE ROBIN

La secuencia de Pierre Robin, nombrada a partir del estomatólogo francés que la describió en 1923, consiste en la tríada formada por hipoplasia mandibular, glosoptosis e insuficiencia respiratoria alta y tiene una incidencia de 1 entre 8500 a 1 entre 30000 recién nacidos^{17,18}. Puede presentarse aislada o asociada a otros síndromes y en hasta un 85% con fisura palatina. Puede presentar una gran variabilidad de formas clínicas de presentación debido a múltiples causas como trastornos genéticos, mecánicos o ambientales¹⁹. La causa inicial de la secuencia es la falta de desarrollo mandibular durante el período intrauterino que condiciona una posición lingual más posterior que produce una obstrucción de la vía aérea superior y a su vez la lengua dificulta el cierre de las placas palatinas durante la semana 11 de gestación condicionando en la mayoría de los casos una fisura palatina arqueada en forma de “U” con el defecto en negativo de la lengua (Figura 6).

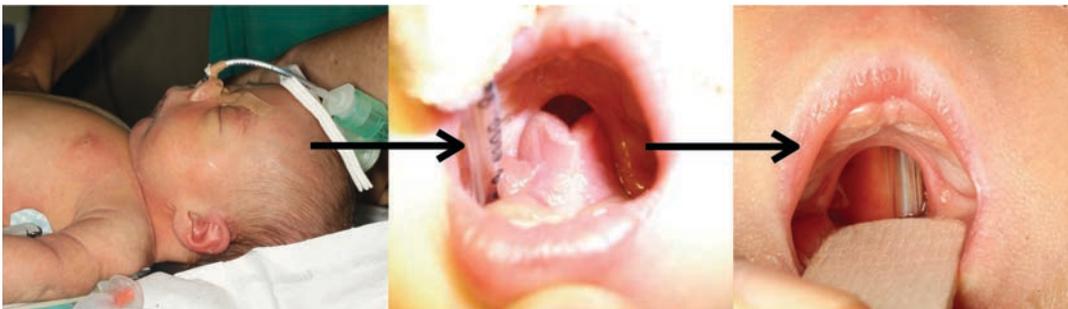


Figura 6: Secuencia de Pierre Robin: Hipoplasia mandibular, glosptosis y fisura palatina (figura propia).

Algunos de los síndromes asociados son Stickler, delección 22q11.2, Treacher Collins, Marshall, Nager, Miller, Kabuki, Catel-Manske, distrofia miotónica congénita, Carey-Fineman-Ziter, síndrome alcohólico fetal, diabetes materna o microsomía hemifacial¹⁹.

Se ha descrito la presencia de mutaciones genéticas que podrían explicar las anomalías en la secuencia de Pierre Robin. Los genes SOX9, KCNJ2, KCNJ16 y MAP2K6 están involucrados en las vías moleculares del desarrollo mandibular y, por lo tanto, podrían estar asociados en la forma aislada de la secuencia¹⁸.

Otra teoría es el retraso neuromuscular de la musculatura lingual, palatina y de los pilares faríngeos que produciría una ausencia de estimulación del crecimiento mandibular por la lengua. Por otra parte se ha descrito la compresión mandibular durante el desarrollo intrauterino secundario a una reducción de espacio debido a un embarazo múltiple, oligohidramnios o anomalías uterinas que limitarían la extensión de la cabeza del feto produciendo una compresión del mentón contra el esternón¹⁸.

Dada la complejidad de la patología y a la dificultad que puede aparecer en las primeras horas-semanas de vida para manejar la vía aérea deben tratarse estos pacientes en hospitales especializados con equipos multidisciplinares habituados al tratamiento de los mismos. Las distintas especialidades implicadas en el tratamiento son genética, neonatología, pediatría, neumología, anestesiología, cirugía maxilofacial, cirugía pediátrica, odontopediatría, ortodoncia, otorrinolaringología, oftalmología, cardiología, neurología, logopedia, nutrición o gastroenterología.

La sintomatología más grave es la obstrucción de la vía aérea que puede condicionar la vida del recién nacido. Otra patología severa es la dificultad en la alimentación secundaria a la hipoplasia mandibular, fisura palatina o trastorno en la deglución que puede conllevar una dificultad en la ganancia de peso en los primeros días de vida. Los objetivos prioritarios en el manejo inicial son mantener la permeabilidad de la vía aérea, normalizar el tracto alimentario y facilitar una adecuada ganancia ponderal¹⁷.

El manejo de la vía aérea comporta una fase no quirúrgica mediante un tratamiento postural en decúbito prono que debido a la gravedad mejora la respiración al avanzar la lengua en lugar de descender en la hipofaringe resolviendo la

obstrucción respiratoria en hasta un 69% de los casos¹⁷, pese a que también se asocia a un mayor riesgo de síndrome de muerte súbita del lactante¹⁸ y a continuación mediante la colocación de cánulas nasofaríngeas o con ventilación no invasiva con presión positiva continua (CPAP). En caso de no mejoría puede ser necesaria la intubación con mascarilla laríngea o endotraqueal. Cuando las medidas anteriores no son suficientes se plantea el tratamiento quirúrgico. Existen distintas opciones terapéuticas como la adhesión lingual al labio inferior para avanzar la lengua y reducir la obstrucción posterior, pero conlleva unos ciertos riesgos como la lesión de los conductos de Wharton, de los gérmenes dentales, dehiscencia o cicatrización anómala del labio, aparte de precisar una segunda intervención para liberar la lengua y necesitar en muchos casos una gastrostomía. Otra técnica quirúrgica es la liberación de la musculatura del suelo de la boca para facilitar la desrotación de la lengua. El procedimiento quirúrgico que trata la causa etiológica y puede evitar la realización de una traqueostomía es la distracción mandibular. Fue descrita por McCarthy²⁰ y extendida por Ortiz Monasterio y Molina⁶ entre otros. Puede realizarse con distractores internos o externos tal y como se comentará más adelante. En nuestro centro optamos habitualmente por los distractores externos tipo Molina en el período neonatal. Mediante un abordaje intraoral bilateral para evitar lesionar la rama marginal del nervio facial y con bisturí piezoeléctrico se realiza la corticotomía mandibular a nivel de ambos ángulos mandibulares excepto la cortical lingual evitando profundizar en la medular para evitar lesionar el nervio dentario inferior y los gérmenes dentales. Los fragmentos mandibulares se estabilizan con agujas de Kirschner según la técnica through and through, se finaliza la osteotomía, se activan los distractores para verificar el avance y se vuelve a la posición inicial con 2mm de activación (Figura 7). La distracción se inicia al día siguiente de la cirugía en neonatos a un ritmo de 2mm al día realizados en dos momentos hasta finalizar la distracción y posteriormente se realiza un período de consolidación de 6 a 8 semanas para la retirada de los distractores que puede

realizarse en la misma cama del paciente dada la facilidad de extracción de las agujas de Kirschner.

Debido a la alta efectividad de este tratamiento que soluciona la etiología de la secuencia Pierre Robin cada vez más centros están optando por la distracción mandibular como el tratamiento de primera línea para la obstrucción de la vía aérea en estos pacientes.



Figura 7: Distracción mandibular neonatal con distractores externos tipo Molina con agujas de Kirschner según la técnica "through and through" (figura propia).

1.4 SÍNDROMES CRANEOFACIALES

Existen alrededor de 500 síndromes con afectación craneofacial. Muchos de ellos están asociados a variaciones de los genes del fibroblast growth factor receptor (FGFR) que están involucrados en el desarrollo de las estructuras óseas y cartilaginosas²¹. A continuación, se exponen los principales síndromes con afectación maxilofacial y que han sido objeto del presente estudio.

1.4.1 Microsomía hemifacial

La microsomía hemifacial (MHF), también denominada síndrome auriculotemporal, del primer y segundo arcos branquiales es la malformación craneofacial más frecuente tras la fisura labiopalatina. Afecta más frecuentemente a varones (3:2) y un 10% de los casos son bilaterales, siendo el lado derecho el más afectado en los casos unilaterales. El síndrome de Goldenhar es una variante que también presenta quistes dermoides epibulbares y anomalías vertebrales²².

Puede presentar un amplio espectro de patologías y severidades de las estructuras derivadas del primer y segundo arcos branquiales como la mandíbula, articulación temporomandibular, pabellón auricular, conducto auditivo, ojo, órbita, vértebras, partes blandas, nervio facial, fisura labiopalatina, musculatura masticatoria o glándula parótida entre otras.

Existen distintas hipótesis sobre su etiopatogenia como un accidente vascular durante el desarrollo embrionario, daño del cartílago de Meckel o una alteración del desarrollo de las células de la cresta neural. La primera de ellas se basa en una hemorragia, oclusión o malformación a nivel de la arteria estapedial que conduciría a un déficit de aporte vascular a los tejidos que acabarían dañados. La toma de algunos medicamentos como la talidomida, fármacos vasoactivos o el ácido retinoico durante el primer trimestre del embarazo se asocian a la aparición de

MHF. En estos pacientes se ha hallado una reducción del tamaño del foramen mandibular y una ausencia del foramen mentoniano del lado afecto, lo cual sugiere una relación entre un trastorno vascular y la hipoplasia mandibular²³. Esta teoría se complementa con un déficit de aporte vascular en el cartílago de Meckel, que es el responsable de la formación del oído medio. A su vez el cartílago de Meckel deriva de las células de la cresta neural y una anomalía en este nivel produciría un trastorno (por ejemplo, una hemorragia) en la formación de las estructuras derivadas de la misma, interrelacionándose las tres teorías.

Debido a la heterogeneidad en la presentación existen varias clasificaciones de entre las más utilizadas es la de Pruzansky que se basa en el grado de afectación mandibular y que ha sido revisada posteriormente por Kaban (Tabla 1; Figuras 8-10). Una clasificación más completa es la de OMENS (Orbit, Mandible, Ear, Nerve, Soft tissue) que también ha sido ampliada con la OMENS PLUS (Tabla 2).

| Pruzansky Classification of CFM (1969) ⁵⁰ | | |
|--|----|--|
| Grade I | | Mandible with mild hypoplasia |
| Grade II | | Mandible with more severe hypoplasia in addition to malformation of common bony landmarks |
| Grade III | | Mandible with complete effacement of common mandibular landmarks (absent ramus, condyle, TMJ) |
| Pruzansky-Kaban Classification (1988) ⁵¹ | | |
| Grade I | | Mandible with mild hypoplasia |
| Grade II | | |
| IIa | | Mandibular ramus, condyle, and TMJ are present, normal in shape, but hypoplastic |
| IIb | | Mandibular ramus is hypoplastic and markedly abnormal in form and location (medial and anterior) without articulation with temporal bone |
| Grade III | | Mandible with complete effacement of common mandibular landmarks (absent ramus, condyle, TMJ) |
| SAT Classification System (1987) ⁵³ | | |
| Skeletal malformations | S1 | Small mandible of normal shape |
| | S2 | Mandible very different in size and shape than normal. Condyle, ramus, and sigmoid notch identifiable but distorted |
| | S3 | Mandible severely malformed: ranges from poorly identifiable ramal component to complete agenesis of ramus |
| | S4 | S3 mandible with orbital involvement: posterior recession of lateral and posterior orbital rims |
| | S5 | S4 defect with orbital dystopia, hypoplasia and asymmetric neurocranium, flat temporal fossa |
| Auricular involvement | A0 | Normal |
| | A1 | Small malformed auricle but all features are retained |
| | A2 | Rudimentary auricle with hook at cranial end corresponding with helix |
| | A3 | Malformed lobule and absent remainder of pinna |
| Soft tissue defects | T1 | Minimal contour defect without cranial nerve involvement |
| | T2 | Moderate defect |
| | T3 | Major defect, obvious facial scoliosis, severe hypoplasia of cranial nerves, parotid, muscles of mastication, eye involvement; facial clefts |

Tabla 1: Clasificación de la microsomía hemifacial según Pruzansky y modificaciones posteriores.

| | |
|---|---|
| Orbit | Facial nerve† |
| O0 Normal orbital size, position | N0 No facial nerve involvement |
| O1 Abnormal orbital size | N1 Upper facial nerve involvement (temporal or zygomatic branches) |
| O2 Abnormal orbital position | N2 Lower facial nerve involvement (buccal, mandibular, or cervical) |
| O3 Abnormal orbital size, position | N3 All branches affected |
| Mandible | Soft tissue |
| M0 Normal | S0 No obvious tissue or muscle deficiency |
| M1 Small mandible and glenoid fossa with short ramus | S1 Minimal soft tissue or muscle deficiency |
| M2 Ramus short and abnormally shaped | S2 Moderate soft tissue or muscle deficiency |
| Subdivisions A and B are based on relative positions of the condyle and temporomandibular joint (TMJ) | S3 Severe soft tissue or muscle deficiency |
| 2A Glenoid fossa in anatomically acceptable position | |
| 2B TMJ inferiorly, medially, and anteriorly displaced, with severely hypoplastic condyle | |
| M3 Complete absence of ramus, glenoid fossa, and TMJ | |
| Ear | |
| E0 Normal ear | |
| E1 Minor hypoplasia and cupping with all structures present | |
| E2 Absence of external auditory canal with variable hypoplasia of concha | |
| E3 Malpositioned lobule with absent auricle, lobular remnant usually inferior anteriorly displaced | |

Tabla 2: Clasificación OMENS de la microsomía hemifacial.

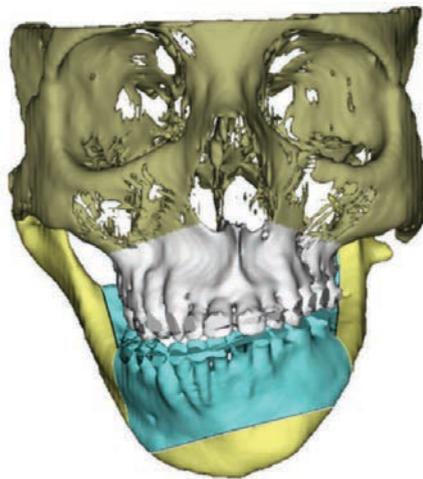


Figura 8: Microsomía hemifacial grado I según la clasificación de Pruzansky (figura propia).

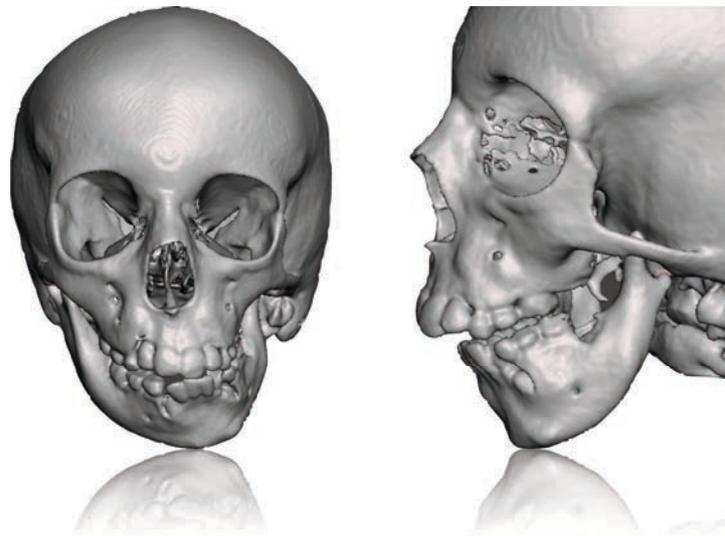


Figura 9: Microsomía hemifacial grado II según la clasificación de Pruzansky (figura propia).



Figura 10: Microsomía hemifacial grado III según la clasificación de Pruzansky (figura propia).

El tratamiento de estos pacientes es un reto. Los 4 objetivos principales que describió Kaban en 1998 son²⁴:

1. Aumentar el tamaño de la mandíbula y de las partes blandas asociadas.

2. Crear una articulación temporomandibular cuando esté ausente.
3. Promover el crecimiento maxilar vertical y corregir deformidades secundarias del mismo.
4. Obtener una oclusión estable.

El momento óptimo de la cirugía es difícil de saber ya que existen dos protocolos de actuación: una intervención precoz para prevenir deformidades secundarias, mejorar la oclusión y funcionalidad antes y el aspecto físico; o al finalizar el crecimiento esquelético para obtener un resultado definitivo y evitar múltiples cirugías.

Simplificando el tratamiento, los pacientes en estadio I y IIA de Pruzansky se suelen tratar mediante cirugía ortognática al finalizar el crecimiento. Los pacientes en estadio IIB se suelen beneficiar de una distracción mandibular durante la dentición mixta para mejorar la simetría, oclusión y partes blandas, pese a que posteriormente puedan precisar una cirugía ortognática al finalizar el crecimiento. Finalmente, los pacientes grado III son los más complejos y precisan una reconstrucción de la rama ascendente mandibular y de la articulación mediante injertos costocondrales, de cresta ilíaca, peroné o prótesis de ATM, que cuando más tarde se realice más estable será el resultado. En el presente estudio se han seleccionado los pacientes grado II que han precisado distracción osteogénica y que se ha realizado con dispositivos internos.

1.4.2 Craniosinostosis sindrómicas

Las craniosinostosis consisten en el cierre prematuro de una o varias suturas craneales. Aparecen en uno de cada 2500 nacidos y habitualmente son aisladas. Como norma general en los pacientes no sindrómicos se suele afectar sólo una sutura, aunque también hay múltiples síndromes craneofaciales que sólo afectan a una sutura²¹. La mayoría de las craniosinostosis sindrómicas se asocian a

mutaciones del gen de FGRF con un patrón de herencia autosómica dominante (Tabla 3).

A continuación, se expondrán los síndromes más importantes y que se han presentado en algunos pacientes del estudio.

| Name | Genetic Findings | Synostosis Type | Midface Hypoplasia | Hands/Feet | Other |
|---------------------------|---|---|---|---|--|
| Apert (ACS I) | <i>FGFR2</i> (AD, sporadic), Ser252Trp, Pro253Arg | Bicoronal synostosis | Moderate | Pan-syndactyly, thumbs free | Soft palate/uvula cleft, acne vulgaris, short stature, mental delay |
| Crouzon (ACS II) | <i>FGFR2</i> (AD), <i>FGFR3</i> plus acanthosis nigricans | Bicoronal synostosis | Mild to moderate | — | Conductive hearing loss |
| Pfeiffer (ACS V) | <i>FGFR1</i> (AD), 5%; <i>FGFR2</i> (AD), 95% | Bicoronal synostosis (I), kleeblattschädel (II/III) | Moderate (I/II), moderate to severe (III) | Broad thumbs/halluces | Intestinal malrotation (II/III), prune belly syndrome (II/III), mental delay |
| Muenke | <i>FGFR3</i> (AD), Pro250Arg | Unicoronal/bicoronal synostosis | Mild to none | Carpal/tarsal fusions | Strabismus, neurosensory hearing loss, mental delay |
| Saethre-Chotzen (ACS III) | <i>TWIST</i> (AD) | Unicoronal/bicoronal synostosis | Moderate | Partial syndactyly (IF/LF), delta phalanx, duplicate distal phalanx | Facial asymmetry, low hairline, strabismus |
| Carpenter | <i>RAB23</i> (AR, sporadic) | Sagittals/lambdoid synostosis | — | Sybrachydactyly of hands, preaxial polydactyly of toes | Hypertelorism/hypotelorism, epicanthal folds, blurring of optic discs, corneal opacity, high-arched palate |

ACS, acrocephalosyndactyly; AD, autosomal dominant; AR, autosomal recessive; IR, index finger; LF, long finger.

Tabla 3: Síndromes craniofaciales con craniosinostosis. Buchanan et al²¹.

1.4.2.1 Síndrome de Crouzon

El síndrome de Crouzon es la craniosinostosis sindrómica más frecuente con una afectación de 1 de cada 60000 nacimientos y es debida a una mutación del receptor del factor de crecimiento de los fibroblastos tipo 2 (FGFR2) en el cromosoma 10 y se transmite de manera autosómica dominante²⁵. Fue descrita en 1912 por el neurólogo francés Octave Crouzon en una madre y su hija²⁶ (Figura 11). La afectación puede ser muy variable siendo leve y asintomática en algunos pacientes y comprometer la vida en los casos más severos²⁷.

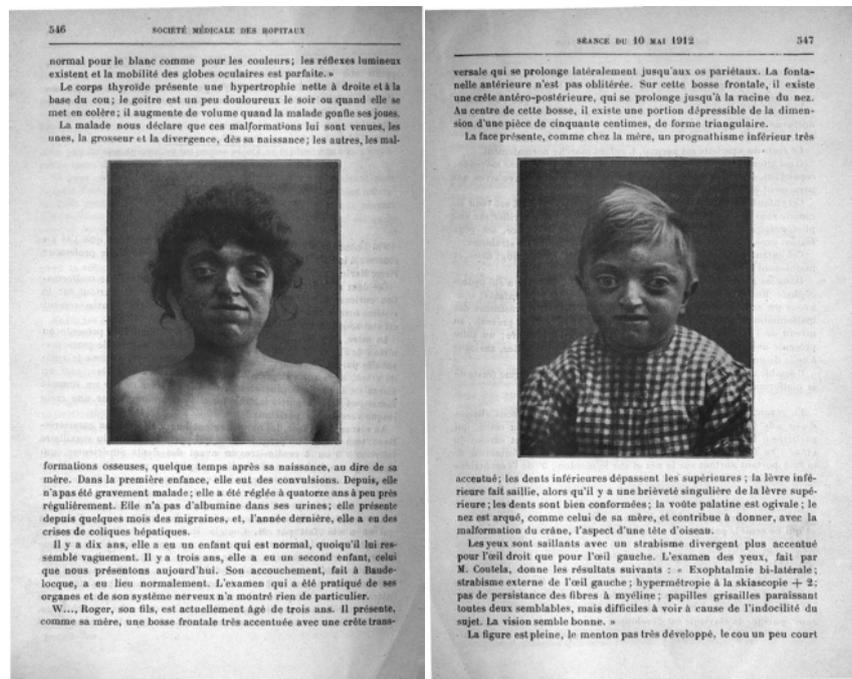


Figura 11: Paciente con síndrome de Crouzon por Octave Crouzon²⁶.

Las principales manifestaciones clínicas son la craniosinostosis coronal, braquicefalia, hipertelorismo, frente plana, estrabismo, exoftalmos, sordera, hipoplasia maxilar con prognatismo o pseudoprognatismo secundario. También pueden presentar fusiones vertebrales, hidrocefalia o herniación de las amígdalas cerebelosas. El desarrollo psicomotor y las extremidades son normales, a diferencia del síndrome de Apert y el síndrome de Pfeiffer que comparten mutaciones a nivel de FGFR2 y que son las dos principales entidades al hacer el diagnóstico diferencial.

La braquicefalia es la forma de presentación más común debido a la fusión de las suturas coronales. También puede aparecer trigonocefalia y escafocefalia y en los casos más graves se puede ver un cráneo en "hoja de trébol" conocido como deformidad de Kleeblattschadel debido al cierre de múltiples suturas²⁸.

Debido a la malformación craneofacial pueden aparecer las siguientes patologías que requieren un tratamiento quirúrgico para evitar secuelas: hipertensión

intracraneal por la limitación de crecimiento del cráneo secundario a la craniosinostosis, exposición corneal por la incompetencia palpebral secundaria al exoftalmos por unas órbitas pequeñas y apnea obstructiva del sueño severa con dificultad para respirar que pueda condicionar la vida del paciente secundaria a la hipoplasia del tercio medio facial. Para su corrección pueden ser necesarias varias intervenciones como la colocación de una válvula de derivación de líquido cefaloraquídeo (LCR), una tarsorrafia para proteger los ojos o una traqueostomía para permeabilizar la vía aérea de manera aguda. De manera electiva se suele realizar la expansión craneal mediante un avance frontoorbitario, en monobloc o una expansión craneal posterior. Para corregir la deformidad facial se suele realizar un avance tipo Le Fort III en un solo tiempo o mediante distracción osteogénica y al finalizar el crecimiento puede precisar la realización de una cirugía ortognática. Se trata de cirugías muy complejas con potenciales complicaciones mayores como la ceguera, fístulas de LCR, meningitis o fallecimiento del paciente por lo que deben planificarse y realizarse por un equipo multidisciplinar experto.

1.4.2.2 *Síndrome de Apert*

El síndrome de Apert, también conocido como acrocefalosindactilia tipo I, es otra craniosinostosis sindrómica por fusión prematura de la sutura coronal como el síndrome de Crouzon y presenta una incidencia de 1 de cada 65000-200000 nacidos vivos. Fue descrito en 1906 por Eugene Apert, un médico francés, en una serie de 9 pacientes²⁹. Presenta una afectación craneofacial similar al síndrome de Crouzon, pero a diferencia de este puede tener una deficiencia mental y sindactilias de las manos y los pies junto a trastornos de otras vísceras. También es debida a una mutación de cisteína a guanina en la posición 755 del gen del Fibroblast Growth Factor Receptor 2 (FGFR2) en el cromosoma 10q resultando en un cambio de serina a triptófano, tiene una herencia autosómica dominante y tiene una mayor incidencia con una edad más avanzada del padre³⁰.

A nivel craneofacial presentan aparte de la craniosinostosis, una frente prominente hipoplasia del tercio medio facial, hipertelorismo, exoftalmos y alteraciones oclusales severas con apiñamiento dental por compresión del maxilar en forma de "V" y retraso en la erupción dental²¹.

El tratamiento y las prioridades es parecido al síndrome de Crouzon debido a la hipertensión intracraneal, apnea obstructiva del sueño y la proptosis ocular, por lo que una intervención precoz es vital para evitar las complicaciones derivadas de las mismas.

1.4.2.3 *Síndrome de Pfeiffer*

Se trata de una acrocefalosindactilia (tipo V) producida por una mutación de los genes de los fibroblast growth factor receptor FGFR-1 o FGFR-2 y con una transmisión autosómica dominante y la edad avanzada del padre constituye un factor de riesgo^{31,32}. Comparte con las entidades anteriores una afectación craneofacial similar y con el síndrome de Apert las sindactilias y tiene una incidencia de 1 de cada 100000 nacidos vivos. La craniosinostosis suele ser por fusión de la sutura coronal y lambdoidea y ocasionalmente la sagital³². Clínicamente presentan una hipoplasia del tercio medio facial, hipertelorismo, proptosis y una nariz pequeña en forma de pico. Esta hipoplasia produce una reducción del tamaño orbitario y secundariamente a una proptosis ocular con incompetencia palpebral que creará una xeroftalmia y queratitis por exposición. Otros efectos secundarios a la hipoplasia del maxilar son trastornos del oído medio, sordera, regurgitación nasal o apnea obstructiva del sueño. Pueden tener retraso mental y malformaciones intracraneales junto a alteraciones auriculares o de órganos abdominales.

Existen tres tipos de síndrome de Pfeiffer:

- Tipo 1 o Pfeiffer clásico: es debido a mutaciones del FGFR-1 o FGFR-2 y presentan manifestaciones moderadas como braquicefalia, hipoplasia del

tercio medio facial o alteraciones de los dedos de las manos y los pies. Suelen tener un desarrollo intelectual normal y un buen pronóstico.

- Tipo 2: es debido a mutaciones del FGFR-2 y tienen un cráneo en trébol, proptosis ocular extrema, anomalías de manos, pies, codos y complicaciones neurológicas.
- Tipo 3: es debido a mutaciones del FGFR-2 y es similar al tipo 2 pero sin el cráneo cloverleaf. También tiene como el tipo 2 un mayor riesgo de muerte prematura por trastornos neurológicos o respiratorios.

El diagnóstico prenatal es complicado y se han descrito sobretodo en pacientes con deformidades craneales en trébol³³ y precisa una confirmación genética.

El tratamiento es similar a las entidades anteriores en múltiples etapas iniciándose al primer año para corregir la craneosinostosis. El pronóstico de la tipo 1 es bueno debido a un normal desarrollo intelectual, en cambio en las tipo 2 y 3 es malo por las complicaciones del desarrollo neurológico y es frecuente la muerte en la infancia³¹.

Dada la complejidad de la entidad y a la afectación de distintos órganos es necesario su manejo por un equipo formado por múltiples subespecialistas.

1.4.3 Síndrome de Treacher Collins

El síndrome de Treacher Collins es una entidad que afecta al primer y segundo arcos branquiales y se transmite de manera autosómica dominante con una incidencia de 1 de cada 50000 nacidos vivos³⁴. Fue descrito en 1849 por Thomson, pero tiene el nombre del oftalmólogo británico que lo describió en 1900. En 1949 Franceschetti y Klein propusieron el término disóstosis mandibulofacial y posteriormente Van der Meulen lo nombró como displasia zigotemporoauromandibular para incluir también la microtia³⁵.

La causa son las mutaciones en los genes TCOF1, POLR1D, y POLR1C con la mayoría mostrando mutaciones en el locus TCOF1 del cromosoma 5q31.3-q33.3 que codifica la proteína Treacle, lo que resulta en una deficiencia de células de la cresta neural.

La afectación es simétrica y bilateral y puede presentarse desde una forma leve con una sutil afectación periorbitaria hasta un fenotipo completo a nivel periorbitario con fisuras palpebrales laterales, distopia de los cantos externos, colobomas junto a hipoplasia malar, maxilar y mandibular, microtia, sordera y fisura palatina. La mayor prioridad del manejo de estos pacientes es la vía aérea, dado que pueden presentar apnea obstructiva del sueño que puede amenazar la vida del paciente y precisen las medidas descritas previamente en la secuencia Pierre Robin.

Presentan una afectación mandibular con una retrognatia e hipoplasia de las ramas ascendentes y articulaciones similar a los estadios IIB y III de Pruzansky. En las primeras etapas puede precisar una distracción mandibular para manejar la vía aérea pero posteriormente puede ser necesaria repetirla, corregir la deformidad dentofacial mediante cirugía ortognática, mentoplastia de avance, con osteotomías en "L" invertida junto a injertos óseos o con distracción mandibular más osteotomía de Le Fort II con bloqueo intermaxilar y rotación antihoraria del plano oclusal para aumentar la vía aérea en casos severos que precisen traqueostomía³⁴.

A nivel oclusal es frecuente el apiñamiento dental y la mordida abierta anterior secundaria a un plano mandibular aumentado que precisa un tratamiento combinado de ortodoncia y cirugía para su corrección. Las formas severas pueden presentar una rotación horaria del complejo maxilomandibular que es a su vez hipoplásico y condicione una obstrucción de la vía aérea por la retrognatia y la compresión³⁴ (Figura 12).

La corrección de la afectación orbitomalar suele precisar múltiples intervenciones quirúrgicas de partes blandas para mejorar los párpados, así como lipofilling o injertos óseos costales o de calota craneal, distracción o prótesis para reconstruir la hipoplasia malar.

Respecto a la microtia se suele reconstruir mediante injertos autólogos costocondrales según las técnicas descritas por Nagata, Brent o Firmin, aunque algunos cirujanos optan por la implantación de prótesis sintéticas tipo Medpore. Como en las anteriores entidades existe una gran variabilidad de presentación, alta complejidad, múltiples afectaciones que requieren un manejo multidisciplinar para tomar las decisiones correctas en cada momento para cada paciente y el momento de la cirugía se individualiza y se basa en la gravedad de los problemas funcionales³⁶.

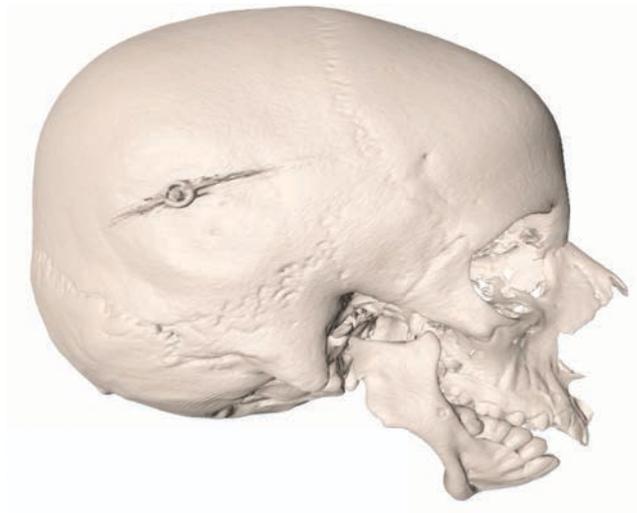


Figura 12: Malformación craneofacial en paciente afecte de síndrome de Treacher Collins (figura propia).

1.5 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA CIRUGÍA ORTOGNÁTICA Y DISTRACCIÓN

Uno de los procedimientos quirúrgicos en cirugía maxilofacial que más se han beneficiado de la planificación e impresión 3D es la cirugía ortognática.

Los principios de la cirugía ortognática fueron descritos en el siglo XIX cuando Hullihen, un cirujano general americano con formación odontológica empezó a realizar osteotomías mandibulares en 1849 para corregir maloclusiones. El grupo de Saint Louis formado por el ortodoncista Edward Angle y los cirujanos Vilray Blair y Whipple empezaron a trabajar conjuntamente y describieron el primer caso de osteotomía mandibular para corregir un prognatismo en 1897, denominada "St Louis operation" (Figura 13)³⁷. Se puede considerar a Blair como el padre de las osteotomías mandibulares y en 1907 ya destacaba la importancia de la colaboración con el ortodoncista para la obtención de los mejores resultados: "El tratamiento de las deformidades esqueléticas es realmente un trabajo quirúrgico, pero cuanto antes un ortodoncista competente esté asociado con el caso, mejor será tanto para el cirujano como para el paciente."

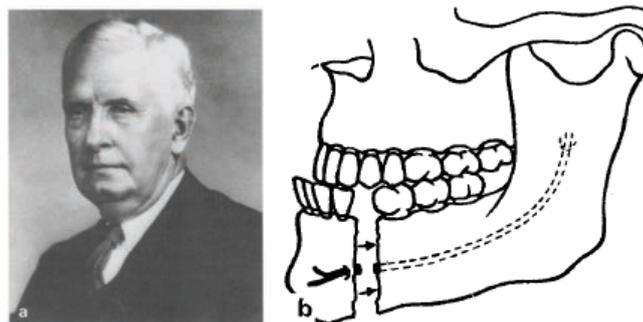


Figura 13: Fotografía de V. P. Blair, quien fue el primero en describir varias técnicas operativas para la corrección de las deformidades maxilofaciales (cortesía de Anthony Wolfe). A la derecha La osteotomía del cuerpo mandibular realizada por Blair en 1897 en la llamada "operación de Saint Louis". Steinhauser, E. W³⁷.

Muchas de las osteotomías descritas a principios del siglo XX eran osteotomías subcondíleas con sierras de Gigli y a menudo los resultados no eran óptimos con una alta tasa de recidiva y mordida abierta anterior. Otros cirujanos que describieron nuevas osteotomías fueron Perthes, Pichler, Wassmund, Hofer, Kazanhian o Dingman. Debido a la segunda Guerra Mundial la mayoría de cirujanos maxilofaciales se dedicaron al tratamiento de las lesiones faciales y posteriormente a la cirugía reconstructiva, motivo por el cual la cirugía ortognática no se desarrolló durante esta época. No fue hasta 1950 cuando en Viena (“The Vienna School”), Berlín y Hamburgo establecieron las bases de la cirugía ortognática moderna con Pichler, Trauner, Köle y Hugo Obwegeser. Este último fue quien revolucionó la cirugía ortognática ³⁸⁻⁴² (Figura 14).



Figura 14: Junto al Profesor Dr Hugo Obwegeser (1920-2017) en el Congreso Europeo de Cirugía Maxilofacial en 2006.

El grupo de Zurich liderado por Köle fueron los primeros en describir la realización de una cirugía bimaxilar y una nueva técnica de mentoplastia. Obwegeser fue el primero en describir la osteotomía sagital mandibular bilateral mediante un abordaje intraoral que permitía avanzar la mandíbula sin necesidad de injertos óseos. Esta técnica fue modificada en 1961 por Giorgio Dal Pont extendiendo la osteotomía hacia el cuerpo mandibular. Obwegeser fue el primero en publicar

largas series de osteotomía de Le Fort I en pacientes no fisurados y posteriormente en pacientes con fisura labiopalatina³⁹. Obwegeser fue el maestro de múltiples cirujanos maxilofaciales de todo el mundo en los años 60 y 70³⁷ (Figura 15).

SURGICAL CORRECTION OF SMALL OR
RETRODISPLACED MAXILLAE

The "Dish-face" Deformity

HUGO L. OBWEGESER, M.D., D.M.D.

Zurich, Switzerland

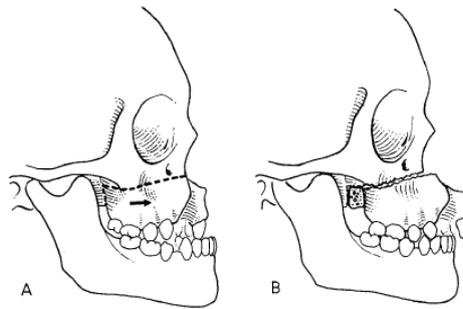


Figura 15: Avance maxilar completo mediante la osteotomía de Le Fort I en un paciente con fisura labiopalatina. Obwegeser³⁹.

Otro de los cirujanos que desarrollaron distintos métodos para la corrección de deformidades mandibulares fue John Marquis Converse que también destacó la importancia del trabajo con el ortodoncista para la mejoría del resultado de la cirugía ortognática⁴³. Durante estos años el centro mundial de la cirugía ortognática estuvo en Europa y Estados Unidos estaban 10 años por detrás hasta que en los años 80 varios cirujanos y ortodoncistas americanos como Bell, Epker, Fish, Proffit o White publicaron excelentes libros de cirugía ortognática.

Otra de las aportaciones relevantes de Obwegeser fue el desarrollo de la cirugía bimaxilar, que pese a que se alargaba el procedimiento permitía múltiples ventajas como la reducción de la recidiva y una mejoría estética superior al armonizar las

estructuras faciales. Todos estos avances de las técnicas quirúrgicas fueron gracias al progreso de la anestesia y a la mejoría de la estabilización de los fragmentos óseos.

Este fue otro de los avances de la cirugía ortognática acogiendo técnicas de fijación rígida y semirrígida de traumatología y ortopedia. A nivel maxilofacial la primera vez que se realizó una osteosíntesis fue en 1917 por Soerensen que utilizó un anillo de oro que transformó para estabilizar una fractura conminuta mandibular. Aparte de esta anécdota, no fue hasta finales de los años 60 cuando el Swiss osteosynthesis group AO desarrolló por primera vez miniplacas de osteosíntesis lo suficientemente pequeñas para mandíbula, pero hasta 10 años más tarde no se utilizaron para cirugía ortognática por Spiessl y Luhr (Figura 16). Esto aportó múltiples ventajas como una mejor estabilización de los fragmentos óseos, más rápida, predecible y sencilla. Otra relevante ventaja fue que evitaban la necesidad de realizar una fijación intermaxilar, y por tanto menos peligro para el paciente, ya que en el postoperatorio inmediato después de la extubación la boca podía abrirse y limpiarse y la vía aérea podía ser fácilmente controlada. Sin el desarrollo de la osteosíntesis muchas de las intervenciones que se realizan actualmente no serían posibles.

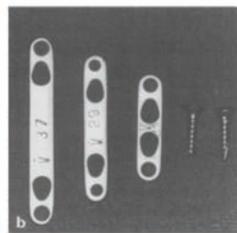


Figura 16: Primer set de miniplacas Luhr que fue diseñado para la aplicación de osteosíntesis de compresión y que se utilizó en cirugía ortognática³⁷.

Tras estos avances, en los años 80 y 90 se complementaron procedimientos estéticos faciales con cirugía ortognática para mejorar el resultado global de la intervención. De esta manera se realizaron refinamientos estéticos como blefaroplastia,

rinoplastia, lifting, liposucción, procedimientos labiales asociados a las osteotomías de los maxilares. Así como osteotomías de los ángulos mandibulares, pómulos, frente entre otros que fueron descritos por cirujanos craneofaciales como Tessier, Wolfe, Salyer o Ousterhout.

Precisamente Paul Tessier fue uno de los cirujanos que desarrollaron la cirugía craneofacial. No obstante, las primeras descripciones de osteotomía de Le Fort III fueron realizadas por Gillies junto a Harrison en 1942 y junto a Rowe en 1954. Posteriormente Tessier mostraría sus grandes resultados de cirugía craneomaxilofacial en 1967.

Resumiendo, los grandes avances de la cirugía ortognática desde sus principios han sido:

1. El desarrollo de las distintas osteotomías de los maxilares.
2. La fijación de las osteotomías con miniplacas y tornillos de osteosíntesis de titanio.
3. El tercer gran avance es la planificación virtual de las intervenciones.

1.6 MALOCLUSIÓN

La clasificación más importante de las maloclusiones es la descrita por Edward Angle en 1900⁴⁴ y se basa en la relación del surco vestibular del primer molar permanente mandibular y la cúspide mesiovestibular del primer molar permanente maxilar.

Según Edward H. Angle, la oclusión normal existe cuando la cúspide mesiovestibular del primer molar superior ocluye con el surco bucal del primer molar inferior (Figura 17). Cualquier desviación de esta alineación cae dentro de

las tres clasificaciones de maloclusión, y estas categorías son las siguientes (Figura 18):

- Maloclusión clase I: existe una relación molar normal, pero hay apiñamiento, desalineación de los dientes, rotaciones, mordidas cruzadas y otras irregularidades de alineación.
- Maloclusión clase II: la cúspide mesiovestibular del primer molar maxilar ocluye anterior al surco bucal del primer molar mandibular. La clase II se clasifica en dos partes más:
 - Clase II, división 1: los dientes maxilares anteriores están inclinados hacia adelante o inclinados, presentando un overjet grande.
 - Clase II, división 2: los dientes maxilares anteriores están retroclinados, creando una sobremordida profunda.
- Maloclusión clase III: la cúspide mesiovestibular del primer molar superior cae posterior al surco bucal del primer molar inferior.

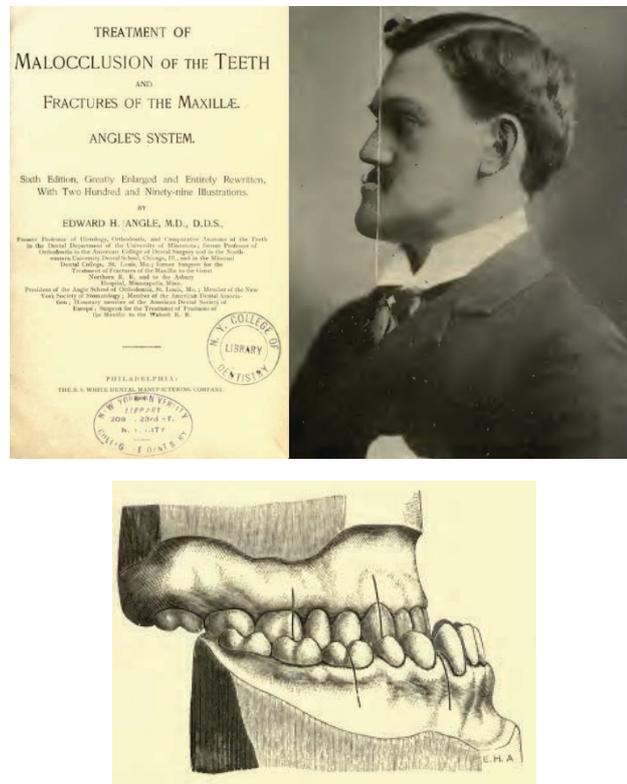


Figura 17: Distintos fragmentos de la descripción de las maloclusiones dentales. Angle⁴⁴.

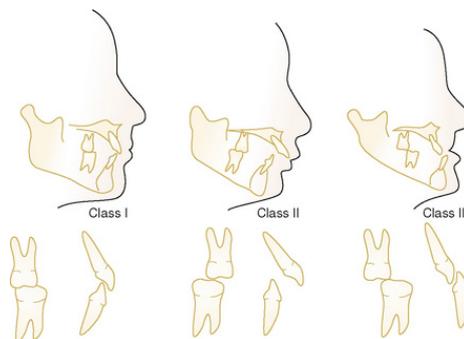


Figura 18: Oclusión dental y esquelética tipo I o normoclusión (izquierda), tipo II o distoclusión (centro) y tipo III o mesioclusión (derecha).

Referente a la clase III Hageman y Sanborn describen 4 tipos según la deformidad dentofacial⁴⁵:

1. Maxilar normal y mandíbula en protrusión.
2. Maxilar en retrusión y mandíbula normal.
3. Maxilar y mandíbula normal.
4. Maxilar en retrusión y mandíbula en protrusión.

Algunos de estos tipos de maloclusión clase III se pueden tratar con éxito en las fases iniciales del desarrollo mediante aparatos funcionales, mientras que cuando existe una alteración esquelética de clase III sólo se pueden corregir mediante cirugía ortognática, lo cual es especialmente frecuente en pacientes con fisura labiopalatina, y en casos donde esta discrepancia es muy severa puede precisarse la distracción osteogénica de los maxilares.

1.7 OSTEOTOMÍA DE LE FORT

La osteotomía más usada para corregir la malposición del maxilar es la osteotomía de Le Fort I. Toma el nombre de la fractura descrita en 1901 por René Le Fort⁴⁶ (Figuras 19 y 20), un cirujano francés de Lille donde dirigió el Hospital des Invalides y que participó en la Primera Guerra Mundial. Realizó una serie de experimentos en los que investigó los distintos tipos de fracturas faciales mediante la realización de traumatismos de alta intensidad a 35 cabezas de cadáver decapitados para analizar cómo se fracturaban los huesos del macizo facial⁴⁷. De este estudio concluyó que existen tres tipos de patrones de fracturas del tercio medio de la cara cuando son sometidos a impactos de alta energía según los puntos de debilidad de los maxilares (Figura 21):

- Fractura de Le Fort tipo I o fractura horizontal del maxilar
- Fractura de Le Fort tipo II o fractura piramidal
- Fractura de Le Fort tipo III o separación craneofacial

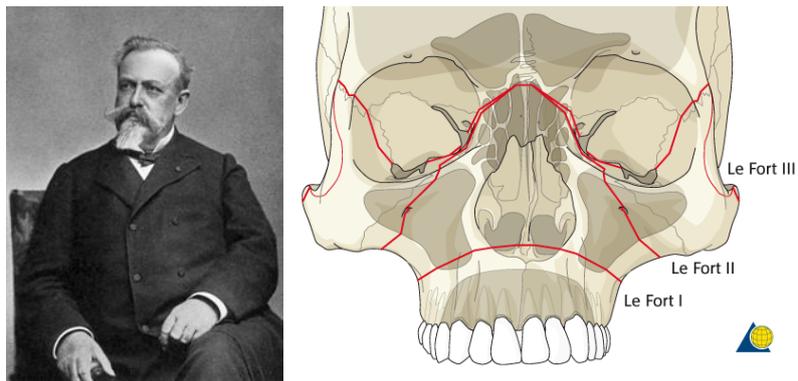


Figura 19: René Le Fort y Fracturas de Le Fort I, II y III. AO Surgery Reference.

EXPERIMENTAL STUDY OF FRACTURES
OF THE UPPER JAW

Parts I and II

RENÉ LE FORT, M.D., *Lille, France*

(*Rev. chir. de Paris*, 23: 208-227, 360-379, 1901.)

Translated from the French by
DR. PAUL TESSIER, *Paris, France*

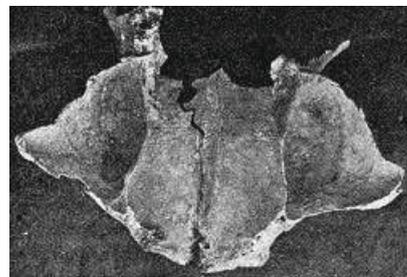


Figura 20: Imágenes del artículo original de René Le Fort en 1901⁴⁶.

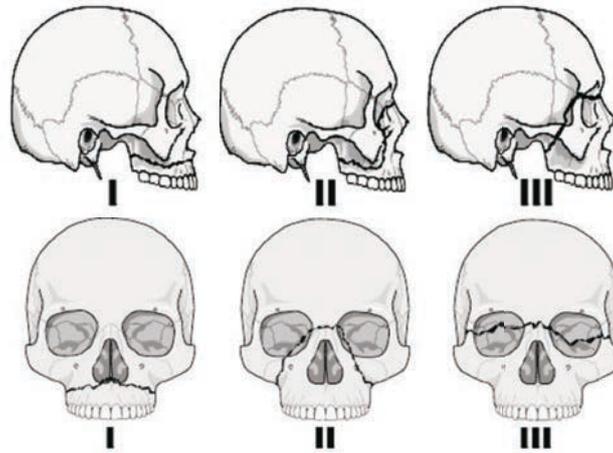


Figura 21: Imagen de los patrones clásicos de fractura de los maxilares descritos por Le Fort⁴⁸

Referente a la fractura de Le Fort I la describió en el experimento VIII en un hombre de 50 años y la describió de la siguiente forma: *“El cadáver estaba en supino con la cabeza colgando sobre la mesa, se da un violento golpe con un mazo en el maxilar derecho. La fuerza fue dirigida oblicuamente desde arriba hacia abajo, como si el sujeto estuviera parado, cuando el espécimen fue disecado se observó una fractura transversa en el maxilar.”*

Los huesos fracturados en una fractura de Le Fort I incluyen el tabique nasal inferior, la porción inferior de las aperturas piriformes, las fosas caninas, ambos arbotantes zigomaticomaxilares, las paredes maxilares posteriores y las apófisis pterigoideas. La característica más consistente y unificadora de una fractura de Le Fort es la presencia de fracturas pterigoideas bilaterales⁴⁸.

La osteotomía de Le Fort más realizada para corregir una amplia gama de deformidades dentofaciales y sobre la que profundizaremos más en la presente tesis es la tipo I. Fue descrita por Cheever en 1870^{49,50} para la resección de un tumor nasofaríngeo pero no fue hasta 1921 cuando Herman Wassmund realizó esta

osteotomía para reposicionar el maxilar mediante tracción ortopédica y en 1934, Axhausen corrigió una mordida abierta anterior mediante la realización de esta osteotomía con movilización intraoperatoria. Durante las siguientes décadas se extendió la práctica de esta intervención en Europa y Estados Unidos para la corrección de las deformidades dentofaciales⁵¹. En 1969 Converse describió la importancia de la realización de tratamiento ortodóncico para la mejoría de los resultados estéticos y oclusales de esta intervención⁴³.

Posteriormente se combinó esta osteotomía con distintos tipos de osteotomía mandibular bilateral para la mejoría de la corrección de deformidades dentofaciales, denominándose cirugías bimaxilares o “two-jaw surgery”.

Esta osteotomía permite la corrección de múltiples deformidades como clase III esquelética, mordidas abiertas anteriores, asimetrías, cantings del maxilar, sonrisa gingival entre otras. La primera de estas indicaciones, la clase III por hipoplasia maxilar suele ser una secuela frecuente de los pacientes con fisura labiopalatina que puede encontrarse en un 25-60% de los pacientes según las series^{52,53}. Otra indicación de esta intervención es el tratamiento etiológico del síndrome de apnea obstructiva del sueño mediante el avance del maxilar para ensanchar la vía aérea superior y facilitar la entrada de aire.

Existen variantes de esta osteotomía como la segmentación del maxilar para corregir en el mismo procedimiento un defecto en el plano transversal. Dicho procedimiento fue descrito por Bell en 1970 y se han ido realizando modificaciones posteriores. Puede segmentarse entre los incisivos laterales y los caninos o entre los caninos y primeros premolares. También puede dividirse en tres o cuatro fragmentos realizando la osteotomía tras el down-fracture del maxilar y realizarla en forma de “Y” o de “U”. En la osteotomía en forma de “Y”, se realiza un corte óseo sagital en la línea media del paladar duro, donde la mucosa palatina es más delgada y el paladar óseo es más grueso. Sin embargo, los cortes en forma de “U”

se hacen más lejos de la línea media, donde la mucosa palatina es más gruesa, lo que puede reducir la incidencia de comunicación oronasal o fístula. Una osteotomía en forma de "U" también reduce considerablemente la tensión en la mucosa palatina y permite una expansión o constricción transversal del maxilar en una escala mucho mayor que la osteotomía en forma de "Y"⁵⁴ ya que se reparte el gap del ensanchamiento del maxilar entre dos osteotomías permitiendo un aumento de la dimensión transversal del maxilar superior para la corrección de una mordida posterior cruzada. En nuestra experiencia realizamos la osteotomía en "U" dadas las ventajas anteriormente descritas. Para evitar la recidiva transversal es importante injertar los gaps de las osteotomías para mantener la dimensión transversal. Puede usarse hueso de otras osteotomías de los maxilares o del septo para dicha función (Figura 22).

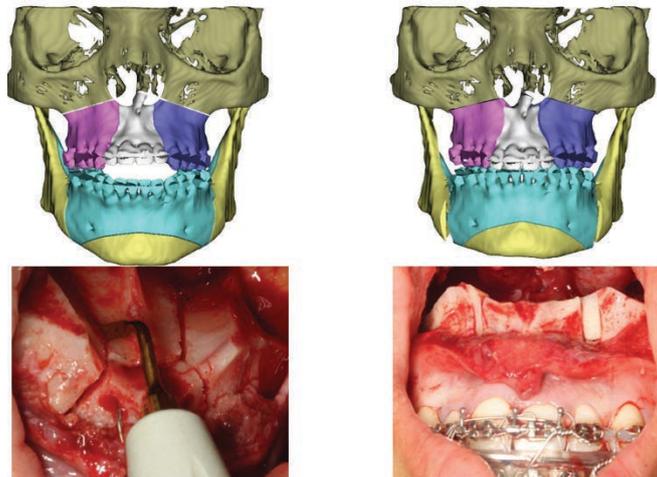


Figura 22: Osteotomía de Le Fort I segmentada en "H" con injertos en la parte anterior de las osteotomías (figura propia).

En pacientes con fisura labiopalatina debe evitarse la realización de una segmentación del maxilar para evitar complicaciones a nivel de la fisura como fístulas oronasales, lesiones periodontales o alteraciones vasculares. Pero en aquellos que sea necesaria su realización es recomendable hacerlo en el lado

contralateral a la fisura (en casos unilaterales) realizando una expansión asimétrica del maxilar (Figura 23).

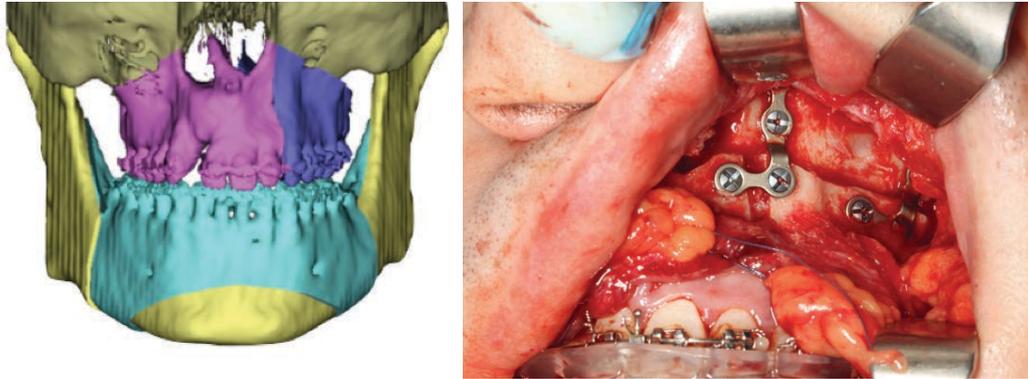


Figura 23: Osteotomía de Le Fort I segmentada asimétrica con injerto óseo y transposición de las bolas adiposas de Bichat en paciente con fisura labiopalatina unilateral (figura propia).

Las principales complicaciones de la segmentación del maxilar son la lesión de las raíces dentales adyacentes a las osteotomías y la creación de fístulas oronasales. Ambas se pueden minimizar mediante el uso del bisturí piezoeléctrico que permite realizar la osteotomía sin lesionar las partes blandas. Una vez se realizan las osteotomías, se movilizan los fragmentos y se reposicionan, se coloca una férula oclusal que definirá la nueva oclusión.

1.8 COMPLICACIONES DE LA CIRUGÍA ORTOGNÁTICA

A pesar que es un procedimiento quirúrgico muy protocolizado, se han descrito múltiples complicaciones asociadas a esta osteotomía con un índice entre el 1-25%⁵⁵.

Las complicaciones pueden dividirse en intraoperatorias o postoperatorias⁵⁶. Las principales complicaciones intraoperatorias son las siguientes (Tablas 4 y 5):

- Sangrado: puede aparecer por lesión de la artería alveolar inferior, alveolar superior, palatina descendente, retromandibular, facial o sublingual, plexo venoso pterigoideo entre otras. La lesión vascular durante una mentoplastia puede producir un hematoma en el suelo de la boca que obstruya la vía aérea superior. Durante la realización del “down fracture” del maxilar es normal debido a la alta vascularización de la zona y puede reducirse mediante una hipotensión controlada⁵⁵. También puede ser secundario a trastornos de la coagulación y se ha descrito un mayor riesgo durante la menstruación.
- Bad split: una mala osteotomía sagital mandibular por fractura de la cortical vestibular o realización de una osteotomía subcondílea entre otras. Debe intentar corregirse durante la intervención mediante osteosíntesis o finalización de la osteotomía, pero puede precisar la suspensión de la cirugía. La exodoncia de los cordales al menos seis meses antes de la cirugía permite la correcta cicatrización alveolar y reducir este riesgo. Una mala osteotomía maxilar puede condicionar una fractura de la base del cráneo que produzca una hemorragia intracraneal, ceguera o la muerte del paciente. Una osteotomía incompleta del maxilar sin disyunción pterigomaxilar imposibilitará avanzar el maxilar, especialmente en pacientes con fisura labiopalatina.

Respecto a las complicaciones postoperatorias a continuación se detallan las principales⁵⁶:

- Recidiva: puede deberse a múltiples causas, la principal de ellas por un crecimiento condilar en pacientes con clase III esquelética que no han finalizado el crecimiento, por doblamiento del material de osteosíntesis, tensión muscular de la cincha pterigomaseterina o alteración de la posición de los cóndilos.

- Lesión nerviosa: las principales estructuras nerviosas que pueden afectarse son el nervio dentario inferior, nervio mentoniano en las osteotomías mandibulares y el infraorbitario en la osteotomía de Le Fort I. El trastorno sensitivo es menos probable que se recupere en pacientes mayores que en jóvenes y puede tardar hasta un año en recuperarse. También se ha descrito la lesión del nervio facial que puede ocurrir de manera excepcional, así como la aparición de dolor neuropático.
- Trastornos de las articulaciones temporomandibulares (ATMs): las deformidades dentofaciales y las maloclusiones pueden producir un trastorno en las ATMs. En estos casos es recomendable tratar la sintomatología articular antes de la cirugía ortognática dado que puede mejorar, pero también empeorar la clínica. La malposición de los cóndilos durante la cirugía ortognática o el uso de osteosíntesis como placas de compresión o lag screws puede provocarlos. Movimientos de los maxilares importantes, así como rotaciones antihorarias del plano oclusal pueden empeorar la patología en las ATMs e incluso producir una reabsorción de los cóndilos. En pacientes con patología articular que precisen una cirugía bimaxilar es recomendable operar primero la mandíbula para posicionar correctamente los cóndilos.
- Lesión dental: puede suceder en varios momentos como la osteotomía de Le Fort a nivel apical, en la segmentación del maxilar, en la colocación de tornillos de bloqueo intermaxilar o de osteosíntesis o por trastorno vascular.
- Necrosis ósea: puede aparecer por isquemia de los tejidos secundarios a la lesión vascular como por ejemplo por sección de las arterias palatinas o por hematoma posterior. Clínicamente se manifiesta como necrosis ósea, pérdida de la vitalidad dental, retracción gingival, patología periodontal, pérdida dental o de algún fragmento

dentoalveolar⁵⁵. En avances importantes del maxilar se recomienda liberar los pedículos de las arterias palatinas para evitar una reducción del flujo por tensión o acodamiento. Los factores de riesgo más importantes para el desarrollo de la necrosis avascular son las osteotomías segmentarias, el consumo de tabaco, la edad avanzada, la rehabilitación de un maxilar atrófico, pacientes fisurados, movimientos extremos (grandes avances o impactaciones), lesiones de la mucosa palatina o la hipotensión mantenida.

- Pseudoartrosis: una inadecuada osteosíntesis puede producir una movilidad de los fragmentos óseos que dificulte la correcta osificación.
- Infección: pese a la abundante flora microbiana de la cavidad oral es poco frecuente la aparición de infecciones tras cirugía ortognática, aunque puede aparecer celulitis, abscesos, sinusitis u osteomielitis. Cuando está en relación al material de osteosíntesis es necesario la retirada del mismo para la correcta resolución del cuadro.
- Insuficiencia respiratoria: secundaria a la inflamación postoperatoria, a la fijación intermaxilar o al enfisema puede producirse una obstrucción de la vía aérea superior. También se ha descrito la aparición de atelectasias, neumotórax o neumomediastino.
- Defectos estéticos: secundarios a la malposición de los maxilares o del mentón al no colocar los fragmentos óseos en el lugar deseado.
- Alteraciones nasales: la movilización del maxilar puede alterar la morfología de la nariz. Los movimientos de avance e impactación del maxilar pueden ensanchar las bases alares. La dislocación del cartílago cuadrangular o la ausencia de reducción del septo nasal puede producir una desviación del tabique nasal.
- Otras complicaciones: cardíacas (asistolia durante el “down fracture” del maxilar), pseudoaneurisma, trastornos oculares (ceguera)⁵⁷,

tromboembolismo venoso, apnea del sueño (en setbacks mandibulares), sordera, muerte por hemorragia intraoperatoria u obstrucción de la vía aérea.

| COMPLICACIÓN | INCIDENCIA | MOMENTO | REVERSIBILIDAD | CONSECUENCIA |
|---|------------|------------|----------------|-----------------------------------|
| OSTEOTOMÍAS MANDIBULARES | | | | |
| Osteotomía incompleta | 4,00% | IQ | Sí | Recidiva |
| Osteotomía indeseada («bad split») | 1-10,9% | IQ | Sí | Aumento t ^o quirúrgico |
| Fractura mandibular | 3,1-3,9% | IQ | Sí | Aumento t ^o quirúrgico |
| Lesión vascular | 2,3-38% | IQ | Sí | Necrosis aséptica |
| Lesión nerviosa | 1,3-7% | IQ | Sí/No | Parestesia temporal/definitiva |
| Reabsorción condílea | 2,3-6,7% | 2m post IQ | No | Recidiva |
| OSTEOTOMÍAS MAXILARES | | | | |
| Osteotomía indeseada («bad split») | | IQ | Sí | Fractura maxilar |
| Fractura esfenoides | | IQ | Sí/No | Ceguera. Fuga LCR |
| Lesión vascular | | IQ | Sí | Necrosis aséptica |
| Necrosis avascular | < 1% | | | Hemorragia masiva |
| Lesión nerviosa | | IQ | Sí/No | Parestesia |
| Patología sinusal | | IQ/Post-op | Sí | Exacerbación |
| Neumomediastino | | Post-op | Sí | Dificultad respiratoria |
| Asistolia | | IQ | Sí | |
| Patología complejo nasolacrimal/osteomeatal | | IQ | Sí | Epifora |
| | | | | Rinitis atrófica |
| Desviación septo nasal | | IQ | Sí | Alteración estética |
| Problemas de vía aérea | | IQ | Sí | Re-intubación |
| Lesión auditiva | | IQ | Sí | Hipoacusia temporal |
| OSTEOTOMÍA MENTONIANAS | | | | |
| Lesión nerviosa | 10-28,5% | IQ | Sí/No | Parestesia |
| Hemorragia | | IQ | Sí | |
| Ptoisis mentoniana | | IQ | Sí | Alteración estética |
| Defecto estético | | IQ | Sí | Palpación escalón |

Tabla 4: Resumen de las complicaciones quirúrgicas de la cirugía ortognática según Hueto-Madrid, J. A. y Gutiérrez-Santamaria, J⁵⁵.

| Reported complications | |
|------------------------|--|
| Anatomical | Nasal septum deviation ¹⁸ |
| | Non-union of osteotomy gap ¹⁸ |
| | Malposition of maxilla ¹⁸ |
| | Nasolacrimal duct obstruction ¹⁹ |
| | Haemolacria from nasolacrimal duct perforation ²⁰ |
| Septic | Abscess ¹⁸ |
| | Sinusitis maxillaris ¹⁸ |
| | Brain abscess ²¹ |
| | Actinomycosis of the maxillary sinus ²² |
| Ischemic | Retraction of the gingiva ¹⁸ |
| | Necrosis of the maxilla ¹⁸ |
| Vascular | Severe hemorrhage ¹⁸ |
| | Delayed formation of arteriovenous fistula ²³ |
| | Pseudoaneurysm ²⁴ |
| | Epistaxis ^{25,26} |
| Neurologic | Unilateral third nerve palsy ^{27,28} |
| | Total unilateral blindness ^{27,29} |
| | Oculomotor nerve palsy ³⁰ |
| | Tapia syndrome ³¹ |
| | Adie pupil ³² |
| Otologic | Middle-ear tympanometric changes ³³ |
| | Eustachian tube dysfunction and tinnitus ³⁴ |

Tabla 5: Complicaciones de la osteotomía de Le Fort⁵¹.

Las principales complicaciones en paciente con fisura labiopalatina son⁵⁸ la recidiva que es superior a los pacientes no fisurados debido a la contracción cicatricial de las múltiples cirugías previas y que puede ser hasta un 37% del movimiento realizado⁵¹, el trastorno sensitivo de los nervios infraorbitarios, sobreinfección, pérdida de la vitalidad dental, inestabilidad maxilar, sinusitis crónica, obstrucción nasal, necrosis gingival, necrosis maxilar o insuficiencia velofaríngea.

1.9 OSTEOTOMÍA DE LE FORT III

Como se ha citado previamente las primeras descripciones de osteotomía de Le Fort III fueron realizadas por Gillies junto a Harrison en 1942 y junto a Rowe en 1954⁵⁹ (Figura 24).

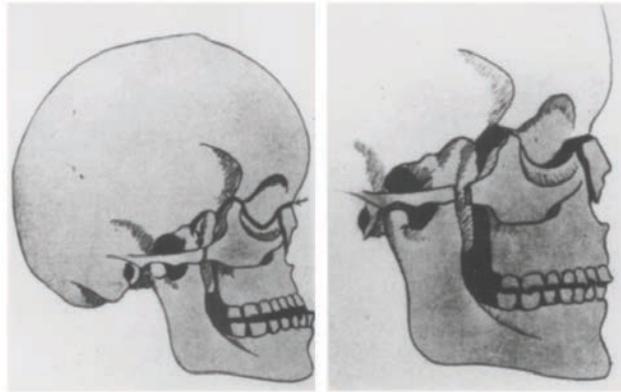


Figura 24: Ilustración de la primera osteotomía tipo Le Fort III realizada por Gillies y Harrison en 1942⁵⁹

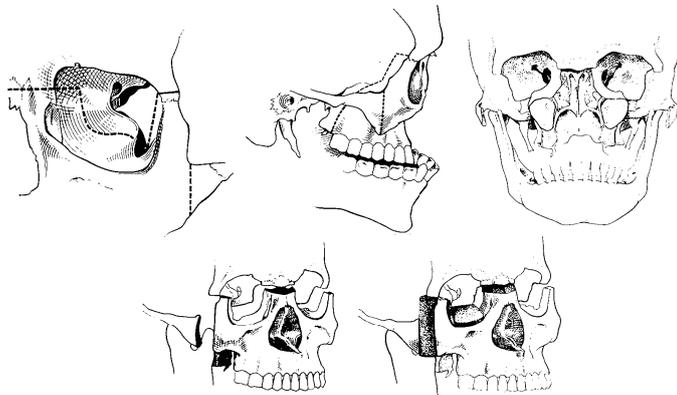


Figura 25: Esquemas de la osteotomía de Le Fort III según Tessier, P⁶⁰.

Esta osteotomía se basa en la realización de una disyunción craneofacial tal y como observó Le Fort en sus experimentos⁴⁶. Tiene como objetivo avanzar el macizo facial de los pacientes con hipoplasia severa facial secundaria habitualmente a un

síndrome craneofacial como Apert, Crouzon o Pfeiffer entre otros, para normalizar la anatomía y la funcionalidad. Se realiza mediante un abordaje coronal combinado con otro intraoral y se trata de una osteotomía subcraneal que evita los riesgos intracraneales como la osteotomía en monobloc que también avanza la frente. La osteotomía se inicia en la pared lateral de la órbita hacia la fisura orbitaria inferior, de allí atraviesa el suelo de la órbita hacia la pared medial detrás de la fosa nasolagrimal y comunica con la otra órbita a través de la unión frontonasal extendiéndose por el septo nasal y hacia las apófisis pterigoides. Finalmente se realiza la osteotomía de ambos arcos zigomáticos para permitir el avance facial. Una vez se han realizado todas las osteotomías se colocan unos fórceps de Rowe en ambas fosas nasales y paladar para la realización del “pull down” y movilización de todo el complejo facial. Una vez se ha liberado completamente, especialmente a nivel pterigomaxilar se realiza el avance que puede ser de dos maneras: realizar una distracción osteogénica o avanzarlo en un solo tiempo y colocar injertos óseos autólogos, alogénicos o xenoinjertos⁶¹. Esta última opción se asocia a una mayor morbilidad y permite avanzar el tercio medio de la cara en pacientes sindrómicos con hipoplasia de tercio medio pero no tanto como la distracción osteogénica⁶².

Se han descrito diversas variantes de esta osteotomía o mediante la combinación de abordajes transconjuntivales e intraorales⁶³.

1.10 DISTRACCIÓN OSTEOGÉNICA

1.10.1 Referencias históricas de la distracción

La distracción osteogénica (DO) es un método de generación de hueso nuevo después de una corticotomía u osteotomía y tracción gradual. El método se basa en el principio propuesto por Ilizarov de la tensión-estrés⁶⁴. El profesor Gavriil Abramovich Ilizarov comenzó su carrera tratando a varios pacientes en el oeste de Siberia, que habían regresado de la Segunda Guerra Mundial con fracturas. Durante la década de 1950, Ilizarov comenzó a experimentar con diseños de fijación externa; en 1954, trató con éxito a su primer paciente, un trabajador de una fábrica con una falta de cicatrización de una fractura tibial (Figuras 26 y 27). Experimentó excelentes resultados, reduciendo significativamente el tiempo de curación. Durante este tiempo, también, por casualidad, descubrió la osteogénesis por distracción para el alargamiento óseo cuando observó la formación de callos en un paciente que había distraído su marco por error en lugar de comprimirlo. Durante los años posteriores trató con éxito a múltiples pacientes intervenidos en numerosas ocasiones en otros países, lo que le hizo famoso no sólo en Rusia sino que su procedimiento fue adoptado por cirujanos a ambos lados del Atlántico⁶⁵. Tras el éxito inicial en paciente realizó varios estudios en 65 perros para entender los principios de la distracción osteogénica^{66,67}. Estos experimentos encontraron que las condiciones ideales incluían la realización de una fijación estable, una osteotomía de baja energía seguida de un período de latencia de 5 a 7 días y un ritmo de distracción de 1mm/día repartido en 3 o 4 activaciones. Posteriormente estos resultados fueron trasladados a humanos⁶⁵. La distracción ósea gradual genera una estimulación mecánica que induce respuestas biológicas y, en consecuencia, regeneración ósea. Esto es logrado por una cascada de procesos biológicos que pueden incluir la diferenciación de células pluripotenciales, angiogénesis, osteogénesis y mineralización ósea⁶⁴. Durante la distracción, el hueso

regenerado surge entre secciones transversales de cada superficie ósea distraída con una interzona fibrosa radiotransparente central formada por colágeno tipo I. Durante este proceso se forman nuevas trabéculas óseas directamente desde esta zona de colágeno central que se extiende a ambas superficies óseas y está orientada de forma paralela a la fuerza de distracción y rodeada por vasos sanguíneos. Después de la distracción, estas microcolumnas se consolidan y remodelan rápidamente para formar una estructura similar en composición a la del hueso huésped, un proceso llamado consolidación⁶⁵. Hasta un 10% de alargamiento es bien tolerado por el músculo, pero se producen cambios histopatológicos sustanciales después de un alargamiento del 30%. Los nervios, arterias y venas tenían evidencia histológica de cambios degenerativos temporales, pero estos suelen desaparecer 2 meses después del alargamiento.

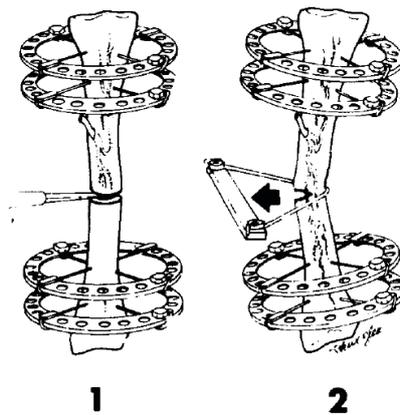


Figura 26: Diagrama de la técnica experimental de osteotomía según Ilizarov, G. A.⁶⁷

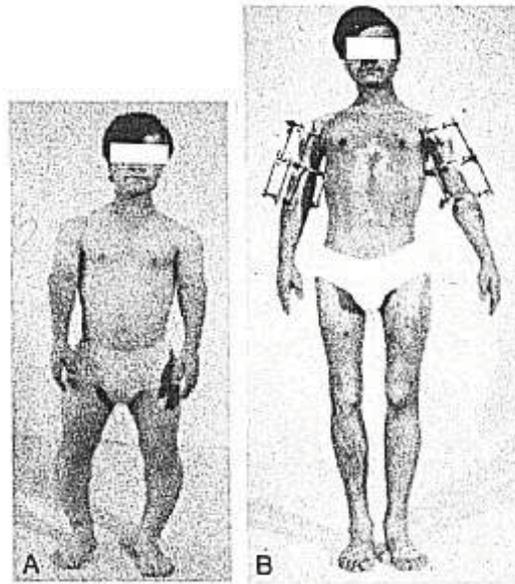


Figura 27: Alargamiento de extremidades en acondroplasia según Ilizarov, G. A.⁶⁶

Esta técnica fue descrita previamente en 1905 por Codivilla pero no fue hasta Ilizarov que se le dio una importancia al ritmo de distracción⁶⁸.

La primera descripción de distracción del macizo facial fue realizada por McCarthy y Karp en 1990 mediante la realización de un estudio utilizando la mandíbula del perro en crecimiento como modelo (Figura 28). Se estudiaron seis perros mestizos de cinco meses de edad. Se realizó una corticotomía angular unilateral con preservación perióstica, y se fijó un dispositivo de alargamiento externo en la mandíbula perpendicular a la corticotomía. Después de 10 días de fijación externa, la mandíbula se alargó 1 mm/día durante 20 días y luego se mantuvo en fijación externa durante 56 días (8 semanas) y posteriormente todos los perros fueron sacrificados. Las mediciones antropométricas y el análisis histológico de las muestras confirmaron que se había producido un alargamiento óseo y que se formó nuevo hueso cortical en las áreas expandidas⁶⁹.

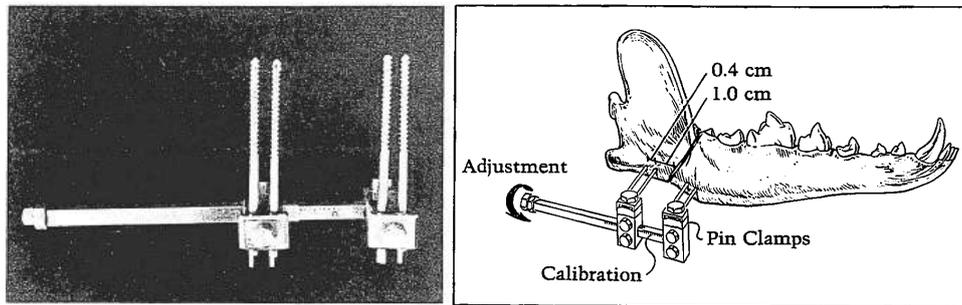


Figura 28: Distractor mandibular con pins de 2mm. Dibujo esquemático del lado de la corticotomía y de la colocación del distractor según Karp, N. S.⁶⁹

Dos años más tarde, en 1992, McCarthy efectuó el mismo procedimiento con distractores externos en cuatro pacientes jóvenes con microsomía hemifacial o síndrome de Nager. Después del período de expansión, los pacientes se mantuvieron en fijación externa durante un promedio de 9 semanas para permitir la osificación. El procedimiento tuvo muy buenos resultados como en los experimentos animales y permitió la reconstrucción temprana de defectos esqueléticos craneofaciales sin la necesidad de injertos óseos, transfusiones de sangre o fijación intermaxilar²⁰ (Figura 29).

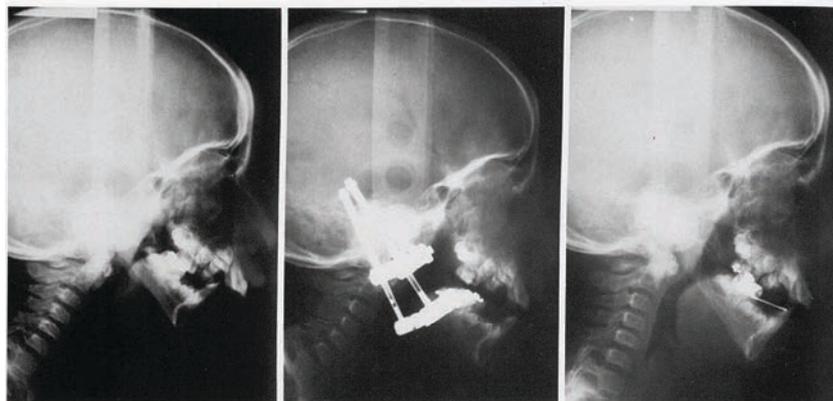


Figura 29: Telerradiografías de perfil de cráneo que muestran el cambio en la morfología mandibular tras una distracción mandibular bilateral. McCarthy et al²⁰.

Posteriormente McCarthy y Grayson realizaron múltiples estudios de laboratorio y clínicos^{70,71} que demostraron que la distracción mandibular es una técnica quirúrgica reconstructiva efectiva. Destacaba la seguridad del procedimiento y que evitaba la necesidad de transfusión de sangre o injerto óseo. Debido a la expansión concomitante de la matriz funcional (la piel asociada, la grasa subcutánea y los músculos de la masticación), hay una expansión multidimensional de la mandíbula inferior con evidencia mínima, si alguna, de recidiva. Además, la reconstrucción quirúrgica puede comenzar a los 2 años de edad, y el vector de distracción puede controlarse mediante un diseño preoperatorio. Finalmente, el aumento en el stock de hueso mandibular resultante proporcionará más opciones reconstructivas en el futuro para las técnicas quirúrgicas ortognáticas tradicionales. La técnica ha sido criticada, ya sea por la incisión cutánea por el abordaje a la mandíbula o por la cicatriz resultante de la trayectoria de los tornillos que distraen. Sin embargo, con la colocación cuidadosa del dispositivo, la cicatriz resultante se puede colocar en las líneas de tensión mínima con una cicatriz satisfactoria resultante. Se supone que la osteotomía produce la interrupción del nervio alveolar inferior. Sin embargo, el interrogatorio de los pacientes mayores no ha podido detectar ningún cambio en la sensación del labio inferior. El estado del nervio alveolar inferior en la mandíbula hipoplásica tampoco se ha estudiado nunca. La inserción de los tornillos requiere un área de reserva ósea que sea edéntula, y este hallazgo puede dificultar la aplicación del dispositivo en algunos pacientes. La duración del tratamiento ha sido criticada, aproximadamente 3 meses. Sin embargo, esto se compensa con la facilidad de tratamiento, el grado de seguridad y la reducción del tiempo en el hospital sin la necesidad de transfusiones de sangre o injertos óseos. Los resultados hasta la fecha indican que la técnica se puede aplicar a la corrección de las deficiencias mandibulares más leves.

En 1995 describieron la realización de la distracción mandibular mediante dispositivos internos⁷¹ que añadía las ventajas de evitar cicatrices cutáneas, permitir un período de retención más largo y reducción de la infección en los pines

de los distractores¹⁹. Por el contrario, necesitan una exhaustiva planificación preoperatoria, una segunda intervención para su retirada, sólo permiten un único vector de distracción y son más caros. Durante las siguientes 3 décadas han ido describiendo múltiples indicaciones de distracción osteogénica de los maxilares y a nivel craneofacial^{70,72-76}.

Referente a la distracción maxilar, en 1997 Polley y Figueroa del Craniofacial Center de Chicago describieron la corrección de la hipoplasia maxilar severa mediante un dispositivo de distracción rígido, externo y ajustable de una manera precisa y controlada, obteniendo resultados predecibles⁷⁷ (Figuras 30 y 31). Dadas las limitaciones de la cirugía ortognática en casos complejos, seleccionaron un grupo de pacientes que se pudieran beneficiar de este novedoso tratamiento:

- Déficit transversal, vertical y horizontal severo.
- Avance maxilar anteroposterior superior a 8 o 10mm.
- Fisuras palatinas con excesiva cicatrización o colgajos faríngeos.
- Fisuras labiopalatinas con ausencia de premaxila, rudimentaria o edéntula.
- Dentición decidual completamente erupcionada.
- Morfología y posición mandibular normal.
- Relación mandíbulo-cervical normal.
- Cráneo intacto.

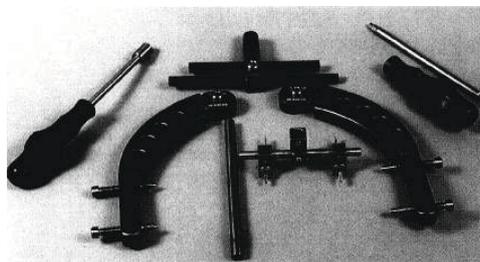


Figura 30: Distractor rígido de tercio medio facial (KLS Martin). Polley, J. W., y Figueroa, A. A.⁷⁷

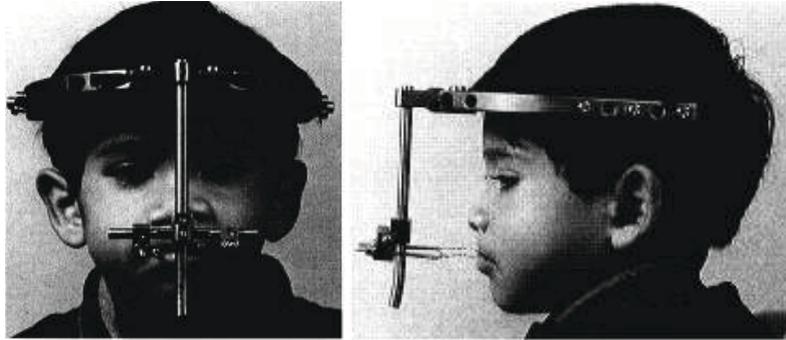


Figura 31: Utilización del distractor externo rígido en un paciente con fisura labiopalatina. Polley, J. W., & Figueroa, A. A.⁷⁷

Previa a la intervención se colocaba una férula con unos ganchos de tracción cementada a la dentición. La técnica quirúrgica constaba en una osteotomía de Le Fort I con disyunción pterigomaxilar, osteotomía septal y movilización completa del maxilar. Posteriormente se colocaba el distractor externo rígido anclado al cráneo con 2 o 3 tornillos por lado paralelo al plano horizontal de Frankfurt. Mediante unos alambres de tracción se unía la férula al distractor y al tercer o cuarto día se iniciaba el período de distracción a un ritmo de 1mm al día hasta corregir la malposición maxilar. El distractor se dejaba entre 2 o 3 semanas para posteriormente colocar una máscara facial por las noches que se mantenía seis semanas más.

En 1998 Fernando Molina y Ortiz Monasterio de México describieron la aplicación del distractor maxilar externo en una serie de 38 pacientes con fisura labiopalatina con un seguimiento entre 6 meses y 3 años⁷⁸. A diferencia de McCarthy, la osteotomía maxilar era incompleta sin disyunción pterigomaxilar y también describen la combinación de fuerzas de distracción hacia adelante y hacia abajo para lograr el avance y el alargamiento simultáneos del maxilar hipoplásico. También destacan los excelentes resultados estéticos y el aumento del ángulo nasolabial, incluida una proyección más anterior del labio superior. Así como la

mejoría de la respiración nasal, el flujo de aire y la permeabilidad de las vías respiratorias altas. Tampoco refieren empeoramiento de la función velofaríngea. El dispositivo de tracción era una máscara de "Petit" modificada y la tracción se realizaba con elásticos durante unas 16 a 18 horas al día⁷⁹. En 1999 Swennen describió en un estudio similar con seis pacientes de entre 12 y 16 años a los que les realizó una osteotomía incompleta de Le Fort I y al cuarto día se realizaba una tracción elástica de 900g con una máscara de Delaire. Sin embargo, pese a la mejoría estética obtenida al avanzar el maxilar observaron una importante compensación dentoalveolar en tres de los seis pacientes. Por este motivo recomendaban evitar el anclaje dental y recomendaban utilizar un anclaje esquelético⁸⁰.

Ese mismo año Adi Rachmiel de Israel describió los cambios morfológicos e histológicos en la distracción de tercio medio facial en ovejas⁸¹. Tras analizar mediante biopsias seriadas el hueso distraído observó que después de un año era casi como el hueso no distraído concluyendo que la distracción osteogénica proporciona hueso nuevo de forma satisfactoria a nivel cuantitativo y estructural (Figura 32).

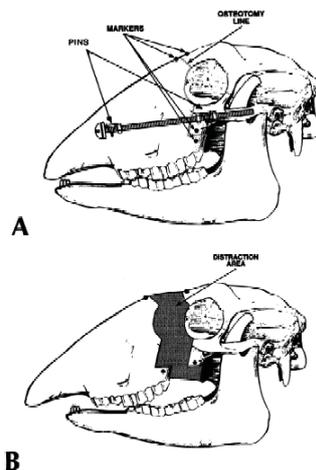


Figura 32: Utilización experimental de distractores maxilares internos. Rachmiel et al⁸¹.

Durante esa época varios grupos del mundo desarrollaron la técnica de la distracción maxilar con distractores externos. En 1998 Polley y Figueroa describieron de nuevo el procedimiento en una serie de 18 pacientes con fisura labiopalatina⁷. Esta vez dividieron los pacientes en dos grupos, a 14 le realizaron la distracción maxilar con un distractor rígido externo (RED) y a 4 de ellos les colocaron una máscara facial con elásticos. Para los pacientes en el grupo de distracción externa rígida, el avance horizontal efectivo medio del maxilar fue de 11.7 mm. Todos estos pacientes tuvieron corrección de su overjet negativo. Para los pacientes en el grupo de distracción con máscara facial, los resultados fueron decepcionantes. El avance efectivo medio del maxilar en este grupo fue de solo 5.2mm. En todos los pacientes con distracción con máscara facial, la hipoplasia maxilar inicial estaba subcorregida. La distracción maxilar con distractores externos rígidos permitió la corrección completa de la deficiencia facial, incluidas las deficiencias esqueléticas y de tejidos blandos. Concluyeron que la distracción externa rígida en pacientes con hipoplasia maxilar severa permite la corrección completa de la deformidad a través del tratamiento de la región afectada solamente y que ofrece la clara ventaja de corregir estas deformidades severas a través de un procedimiento mínimo por lo cual la distracción externa rígida mejoraba dramáticamente los resultados de tratamiento para pacientes con hipoplasia maxilar severa asociada a fisura labiopalatina.

Inicialmente la tracción del maxilar por el RED se efectuaba mediante una férula cementada a los dientes pero podía producir compensaciones dentales o problemas en la férula o alambres de tracción⁸². Por este motivo se investigaron nuevas formas de efectuar la tracción directamente al hueso. En 2007 Minami⁸³ describió la colocación de miniplacas previamente moldeadas sobre un modelo esterolitográfico fijadas con 3 o 4 tornillos de osteosíntesis laterales a la apertura piriforme que servían de anclaje al sistema RED (Figuras 33 y 34). De esta manera describieron el paralelismo del plano palatino durante la distracción y la ausencia

de compensación dental. Este sistema y variantes ha sido ampliamente utilizado. Recientemente Zheng⁸² describió unos tornillos de tracción ósea a nivel nasal en una serie de 110 pacientes y que permitían el avance del maxilar produciendo una pequeña cicatriz en la base nasal y añadiendo la ventaja según los autores de una fácil retirada en más de la mitad de los casos bajo anestesia local.

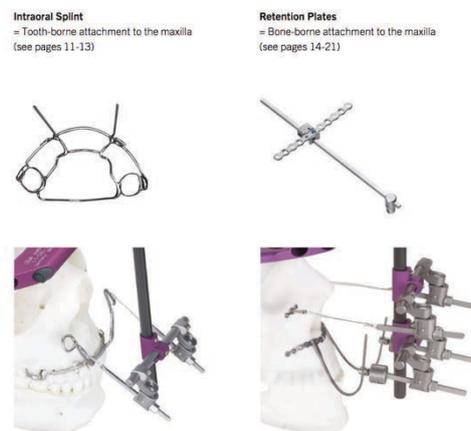


Figura 33: Tipos de tracción facial en el sistema RED: izquierda a través de un arco de anclaje dental, derecha mediante miniplacas de anclaje esquelético (Fuente KLS-Martin).

El sistema RED ha ido evolucionando para ser más ligero y resistente, así como se han ido desarrollando distintos tipos de miniplacas de tracción que pueden adaptarse a la anatomía del paciente. Algunas de las ventajas de la tracción ósea respecto a las férulas son la fijación ósea sólida donde están involucradas las altas fuerzas de distracción, un menor riesgo de daño periodontal o extracciones de dientes, la fácil fijación y remoción, mejoría de la higiene dental, mayor precisión del vector de distracción. Otra desventaja del anclaje dental es la posibilidad de rotación antihoraria del plano maxilar produciendo una mordida abierta anterior.

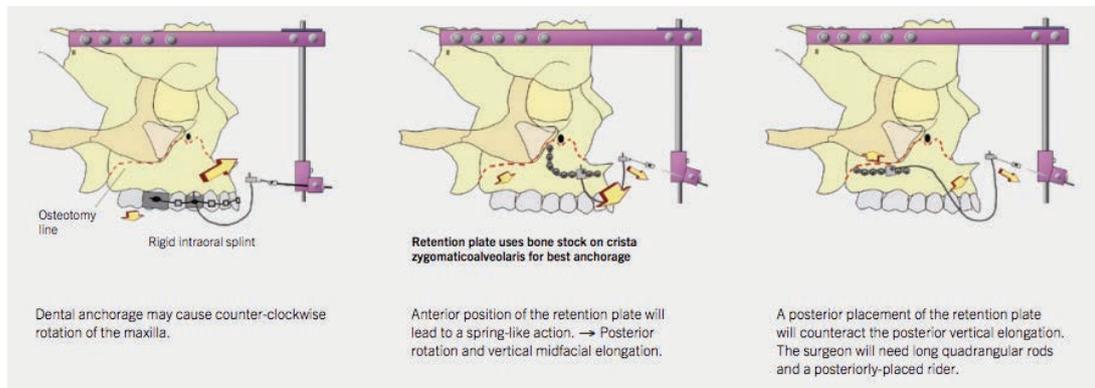


Figura 34: Izquierda tracción mediante anclaje dental, derecha mediante anclaje esquelético. (Fuente KLS-Martin).

Aparte de la distracción maxilar, el sistema RED es habitualmente utilizado en distracción del tercio superior en cirugía craneofacial como la osteotomía de Le Fort III o monobloc para la corrección facial de pacientes sindrómicos. En estos casos se utiliza el mismo halo y se tracciona mediante una férula, alambres a través de la apertura piriforme o paranasales, miniplacas de tracción a nivel malar o la combinación de las anteriores. En pacientes sindrómicos intervenidos previamente de craneosinostosis pueden tener defectos en la calota que pueden dificultar o imposibilitar la colocación de los tornillos de fijación del halo en el cráneo dado que podían producir daño intracraneal. En estos casos puede colocarse unas miniplacas con tornillos de osteosíntesis a medida del paciente fijados en el cráneo que se conectan al halo como el diseñado por Joachim Obwegeser. Este sistema permite una mayor precisión del tratamiento personalizado, reducir el riesgo de lesión intracraneal y una fijación más rígida, sin embargo, precisa una planificación virtual para el desarrollo de las miniplacas a medida y el coste es considerablemente superior (Figura 35).

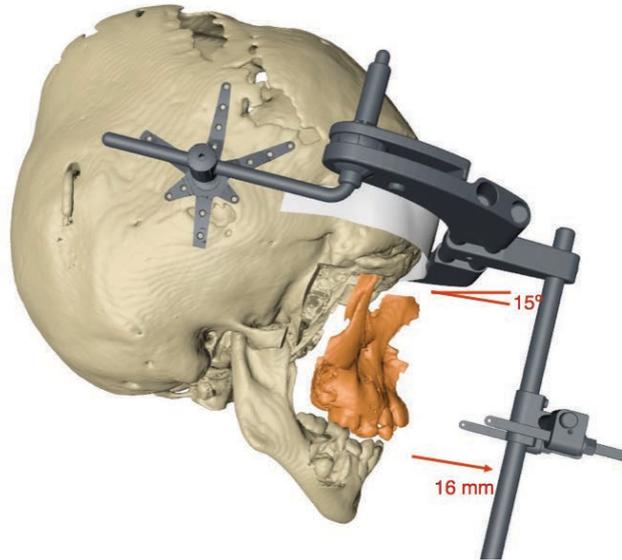


Figura 35: Sistema RED con fijación craneal a medida del paciente (figura propia).

1.10.2 Distractores internos

Los dispositivos de distracción interna se fijan directamente al hueso. Son más seguros de usar durante un período de varios meses, permiten la socialización y, por lo tanto, permiten períodos de retención más largos lo que puede contribuir a una mejor estabilidad que los dispositivos externos. Sin embargo, su mayor desventaja es que requieren una segunda operación bajo anestesia general para la extracción del dispositivo⁶⁴.

A finales de los años 90 empezaron a realizarse los primeros estudios de distracción osteogénica facial mediante el desarrollo de distractores internos. En 1996 Chin describió su uso en cinco pacientes intervenidos de Le Fort III, tres de distracción mandibular y uno de distracción alveolar⁸⁴. Los resultados que presentó fueron muy prometedores y sentaron las bases de algunos de los procedimientos que se realizan actualmente. De entre las ventajas que aportaron destacan la eliminación de las cicatrices de la piel causadas por el desplazamiento de los pins de fijación

transcutánea de los distractores externos, la mayor aceptación por parte del paciente durante la fase de fijación o consolidación porque no hay un componente externo, y la mayor estabilidad de la unión del dispositivo al hueso. McCarthy fue muy crítico con el artículo y cuestionó varios aspectos como la presencia de una cicatriz cutánea para activarlos, el coste de los dispositivos, el resultado a largo plazo para la valoración de la estabilidad y recidiva. No obstante los felicitó por las modificaciones técnicas que aportaban que tendrían una influencia positiva en el desarrollo de las técnicas de distracción craneofacial⁸⁵.

Los primeros distractores internos eran muy aparatosos e incómodos. En 2002 Weinzweig describió un nuevo tipo de distractor maxilar interno de bajo perfil en un experimento con cuatro macacos Rhesus con muy buen resultado para avanzar el maxilar pero el cilindro del distractor protruía a través de la mucosa bucal y salía a través de la piel en el pliegue nasolabial⁸⁶ (Figura 36).

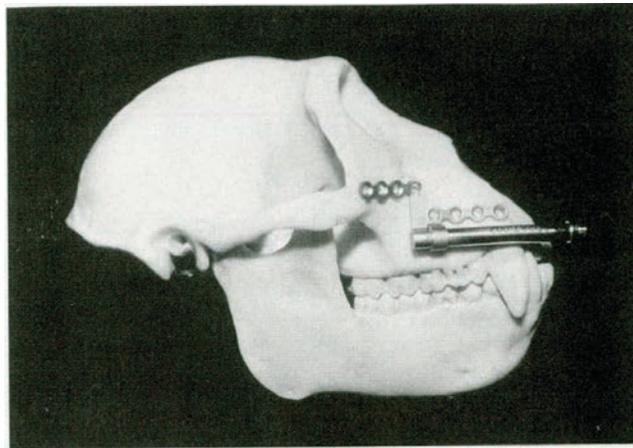


Figura 36: Distractor maxilar interno en un macaco Rhesus. Weinzweig et al⁸⁶.

En 2001 Kessler y Wiltfang, describieron el uso del distractor maxilar interno subperióstico en cuatro pacientes⁸⁷. El distractor utilizado fue el Zurich Pediatric Ramus Distractor[®] (KLS Martin, Tuttlingen, Germany) que añadía la ventaja que aplicaba la fuerza directamente al hueso mediante un abordaje intraoral y que el

vástago activador no salía perforando la piel, sino que se plegaba y quedaba debajo del labio superior. Este tipo de distractores realizan un vector unidireccional y que no podía modificarse durante la activación. Para corregir un cant maxilar describían la colocación más vertical en el lado más hipoplásico y para corregir una desviación de la línea media recomendaban sobrecorregir el lado de la desviación. Estos distractores añadieron múltiples ventajas al tratamiento evitando la colocación de los aparatosos RED y las cicatrices cutáneas siendo más aceptados por los pacientes, pero también tenían unas limitaciones ya que tenían que estar perfectamente colocados para trasladar el maxilar a la posición planificada y la longitud de distracción está limitada por la longitud del vástago del distractor. Finalmente, también recomendaban el uso de una máscara de Delaire por las noches durante ocho semanas. Posteriormente publicarían los resultados con un seguimiento de 12 a 24 meses⁸⁸ en cinco pacientes confirmando la estabilidad de los resultados y añadieron las ventajas de realizar este tratamiento a pacientes en crecimiento ya que las estructuras óseas neoformadas sirven de base para la histoneogénesis de los tejidos blandos adyacentes que se han expandido.

En 2003 Stalmans y colaboradores publicaron un estudio en un perro bóxer para la realización de una distracción maxilar con un nuevo prototipo de distractor interno intrasinusal diseñado por Nasser Nadjmi. Consistía en dos miniplacas colocadas en cada lado de la osteotomía que se conectaban con un tornillo intrasinusal⁸⁹. El resultado fue satisfactorio y se pudo dejar el dispositivo durante todo el período de retención a diferencia del sistema RED evitando la recidiva posterior. Dados los resultados esperanzadores decidieron extrapolarlo a pacientes humanos con hipoplasias maxilares severas como los pacientes con fisura labiopalatina.

En 2006 Nadjmi publicó los resultados en 20 pacientes con hipoplasia maxilar severa secundaria a fisura labiopalatina o a malformación craneofacial usando distractores internos trans-sinusales con planificación virtual y modelos

estereolitográficos⁹⁰ (Figura 37). Sobre estos modelos diseñó unas guías que permitían trasladar la posición planificada en el modelo al paciente. Los resultados a los cinco años mostraron la estabilidad del avance maxilar. Los distractores utilizados eran parecidos a los del experimento previo con una placa fijada cranealmente a la línea de la osteotomía unida a un cilindro con el tornillo de la distracción de la segunda parte del distractor que consistía en otra miniplaca que se unía al maxilar y que contenía la unión para colocar el activador. El tornillo de distracción quedaba en el interior del seno maxilar y el activador emergía a la cavidad oral. Dado que estos distractores son unidireccionales es sumamente importante el correcto posicionamiento de los mismos. En este caso utilizaron el software Maxilim™ para planificarlo. Obtuvieron muy buenos resultados esqueléticos, no obstante, tuvieron que modificar el tipo de activador dado que daba problemas de partes blandas y también encontraron dificultades en la retirada de la parte superior del distractor en algunos pacientes.

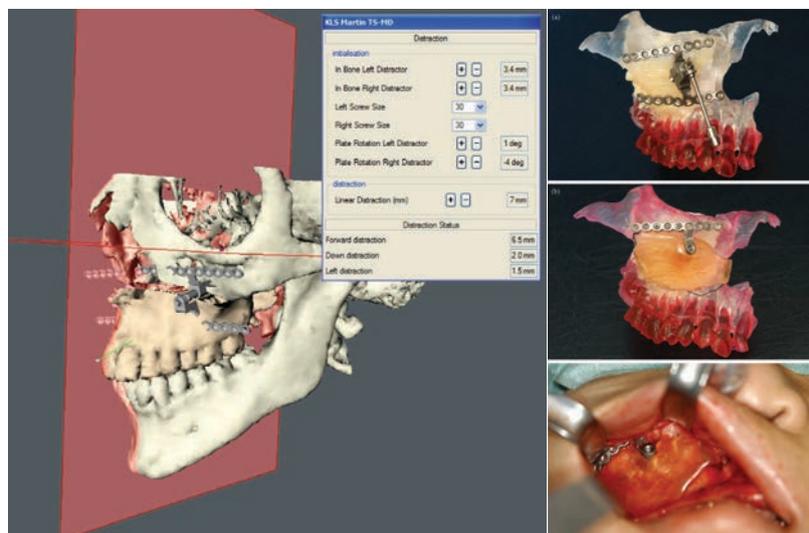


Figura 37: Planificación virtual y adaptación de los distractores con modelos esterolitográficos. Nadjmi et al⁹⁰.

Pese a los buenos resultados reportados con los distractores maxilares internos trans-sinusoidales, Rustenmeyer describió en 2011 unos tratamientos subóptimos en dos pacientes dado que no consiguió avanzar la longitud necesaria el maxilar y a la mitad de la distracción el vector se verticalizó con una rotación horaria y no logró corregir el underjet⁹¹. En estos casos realizaron una cirugía ortognática bimaxilar tras retirar los distractores. Una posible causa que atribuyen los autores es que ambos pacientes habían sido sometidos previamente a una faringoplastia con colgajo faríngeo para tratar una insuficiencia velofaríngea. Esta excesiva cicatrización tras las múltiples cirugías había producido la falta de desarrollo del maxilar y también plantearon que hubiera dificultado el avance del maxilar produciendo una rotación posterior. Otra de las dificultades de los autores fue la colocación paralela de ambos distractores y que el vector no pudo ser modificado durante la distracción. Por este motivo replantearon haber utilizado un RED para evitar estas dificultades. Dada las dificultades del avance del maxilar mediante cirugía ortognática en los pacientes con fisura labiopalatina algunos autores recomiendan la realización de una distracción cuando se requiera un avance superior a 5 o 6 mm, así como por la alta tasa de recidiva de un 4-40% pese a la sobrecorrección, el uso de injertos óseos o la fijación rígida⁹². Una alternativa podría ser la realización de una distracción alveolar anterior manteniendo los molares y el sector posterior del maxilar en el mismo sitio sin afectarse por la cicatrización excesiva, colgajos faríngeos ni crear o empeorar una insuficiencia velofaríngea. Bevilacqua publicó en 2008 el uso de distractores internos para la distracción de la porción anterior del maxilar en siete pacientes con fisura labiopalatina. La osteotomía vertical la realizaron entre los segundos premolares y los primeros molares y usaron distractores internos KLS Martin (Tuttlingen, Germany) y Synthes Internal Maxillary Distractor System (Synthes). Consiguieron corregir la maloclusión esquelética con un avance medio de 12 mm sin aumento de la hipernasalidad. No obstante dado el avance entre los segundos premolares y

primeros molares quedó un gap de hueso neoformado que precisó la colocación de implantes dentales en cinco pacientes y en dos pudo cerrarse ortodóncicamente⁹². Un procedimiento similar fue publicado en 1995 por Block en perros Beagle mediante un distractor de anclaje dental tipo Hyrax logrando un avance dental medio de 8mm y esquelético de 4mm⁹³. Posteriormente ha sido descrito en humanos con dispositivos de anclaje dental o con microtornillos^{94,95}. Este tipo de dispositivos es mucho más fácil de confeccionar y con un coste mucho menor que los distractores internos. Su retirada también es más fácil y no precisa una segunda cirugía. Su uso está muy extendido en la India^{96,97,98} donde se han descrito largas series como la de Richardson con 147 pacientes² en la que destacan la mejoría de la insuficiencia velofaríngea realizando unos avances entre 4 y 13 mm. En estos casos la osteotomía es similar y el distractor es tipo Hyrax pero con el tornillo posicionado sagitalmente.

1.10.3 Complicaciones de la distracción maxilar

Las principales dificultades o complicaciones en la distracción maxilar son la hemorragia intraoperatoria, infección, problemas en las articulaciones temporomandibulares como limitación en la apertura oral o dolor muscular, lesión dental por tracción en la férula o por la colocación de un tornillo en el ápice, la pérdida dental, maloclusión, fallo en los dispositivos por rotura de los mismos, lesiones de partes blandas intraorales por los vástagos, dolores significativos durante la activación, sinusitis maxilar, lesiones intracraneales por los tornillos del RED, fístula oronasal, hipernasalidad o aparición o empeoramiento de una insuficiencia velofaríngea o recidiva. También se han descrito casos excepcionales de ceguera o lesiones oftalmológicas asociadas a la realización de osteotomías de Le Fort altas que han podido producir fractura de la base del cráneo con hemorragia subaracnoidea, hematomas de la base del cráneo o por rotura de aneurismas. La naturaleza incontrolada e impredecible de la disyunción

pterigomaxilar puede provocar la extensión de fracturas a la base del cráneo o la generación de fuerzas deformantes en el canal óptico que pueden comprimir o dañar el nervio óptico y su circulación. La realización de una osteotomía escalonada o inclinada generará una separación pterigomaxilar más controlada durante la cirugía ortognática y puede reducir el riesgo de complicaciones oftalmológicas devastadoras^{99,100,101,57}.

1.11 PLANIFICACIÓN VIRTUAL

En todo acto médico siempre se debe intentar proporcionar al paciente el mejor tratamiento posible. El avance de la tecnología ha permitido mejorar la calidad y los resultados de las intervenciones. Mediante la simulación 3D, se puede planificar la intervención quirúrgica en un entorno virtual y realizar un tratamiento customizado para cada paciente. La posibilidad de operar al paciente mediante un software permite simular distintos escenarios quirúrgicos y decidir cuál es el más indicado. También podemos reconocer posibles incidencias, dificultades o complicaciones quirúrgicas debido a la anatomía del paciente y evitarlas el día de la intervención.

1.11.1 Planificación virtual en cirugía ortognática

Uno de los campos más desarrollados en la planificación quirúrgica virtual es la cirugía maxilofacial. Dentro de esta especialidad la cirugía ortognática es la que más ha evolucionado el diseño de la planificación e impresión 3D. El objetivo del tratamiento de las deformidades dentofaciales (DDF) es alcanzar una corrección funcional y estética predecible y segura. El protocolo tradicional para la planificación del tratamiento de las DDF basado en el análisis facial o estético, de los modelos de las arcadas, el análisis cefalométrico frontal y de perfil, el montaje en articulador con el arco facial y la cirugía de modelos se ha empleado durante muchos años de forma eficaz, pero presenta limitaciones evidentes (Figura 38).



Figura 38: Distintos pasos de la planificación quirúrgica manual tradicional de cirugía ortognática (figura propia).

En los últimos 15 años se ha desarrollado y extendido la tecnología 3D permitiendo mejorar los resultados quirúrgicos especialmente cuando existen anomalías condíleas, asimetrías faciales, dismorfología del mentón o anomalías en el borde inferior y la rama mandibular¹⁰².

La tomografía computarizada (TC) es la prueba radiológica de elección para generar buenos modelos virtuales por ordenador. La tomografía computarizada de haz cónico (cone beam-CT o CBCT) puede emplearse también, pero tiene ciertas desventajas respecto a la TC de multicortes como el menor volumen de escaneado (que impide analizar todas las anomalías dentofaciales), el menor campo de visión en altura (desde el límite superior de la tiroides hasta el reborde supraorbitario) o el mayor nivel de ruido de las imágenes, menor contraste o calidad de imagen junto a la poca precisión de la intercuspidación con un sólo escaneado¹⁰³.

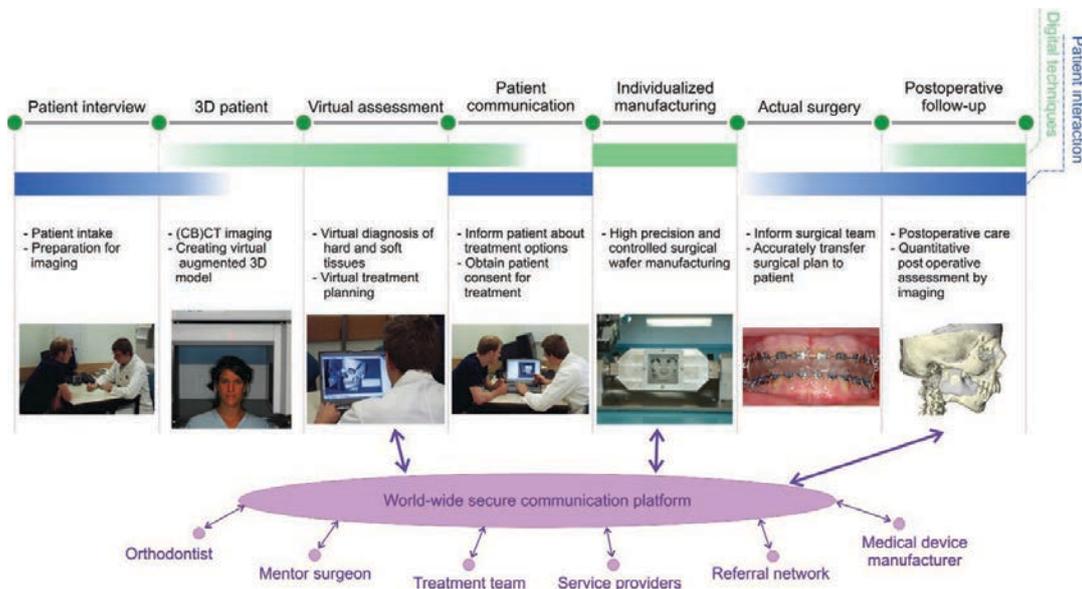


Figura 39: Proceso de flujo de trabajo para la planificación virtual de cirugía ortognática. Swennen et al¹⁰³.

Es conveniente efectuar esta prueba con una cera de mordida en céntrica, que separa ambas arcadas, mejorando su segmentación y colocando los cóndilos en una posición en la fosa que permita simular la auto-rotación mandibular.

Para mejorar la resolución de las superficies oclusales podemos acoplar al modelo radiológico un modelo obtenido mediante escaneado láser de los modelos en yeso. Estas dos imágenes son fusionadas y mediante distintos softwares existentes en el mercado.

Descargada la exploración en la estación de trabajo, el primer paso consiste en el posicionamiento del cráneo para proceder a la cefalometría.

El software permite la aplicación al modelo de distintos análisis cefalométricos tanto bi como tridimensionales, o bien seleccionar puntos y medidas para un estudio personalizado. El análisis utilizado se basa en 20 puntos cefalométricos: 2 orbitales (O_d , O_i), 2 porion (P_d , P_i), nasion (Na), crista galli (Cg), silla turca (S), basion

(Ba), espina nasal anterior (ENA), A, B, cúspide de 13 y 23, cúspide mesiovestibular de 16 y 26, gnation (Gn), 2 gonion (Go_d , Go_i) y 2 condilion (C_d , C_i).

Los planos de referencia empleados son dos: el plano sagital, basado en el plano que forman Na, ENA y B, y el plano de Frankfurt formado por O_d , O_i y la media de los porions.

Mediante estos puntos y planos se pueden aplicar diferentes mediciones, como SNA, SNB y ANB de Steiner, mediciones exactas de canting al plano de Frankfurt, plano oclusal maxilar y mandibular, etc.

Considerando las medidas de nuestro análisis estético y de los modelos, e incorporando los hallazgos de la cefalometría 3D se decidirá en primer lugar las osteotomías que precisará el caso. Puede realizarse una osteotomía de Le Fort I, II o III. En el caso del Le Fort I puede ser planar o en escalón, así como simple o segmentado. A nivel mandibular se puede planificar una osteotomía sagital bilateral mandibular, una mentoplastia o cualquier otro tipo de osteotomía personalizada.

En 2012 publicamos el algoritmo de reposición de las osteotomías estandarizado en 7 pasos¹⁰⁴ (Figura 40):

- Paso 1: Efectuada las osteotomías del maxilar (Le Fort I monobloc o segmentado) y corregido el defecto transversal de la arcada, el primer paso es la corrección del canting. Para ello se toman como referencia las distancias de las cúspides de 13 y 23 y las cúspides mesiovestibulares de 16 y 26 respecto al plano de Frankfurt.
- Paso 2: Centrado de la línea media maxilar respecto al plano sagital del cráneo.

- Paso 3: Rotación del plano oclusal del maxilar.
- Paso 4: Movimiento vertical del maxilar. En este momento se realiza los movimientos de impactación o extrusión del maxilar.
- Paso 5: Movimiento anteroposterior del maxilar.
- Paso 6: Colocación de la mandíbula a oclusión. Estudio de los puntos de presión oclusales y ajuste de la misma. En algunos es también factible efectuar en este momento la segmentación del maxilar.
- Paso 7: Mentoplastia y corrección de ángulos mandibulares. Finalmente se realiza la osteotomía de mentón y se reposiciona el mismo en los tres ejes del espacio. En este momento ya se han reposicionado los maxilares y al estudiar la visión basal se puede ver la colocación de las ramas mandibulares. Esto tiene especial importancia en casos de asimetrías faciales, en los que al reposicionar la mandíbula puede quedar una asimetría en los ángulos mandibulares. De esta manera se puede analizar la necesidad de una prótesis de ángulo mandibular y colocarse en la misma intervención.

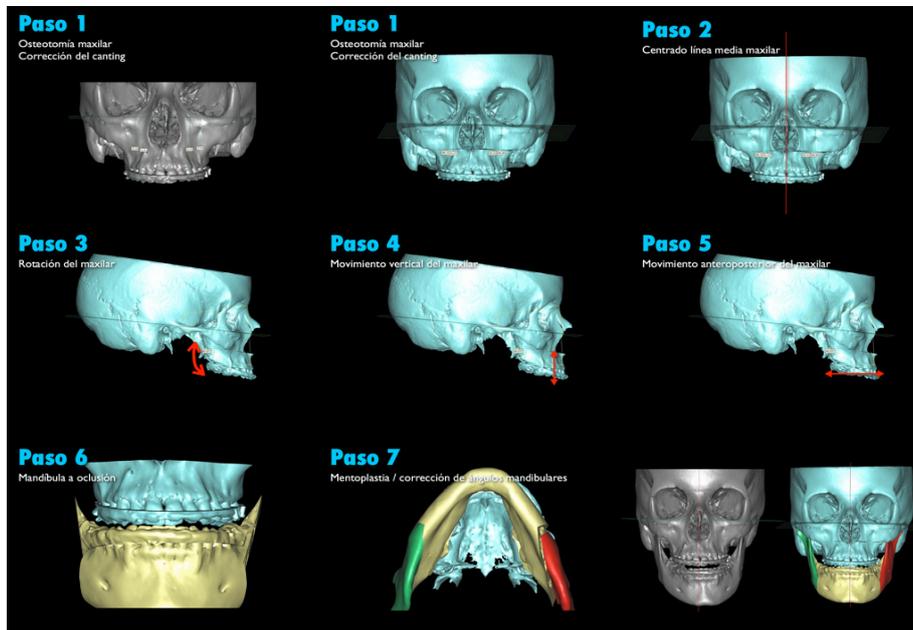


Figura 40: 7 pasos de la planificación virtual. Rubio-Palau et al¹⁰⁴.

La corrección exacta de las líneas medias y del canting del maxilar es uno de los puntos fuertes de los protocolos computarizados. Aspectos como la posición del mentón y su impacto en el perfil o la modificación de los ángulos mandibulares pueden ser planificados con precisión mediante estas técnicas. Este aspecto tiene especial relevancia en pacientes con fisura labiopalatina o microsomía hemifacial. Una vez efectuada la planificación deberemos manifestar al sistema nuestras preferencias respecto al protocolo quirúrgico: qué maxilar queremos reposicionar primero, las características de la férula (grosor, profundidad de las impresiones, reborde externo, orificios para fijar alambres, etc.). Habitualmente una vez validada la planificación se remite por vía telemática al centro de procesado para la fabricación mediante tecnología estereolitográfica de la férula de reposicionamiento y final. En caso de tener una impresora 3D se puede imprimir en el mismo centro.

El análisis facial o estético comprende el estudio de la cara del paciente en los tres ejes del espacio. Tanto el plano sagital como el plano vertical son subjetivos, ya que dependen de distintas variables individuales como el sexo, raza, país, o estereotipos de la moda, lo que conlleva que se pueda preferir una cara más larga o corta o un perfil más o menos protrusivo según todas estas variables. En cualquier caso, pese a la variabilidad de los gustos estéticos, la simetría se ha mantenido siempre como un valor estable e imprescindible de belleza. Aquí es donde la planificación computarizada supera sin lugar a dudas a la planificación clásica, por su exactitud en la corrección del canting y en la determinación del plano sagital, aspectos imposibles de determinar con la teleradiografía de perfil e inexactos con la frontal^{105,106}.

Otro factor determinante de la falta de precisión de los protocolos clásicos es la utilización del arco facial, el cual sobreestima el ángulo del plano maxilar y no está diseñado para registrar asimetrías faciales con exactitud^{102,107}. Se han descrito diferencias de hasta 7° entre el plano oclusal maxilar de la cefalometría y el del articulador¹⁰⁸, lo cual conlleva a errores durante la cirugía de modelos que se transferirán al quirófano.

Es de especial importancia estudiar la posición tridimensional de los maxilares en relación al cráneo. La rotación antero-posterior (o pitch) puede ser analizada con la teleradiografía de perfil, pero tanto el canting (o roll), como el yaw no pueden ser evaluados. Se puede complementar con una radiografía frontal para estudiar las asimetrías y el canting, o con una submentopla para ver el yaw, pero ninguna de estas proyecciones puede medir con exactitud estos parámetros ya que existe un alto grado de distorsión y no pueden unificarse las tres proyecciones debido a la variabilidad de las mismas en función del centro donde se hayan realizado y que son técnico-dependientes. De esta manera se estudia un fenómeno tridimensional con proyecciones bidimensionales.

Las ventajas de la tecnología 3D son el estudio y planificación de asimetrías en los tres ejes del espacio, haciendo hincapié en el canting, pitch y yaw de los maxilares con una alta precisión. El estudio de la anatomía del paciente mediante TC amplía las posibilidades diagnósticas de patologías intercurrentes (quistes, odontomas, malformaciones) pudiendo predecir posibles dificultades intraoperatorias como variaciones anatómicas, localizando el trayecto del canal mandibular, orificios mentonianos, anomalías condíleas, etc¹⁰⁹. Permite anticipar los cambios en la morfología de los ángulos mandibulares, frecuentes en los centrados de línea media mandibular y anticipar el tamaño y forma de la prótesis de ángulo necesaria. También se puede estudiar la oclusión intermedia y final mediante puntos de presión en las cúspides de los dientes y definir la oclusión deseada al final de la operación. Otros aspectos son la posibilidad de medir la vía aérea del paciente, especialmente importante en pacientes con Síndrome de Apnea Obstruktiva del Sueño (Figura 41), o la confección de modelos estereolitográficos no tan sólo de los maxilares sino del resto de macizo facial y cráneo para realizar una cirugía con modelos físicos en los casos más complejos o adaptar las miniplacas de osteosíntesis¹⁰².

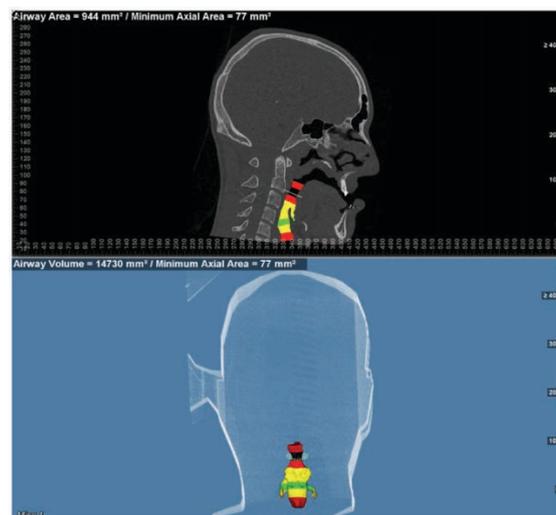


Figura 41: Análisis preoperatorio de la vía aérea en una paciente con deformidad dentofacial clase III esquelética (figura propia).

Otro elemento no menos importante es la opción que proporciona de comunicación con el paciente, pudiendo explicarle la operación y riesgos de la misma y consiguiendo una mayor implicación del mismo, y con el ortodoncista para decidir conjuntamente el plan de tratamiento adecuado¹⁰³. Finalmente, también es útil en el estudio y tratamiento de trastornos craneofaciales, fracturas y secuelas de las mismas ya que se pueden planificar las osteotomías y reposicionar los distintos fragmentos.

Para generar el modelo virtual del cráneo del paciente se utiliza la tomografía computarizada junto al escaneado de las impresiones de los maxilares del paciente para obtener una mayor resolución de la anatomía dental. Otros autores como Swennen utilizan un triple escaneado mediante un CBCT del cráneo del paciente en relación céntrica y los labios relajados, otro CBCT de baja resolución y baja irradiación del paciente con una impresión doble y finalmente un CBCT de alta resolución de las impresiones. Posteriormente se fusionan las imágenes de los 3 CBCT para obtener el modelo virtual del paciente con una mayor precisión de su oclusión e intercuspidación¹⁰³.

La migración a nuevas tecnologías siempre es un proceso difícil, en especial cuando sustituyen procedimientos aparentemente efectivos y de menor coste. La incorporación de la planificación virtual exige un cambio cultural y de los protocolos y procedimientos habituales. El mayor coste de las férulas, la inversión en equipos y formación, la mayor irradiación que comportan la TC o CBCT, la curva de aprendizaje y la inmadurez en muchas ocasiones de los paquetes de software, son retos que todavía se nos plantean a los profesionales implicados en el tratamiento multidisciplinario de las deformidades dentofaciales. En cualquier caso, no nos cabe la menor duda que el cambio de la tecnología analógica a la digital también ha llegado a la ortodoncia y la cirugía ortognática y ha venido para quedarse.

El diagnóstico y la planificación del tratamiento de las deformidades dentofaciales mediante modelos 3D computarizados es más exacta que con los protocolos tradicionales, especialmente en los casos de asimetrías. La simulación de las osteotomías y el reposicionamiento virtual permite anticipar los resultados finales y prever las dificultades de la cirugía, permitiendo un tratamiento más seguro y predecible.

1.11.2 Otras indicaciones de la planificación virtual en cirugía craneomaxilofacial

De toda la experiencia en cirugía ortognática se han ido añadiendo nuevas indicaciones de la planificación 3D en cirugía maxilofacial. Sus ventajas incluyen más precisión, menos complicaciones y reducción del tiempo operatorio^{103,110,111}.

En la década de 1990 comenzó la construcción de modelos estereolitográficos. Se utilizaron para la evaluación y planificación del tratamiento de deformidades faciales complejas¹¹².

Hace unos años, se desarrollaron guías quirúrgicas de corte y posicionamiento para tratar un espectro más amplio de deformidades y afecciones maxilofaciales.

Algunos pacientes se someten a tratamiento quirúrgico con resultados subóptimos a pesar de las operaciones bien planificadas por cirujanos experimentados. Una de las razones de un mal resultado es la confianza del cirujano en imágenes bidimensionales para la planificación del tratamiento de un problema tridimensional¹¹². La cirugía virtual, una revolución quirúrgica, podría ayudar a evitar riesgos. Algunas de sus múltiples ventajas son:

- Mayor precisión
- Posibilidad de operar virtualmente el mismo paciente infinitas veces.
- Simular diferentes enfoques y tipos de procedimientos.
- Comparar diferentes vectores y hardware en la distracción osteogénica.

- Evitar dañar las estructuras neurovasculares o los dientes.
- Reduce el tiempo operatorio y mejora la recuperación postoperatoria.
- Reduce las complicaciones y reintervenciones.
- Resultados más precisos y predecibles.

Sus principales desventajas son el coste del software y de la impresión 3D, el mayor tiempo en la planificación del procedimiento y preparación preoperatoria. Sin embargo, el coste tiende a reducirse y también el tiempo de planificación después de la curva de aprendizaje. Por otro lado, el tiempo operatorio y de hospitalización se reduce¹¹³.

La planificación prequirúrgica virtual puede complementarse con la navegación intraoperatoria¹¹². Al agregar imágenes de TC/RMN intraoperatorias, se puede verificar el resultado, aumentando aún más la precisión del procedimiento. Otra tecnología que se está iniciando es la realidad virtual y la realidad aumentada. Su uso en cirugía maxilofacial fue descrito en 1997 por Wagner¹¹⁴ con la finalidad de transferir puntos, líneas y planos de las cefalometrías, férulas e imágenes clínicas al paciente sometido a cirugía ortognática permitiendo visualizar simultáneamente datos virtuales sobre el paciente como la osteotomía planificada o la simulación de la colocación final de los fragmentos óseos intraoperatoriamente. El sistema utilizado por Wagner tenía una precisión de un mm y los propios autores recomendaban el uso de férulas para obtener una relación oclusal más precisa. En 2006 Mischkowski describió un sistema de realidad aumentada (X-Scope[®]) en colaboración con Brainlab[®] que permitía la visualización de la planificación y las estructuras anatómicas sobre un dispositivo portátil con una pantalla LCD. Lo utilizaron en 5 pacientes sometidos a cirugía ortognática para posicionar el maxilar durante la osteotomía de Le Fort I.



Figura 42: Dispositivo de realidad aumentada X-Scope[®] descrito por Mischkowski para cirugía ortognática¹¹⁵.

En 2014 Badiali describió un sistema de realidad aumentada más sofisticado, portátil y montado en la cabeza del cirujano que le permitía visualizar el entorno virtual al cirujano sobre el paciente. Lo aplicaron a la realización de una osteotomía de Le Fort I y obtuvieron un margen de error de $1.70 \pm 0.51\text{mm}$.

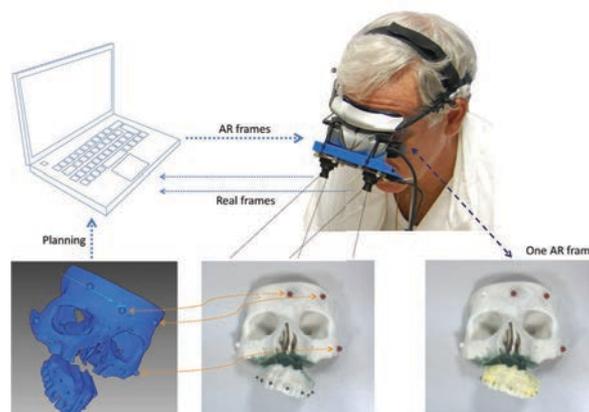


Figura 43: Sistema WARM descrito por Badiali et al¹¹⁶.

En una reciente revisión encontraron 101 artículos relacionados con la aplicación de la realidad virtual en cirugía oral y maxilofacial, de los cuales únicamente 4 trataban sobre la realidad aumentada¹¹⁷. Su aplicación actual consiste en proyectar en el paciente la imagen virtual tridimensional de las estructuras óseas como complemento durante procedimientos quirúrgicos como la perforación de agujeros o la fijación de tornillos de osteosíntesis con una precisión general dentro de 1mm. La realidad virtual mediante tecnología háptica permite al profesional tener un feedback táctil que es especialmente útil para el entrenamiento y aprendizaje. Existen varios softwares que permiten realizar en un entorno virtual procedimientos de cirugía oral e implantología.

Por tanto, actualmente su principal indicación es en el estudio preoperatorio ya que permite la inmersión dentro de la anatomía del paciente y visualizar desde múltiples planos la planificación preoperatoria. Permite añadir las distintas capas de la planificación pudiendo aumentar el tamaño de la anatomía en cada paso de la cirugía. Su uso intraoperatorio en cirugía ortognática es limitado actualmente dado que es difícil posicionar exactamente la planificación con el cráneo que no puede estar inmovilizado y con la mandíbula que no se puede bloquear. Los distintos estudios han mostrado una precisión de 1mm aproximadamente y han destacado la información que ha aportado al cirujano durante el procedimiento. En cirugía craneofacial se está utilizando esta tecnología, especialmente en craneosinostosis para guiar la localización de las osteotomías y posterior colocación de los fragmentos óseos. En los próximos años la realidad aumentada será una tecnología que se extenderá y su uso podría ser rutinario en algunos centros.

El estudio preoperatorio para realizar la planificación consiste en tomografía computarizada craneofacial, fotografías faciales e intraorales e impresiones dentales. Para aumentar la resolución de las superficies oclusales, se escanean los modelos dentales y se fusionan con la tomografía computarizada¹⁰⁴. Existen diferentes softwares en el mercado que pueden utilizarse en función de la

indicación del procedimiento. La cirugía virtual se trasfiere al quirófano con férulas quirúrgicas o guías de corte y de posicionamiento. En ciertas intervenciones es útil la impresión de modelos 3D para simular el procedimiento quirúrgico y la colocación de las guías de corte y el material de osteosíntesis o los distractores (Figura 44).



Figura 44: Izquierda modelo estereolitográfico a escala real, distractores maxilares, guías de corte y guías de posicionamiento. Derecha simulación de osteotomía Le Fort III en cráneo impreso en 3D.

1.11.2.1 Cirugía Ortognática

La planificación 3D y el uso de férulas CAD-CAM son un procedimiento rutinario en cirugía ortognática, gracias a sus múltiples ventajas. El software utilizado en nuestra institución es Dolphin 3D Surgery (Dolphin Imaging & Management Solutions. 9200 Eton Ave. Chatsworth, CA 91311 USA) que permite la simulación del procedimiento, el posicionamiento del maxilar y la mandíbula e imprimir férulas CAD-CAM¹⁰⁴ (Figuras 45 y 46).

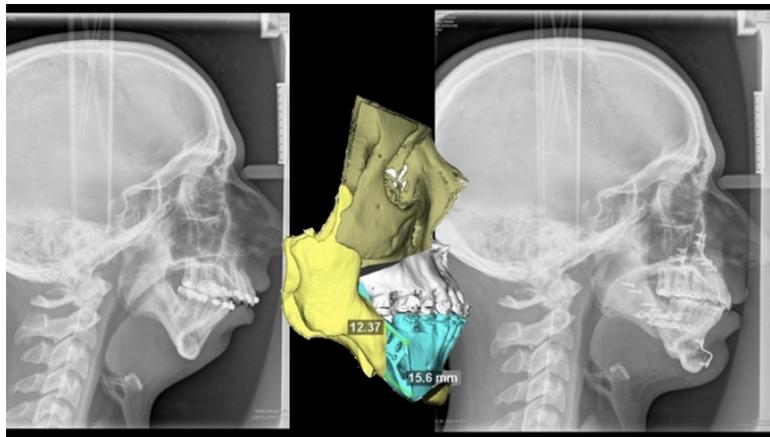


Figura 45: Izquierda teleradiografía lateral de cráneo preoperatoria, centro planificación quirúrgica virtual, derecha teleradiografía lateral de cráneo postoperatoria (figura propia).



Figura 46: Imágenes de perfil pre y postoperatorias de paciente sometido a cirugía ortognática bimaxilar y mentoplastia (figura propia).

Esta tecnología es especialmente relevante para la corrección de las asimetrías faciales porque analiza el plano transversal, que es una de las limitaciones de la cefalometría 2D. En cuanto a la orientación, el estudio 2D permite el análisis del pitch, pero no del roll ni el yaw¹⁰⁶. También permite verificar la necesidad de prótesis o injertos para lograr la simetría. Esto es especialmente importante en asimetrías graves, como la microsomía hemifacial.

1.11.2.2 Distracción osteogénica

Tal y como se ha comentado previamente la distracción es un procedimiento útil para alargar los huesos faciales. Se ha utilizado esta técnica en neonatos con secuencia de Pierre-Robin (micrognatia, glosoptosis y dificultad respiratoria¹¹⁸) y en niños mayores con microsomía hemifacial e hipoplasia maxilar o mandibular severa que no puede corregirse con cirugía ortognática.

En los recién nacidos se ha utilizado dos distractores externos unidireccionales Molina (KLS-Martin. Ludwigstaler Str. 132. D-78532 Tuttlingen, Alemania) con dos agujas Kirschner. Las osteotomías se realizan mediante un abordaje intraoral utilizando un bisturí piezoeléctrico (VarioSurg3, NSK. Nakanishi Inc. Japón). En estos casos, la planificación virtual es especialmente importante para determinar la localización de la osteotomía y la posición de las agujas, preservando los gérmenes dentales, así como para predecir la posición de la mandíbula que aumentará el tamaño de la vía aérea superior para corregir la apnea obstructiva severa de estos pacientes (Figura 47). No se utilizan férulas quirúrgicas ni guías de posicionamiento en estos pacientes, ya que no hay dientes para fijarlas.

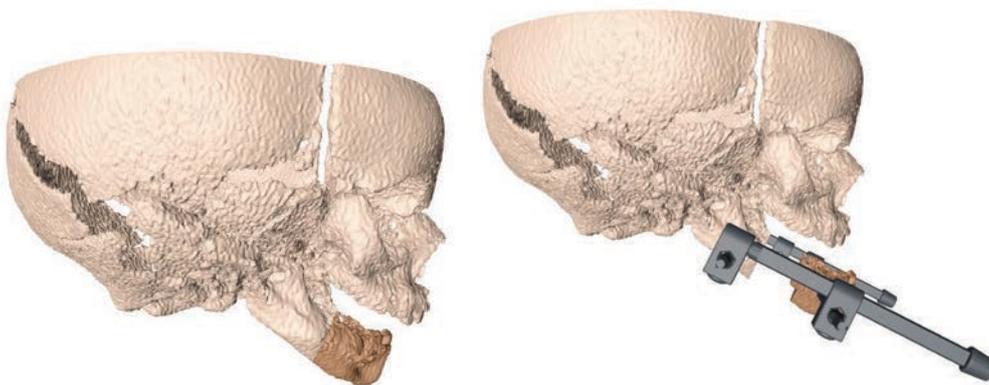


Figura 47: Simulación virtual de distracción osteogénica mediante distractores externos en un paciente neonato con secuencia de Pierre Robin (figura propia).

En estos pacientes se han utilizado los softwares Siplant® O&O, Timeus y Meshmixer para planificar las osteotomías y reposicionar los huesos. Permite estudiar la anatomía, distorsionada en la mayoría de los pacientes, y elegir la mejor osteotomía evitando el daño de las estructuras neurovasculares (nervio alveolar inferior), dientes y gérmenes.

Debido a las secuelas de las cirugías de los pacientes con fisura labiopalatina se puede producir una hipoplasia maxilar, especialmente en casos bilaterales, que habitualmente se trata con cirugía ortognática. Cuando la discrepancia sagital es superior a 10-12 mm, es difícil avanzar el maxilar en un solo tiempo, debido a la gran discrepancia y a la limitación del movimiento debido a la fibrosis de los tejidos blandos cicatrizados. En caso de una hipoplasia maxilar tan grave, se han utilizado los distractores maxilares internos de Zurich (KLS-Martin. Ludwigstaler Str. 132. D-78532 Tuttlingen, Alemania) que permiten un avance del maxilar de hasta 20 mm.

En estos casos, y en la distracción mandibular para la microsomía hemifacial, el software que se ha utilizado es Timeus (Laboratorio Ortosan, Madrid, España), que agrega la posibilidad de crear guías de corte y posicionamiento en 3D para transferir la planificación virtual al quirófano. Esto es especialmente importante para planificar la posición deseada del maxilar y el vector de movimiento. Es posible probar diferentes tipos de distractores y elegir el más indicado para cada paciente. Este software también es útil para corregir pacientes asimétricos colocando los distractores de manera diferente para desplazar más en un lado y centrar la línea media.

Para conseguir el resultado planificado se imprimen en 3D las guías de corte para la osteotomía Le Fort I y las guías de posicionamiento para colocar los distractores.

1.11.2.3 Osteotomía de premaxila

La osteotomía de premaxila se realiza solo en un grupo seleccionado de pacientes con fisura labiopalatina bilateral completa que tienen una posición anormal de la premaxila que no puede corregirse ortopédicamente porque ha crecido excesivamente o porque los incisivos superiores tienen un torque negativo y están retroinclinados¹¹⁹.

La planificación consiste en el estudio de las impresiones dentales, fotografías intraorales y faciales, tomografía computarizada. Con esta información se realiza el posicionamiento virtual de la premaxila en la localización correcta, que se transfiere a una férula acrílica quirúrgica.

La planificación 3D también es muy útil en estos casos para decidir el mejor abordaje (intraoral o endonasal¹²⁰) y el diseño de la osteotomía. También proporciona información sobre posibles interferencias y la necesidad de una segunda osteotomía para lograr el torque y la posición deseados de la premaxila (Figura 48).

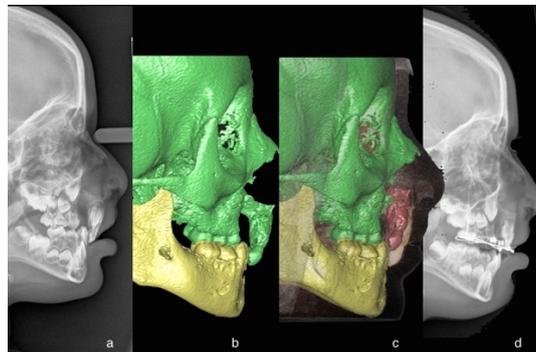


Figura 48: Izquierda teleradiografía lateral de cráneo preoperatoria, centro planificación virtual de osteotomía de premaxila, derecha teleradiografía lateral de cráneo postoperatoria (figura propia).

1.11.2.4 Rinoplastia

Los casos graves de asimetría del hueso nasal se pueden planificar virtualmente mediante osteotomías simples o dobles y simular la movilización de los huesos

para lograr el mejor resultado posible. El software que utilizamos es Simplant® O&O (Materialise Dental/Dentsply Implants, Mölndal, Suecia) o Meshmixer. Aunque no es posible predecir la respuesta de los tejidos blandos, la planificación 3D muestra la mejor manera de realizar las osteotomías nasales y la septoplastia (Figura 49).

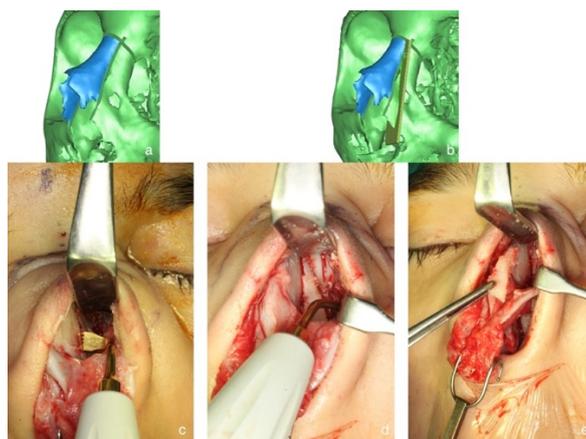


Figura 49: Arriba planificación virtual de osteotomías para la corrección de una deformidad nasal. Abajo rinoplastia ultrasónica según la planificación 3D (figura propia).

1.11.2.5 Cirugía Craneofacial

Las malformaciones craneofaciales complejas y las craniosinostosis se pueden tratar con éxito con esta técnica. La simulación del resultado final y la impresión de las guías de corte y posicionamiento son excelentes ayudas para lograr un resultado bueno y consistente. De esta manera se reduce el margen de error y se evita el hecho del “arte” del cirujano ya que, si se ha cometido un error, este ha sido realizado en la fase de planificación virtual y el día de la intervención únicamente hay que posicionar los distintos fragmentos según la planificación previa. La cirugía planificada puede basarse en guías antropométricas cuantitativas, mediante la superposición del lado normal o con la realización de una imagen especular del lado sano¹²¹. El tiempo operatorio y el sangrado se reducen, lo cual es especialmente

importante en pacientes jóvenes, ya que permite una mejor recuperación con un período de hospitalización más corto.

El software utilizado en las osteotomías de Le Fort III ha sido Timeus (Laboratorio Ortosan, Madrid, España) y los modelos 3D han sido muy útiles para simular los diferentes pasos del procedimiento quirúrgico. En las craneosinostosis se han utilizado dos softwares diferentes: 3-matic (Materialise, Technologielaan 15, 3001 Leuven, Bélgica) para el diseño y la planificación, y Mimics (Materialise, Technologielaan 15, 3001 Leuven, Bélgica) para la segmentación de los cráneos. Las guías de corte y posicionamiento también se han utilizado para reposicionar los huesos a fin de normalizar la anatomía del cráneo (Figura 50).

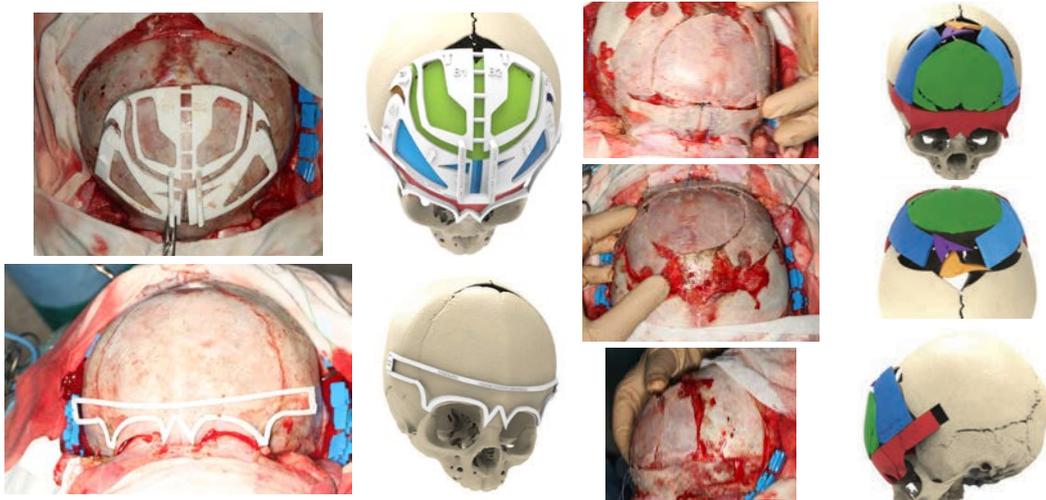


Figura 50: Planificación virtual e imágenes intraoperatorias de la corrección de una craneosinostosis (figura propia).

1.11.2.6 Tejidos blandos

El comportamiento de los tejidos blandos después de un movimiento óseo es muy impredecible debido a sus diferentes componentes y estado, por lo que la simulación no es un buen predictor del resultado del tejido blando. Dependiendo

de la piel, tejido adiposo o músculo, la respuesta puede ser diferente en cada paciente; la dinámica y mímica de la cara del paciente también influyen.

Para este propósito, se han utilizado los softwares Simplant® O&O y Dolphin 3D, así como el simulador 3D de cirugía plástica Crisalix (Lausanne, 1015. Suiza). Se pueden realizar simulaciones de rinoplastia y genioplastia, así como cirugía estética y labial, entre otros. Este software comercial se enfoca en mostrar los posibles resultados del paciente, como Photoshop 3D. Puede ser muy útil para mejorar la comunicación entre el cirujano y el paciente y mostrarle al paciente lo que se puede esperar, pero no hay forma de transferir la simulación al quirófano.

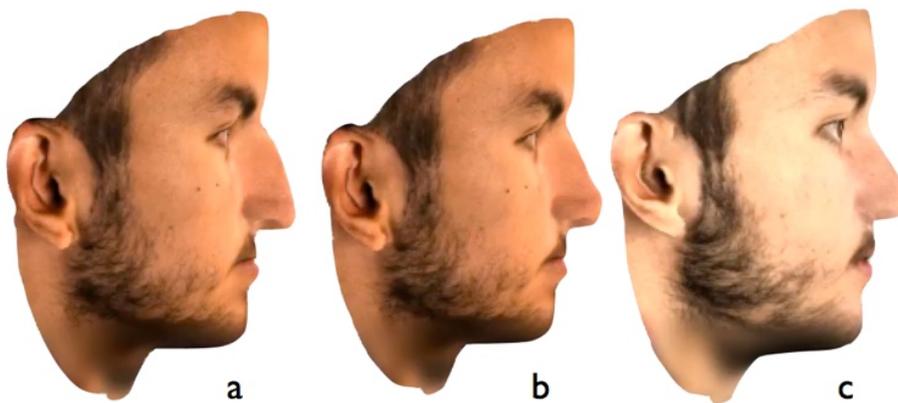


Figura 51: A Fotografía 360 preoperatoria. B Simulación quirúrgica mediante software Crisalix. C Resultado postoperatorio (figura propia).

2 DISEÑO DEL ESTUDIO

2 DISEÑO DEL ESTUDIO

2.1 SUJETOS DEL ESTUDIO

Los pacientes tributarios a entrar en el estudio se han clasificado en función de la patología a nivel del tercio facial:

- Tercio superior: Pacientes con antecedente de craneosinostosis e hipoplasia severa de tercio medio facial secundaria a síndrome de Crouzon, Apert o Pfeiffer que precisen distracción facial para tratamiento de apnea obstructiva del sueño, patología ocular, intracraneal o funcional.
- Tercio medio: Pacientes con antecedente de fisura labiopalatina (uni o bilateral) que hayan realizado tratamiento ortodóncico prequirúrgico para alinear y nivelar las arcadas con hipoplasia maxilar severa no tributaria de cirugía ortognática y que precisen un avance maxilar superior a 13mm para corregir la deformidad dentofacial.
- Tercio inferior: Pacientes afectados de secuencia Pierre-Robin que presenten apnea obstructiva del sueño severa que no haya respondido a medidas conservadoras, posturales, ventilación no invasiva, ventilación invasiva ni CPAP. Pacientes afectados de microsomía hemifacial por síndrome de Goldenhar, síndrome de Treacher Collins u otra patología asociada a hipoplasia mandibular severa que precise distracción osteogénica uni o bilateral.

2.2 RECOGIDA DE DATOS

De acuerdo con la Ley 15/199 de Protección de Datos de Carácter Personal, los datos personales que se han obtenido son los necesarios para cubrir los fines del estudio. En ninguno de los informes del estudio aparece su nombre, y su identidad no ha sido revelada a ninguna persona excepto para cumplir con los fines del estudio, y en el caso de urgencia médica o requerimiento legal.

Los datos personales utilizados han sido el nombre y apellidos, el número de historia clínica, sexo y la edad.

Los pacientes y sus padres han autorizado la realización de fotografías y su utilización para el presente estudio, ponencias y artículos científicos.

Los monitores del estudio, así como las autoridades sanitarias han tenido acceso a la historia clínica del participante en cualquier momento si lo hubieran encontrado necesario. Así como los pacientes han tenido derecho al acceso, rectificación o cancelación de sus datos. En el caso de que fuera solicitada información para otros centros o países, ésta hubiera sido transferida en su caso.

Una vez se alcanzó el número de pacientes necesarios para el estudio se realizó la recogida de datos, el análisis estadístico de los mismos y la obtención de conclusiones.

2.3 PLAN DE TRABAJO

La planificación de las cirugías se ha realizado mediante el análisis de las fotografías faciales e intraorales, TAC craneofacial e impresiones dentales (estas últimas cuando han estado indicadas). El software utilizado ha sido Timeus y Meshmixer que permiten la realización de la cirugía virtual, así como el diseño de guías de corte y posicionamiento que han sido impresas en 3D para transferir la información al quirófano. Se ha realizado una TAC de control al finalizar la

distracción y tras el período de consolidación ósea y se ha realizado un estudio comparativo de las superficies óseas conjuntamente con la Unidad de Planificación e Impresión 3D del Hospital Sant Joan de Déu (3D4H) para analizar la fiabilidad y precisión de la planificación virtual.

Las cirugías han sido realizadas en el Hospital Sant Joan de Déu y se han planificado conjuntamente con el Servicio de Ortodoncia en los casos que requirieran un estudio cefalométrico y de análisis de las arcadas para definir la oclusión postoperatoria. La planificación virtual se ha realizado por el Laboratorio Ortosán (Madrid) en las distracciones de tercio superior y medio, y por la Unidad 3D4H del Hospital Sant Joan de Déu en las distracciones mandibulares.

En las cirugías de tercio superior (osteotomía de Le Fort III) también se ha incluido una paciente tratada en el Hospital Universitario de Amberes (Hospital que tiene un convenio internacional a nivel de cirugía maxilofacial con Sant Joan de Déu) para unificar protocolos y casuística dada la baja incidencia de esta patología.

2.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

- Dadas las características del estudio y a la baja incidencia de estas patologías la mayor limitación es el tamaño de la muestra.
- Otra limitación es la ausencia de grupo control debido a que la alternativa es realizar la cirugía sin guías y se considera que éticamente no está justificado no aplicar la tecnología que ha demostrado su fiabilidad en otras áreas de la cirugía maxilofacial.

2.5 EXPERIENCIA PREVIA DEL EQUIPO INVESTIGADOR SOBRE EL TEMA

En los últimos 5 años hemos publicado 3 artículos sobre el uso de la planificación 3D en cirugía maxilofacial y realizado 10 ponencias sobre tecnología 3D en congresos nacionales e internacionales en los que se han descrito nuevas indicaciones de la cirugía virtual a nivel craneomaxilofacial.

Uno de los principios del Hospital Sant Joan de Déu es la innovación y desde hace varios años distintos servicios como Traumatología, Neurocirugía, Cirugía oncológica abdominal, Cirugía Cardíaca o Cirugía Fetal hacen uso de la tecnología 3D para el tratamiento de pacientes pediátricos. Esto ha sido realizado mediante empresas colaboradoras externas o directamente desde el hospital que dispone de ingenieros e impresoras 3D. La presencia de un servicio de Innovación in-house permite el desarrollo de nuevas tecnologías de una manera más ágil y fluida.

2.6 APLICABILIDAD DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO / APORTACIONES PREVISTAS

Dadas las características del estudio la aplicabilidad de los resultados es directa a los pacientes tratados, que son los principales beneficiados de una tecnología que se está estableciendo como el gold standard en algunas intervenciones.

La principal aportación es la confección de nuevos diseños de guías quirúrgicas y la extensión de esta tecnología a otras cirugías para mejorar los resultados, aumentar la precisión y reducir la morbilidad.

2.7 MARCO ESTRATÉGICO

La planificación virtual es una herramienta rutinaria en algunas intervenciones como la cirugía guiada en implantología o la confección de férulas quirúrgicas en ortognática.

Inicialmente se trataba de una técnica con un elevado coste que precisaba un elevado conocimiento y con un proceso lento de fabricación. En la última década se han creado más softwares e impresoras 3D de uso doméstico que han favorecido la extensión entre los profesionales y consecuentemente a los pacientes.

Los principales beneficios son el aumento de la precisión quirúrgica, reducción de la morbilidad operatoria, reducción de complicaciones y reducción del tiempo operatorio. Estas ventajas producen un ahorro que compensa el sobrecoste inicial de la tecnología.

Por lo tanto, en los próximos años creemos que se extenderá esta tecnología a otras especialidades médicas siendo un procedimiento rutinario que mejorará los resultados y aumentará la seguridad del paciente.

3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El uso de férulas, guías de corte y de posicionamiento facilita la intervención, reduce el tiempo operatorio y aumenta la precisión. No obstante, no se ha analizado de manera objetiva la precisión de los resultados que justifique su uso, así como el incremento del coste y tiempo preoperatorio requerido.

La evolución de la medicina es sobrepasar el concepto de “medicina basada en la evidencia” hacia el de “medicina centrada en el paciente” mediante la aplicación de la tecnología más novedosa y científicamente validada para la realización de tratamientos personalizados a cada paciente aumentando la seguridad y la calidad asistencial.

Mediante este estudio se ha pretendido analizar la precisión de las guías quirúrgicas utilizadas para obtener los resultados planificados y tener una evidencia científica que justifique su utilización sistemática en la distracción facial y de los maxilares en pacientes con malformaciones craneofaciales.

4 HIPÓTESIS

4 HIPÓTESIS

H1: La planificación 3D proporciona una alta precisión en el tratamiento quirúrgico de las malformaciones craneomaxilofaciales con distracción osteogénica.

H0: La planificación 3D no proporciona una alta precisión en el tratamiento quirúrgico de las malformaciones craneomaxilofaciales con distracción osteogénica.

5 OBJETIVOS

5 OBJETIVOS

Objetivo Principal:

Validar el uso de la planificación 3D en las osteotomías faciales y posterior distracción osteogénica de los pacientes con fisura labiopalatina o síndromes craneofaciales intervenidos en el Hospital Sant Joan de Déu de Barcelona.

Objetivos secundarios:

1. Desarrollar nuevos diseños de guías de corte y de posicionamiento de los distractores y analizar la precisión de las mismas.
2. Analizar la precisión de la posición final de los maxilares respecto a la planificación virtual.
3. Estandarizar los procedimientos quirúrgicos de distracción craneofacial.

6 MATERIAL Y MÉTODO

6 MATERIAL Y MÉTODO

A continuación, se describe la metodología empleada en cada uno de los tres subestudios.

6.1 DISTRACCIÓN FACIAL

6.1.1 Población del estudio. Criterios de inclusión

Se inició un estudio prospectivo que incluyó a todos los pacientes (n: 5) que se sometieron a una osteotomía de Le Fort III con posterior distracción osteogénica para la corrección de la hipoplasia sindrómica del tercio medio facial desde abril de 2017 a junio de 2019 en el Hospital Sant Joan de Déu (Barcelona) y en el Hospital Universitario de Amberes (Bélgica). Los pacientes firmaron el consentimiento informado para participar en el estudio, siguiendo los principios de la Declaración de Helsinki y el estudio fue aprobado por el Comité de Ética.

6.1.2 Población del estudio. Criterios de exclusión

- Pacientes intervenidos de otros procedimientos de cirugía craneofacial.
- Pacientes sindrómicos no planificados en 3D.

6.1.3 Planificación virtual de la osteotomía le Fort III y vector de distracción

Sobre la base de la TC preoperatoria se realizó una planificación virtual para cada paciente que incluyó el diseño de las osteotomías y el vector de distracción. La planificación quirúrgica asistida por CAD/CAM se realizó con el software Timeus (Laboratorio Ortosan, Madrid, España) en conjunto con Osteoplac® (Donostia-San Sebastián, España).

6.1.4 Planificación estandarizada de la osteotomía Le Fort III

Con el fin de simplificar el flujo de trabajo digital, reducir la carga de trabajo para el equipo de planificación preoperatoria y reducir el número de seminarios web prequirúrgicos que consumen mucho tiempo, teníamos la intención de estandarizar todas las osteotomías de Le Fort III. Además, la estandarización ayudaría a evitar las dificultades quirúrgicas comunes y posiblemente conduciría a una reducción en la tasa de complicaciones.

1. Sutura frontocigomática

La región superolateral de la osteotomía está determinada por el punto lateral más retruído del borde orbitario, cuando el paciente está orientado según el plano de Frankfurt. La osteotomía horizontal en este sitio, de aproximadamente 1cm, es paralela al vector de distracción para minimizar el defecto en el aspecto superolateral de la órbita al final de la distracción (Figura 52A).

2. Pared orbitaria lateral

Se determina la fisura orbitaria inferior. La osteotomía de la pared orbitaria lateral tiene como objetivo terminar en la parte anterior de la fisura orbitaria inferior (Figura 52B).

3. Unión pterigomaxilar

La línea de osteotomía ideal de la apófisis pterigoides en la unión pterigomaxilar es posterior a los gérmenes dentales y, si es posible, en la prolongación de la osteotomía de la pared orbitaria lateral. Esto permitirá que la guía de corte para la pared orbitaria lateral sirva simultáneamente como guía para la osteotomía de la unión pterigomaxilar (Figura 52C).

4. Pared orbitaria medial

La osteotomía de la pared orbitaria medial debe evitar la región cantal medial en el saco lagrimal (Figura 52D).

5. Hueso nasal y tabique

La osteotomía del septo nasal se inicia desde la parte más superior de los huesos propios nasales hacia un punto 5 mm por encima de la espina nasal posterior, manteniendo una distancia de seguridad de las placas cribiformes.

Debido a la anomalía craneofacial, la base craneal anterior puede ser corta y posiblemente abultada inferiormente en estos pacientes, pudiéndose producir una lesión en la base de cráneo anterior al realizar esta osteotomía. Se determina la longitud exacta de la osteotomía (Figura 52E).

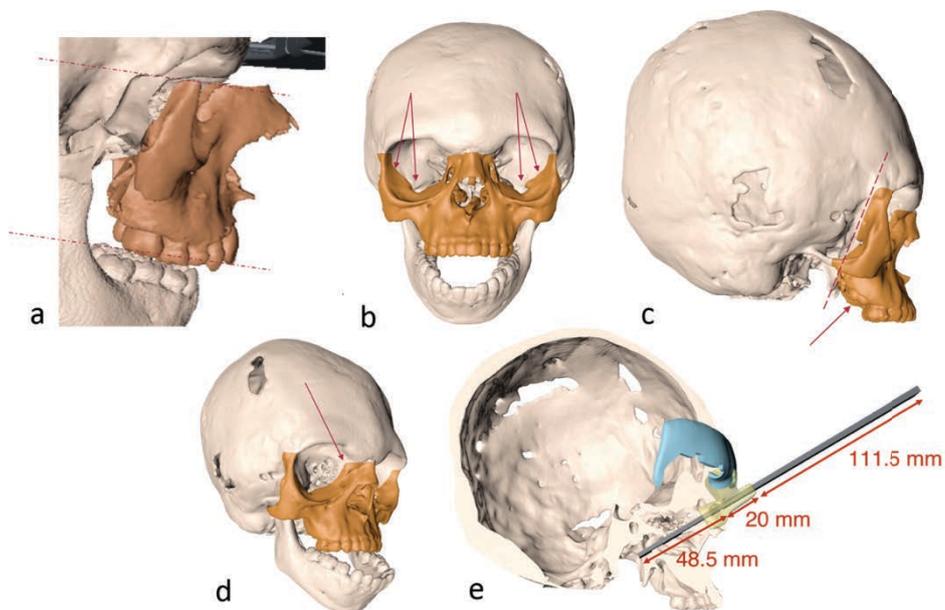


Figura 52: Detalles de la estandarización de la osteotomía de Le Fort III a nivel de la sutura frontocigomática (a), la pared orbitaria lateral (b), la unión pterigomaxilar (c), la pared orbitaria medial (d) y el hueso nasal y el tabique (e) (figura propia).

6.1.5 Diseño de las guías de corte

Diseñar guías de corte para procedimientos orbitarios puede ser difícil debido a la forma ovalada de la órbita. Esto complica el posicionamiento estable de la guía. Por lo tanto, se diseñó una barra de referencia supraorbitaria impresa en 3D. La posición supraorbitaria garantiza la estabilidad y mejora la precisión debido al amplio contacto con la superficie ósea. La guía se fija temporalmente con seis tornillos de osteosíntesis autoperforantes de 1.5 mm (KLS Martin, Tuttlingen, Alemania) con profundidad estudiada previamente de acuerdo con la anatomía frontotemporal del paciente. Todas las demás guías de corte se conectan a esta barra de referencia con conexiones tipo puzle e indican los cortes planificados de la osteotomía orbitaria, nasal, septal y pterigoidea (Figura 53 A y B). Todas las guías están impresas en plástico MultiJet transparente (VisiJet M3 Crystal, 3D Systems, South Carolina, USA) y también se pueden fijar con tornillos autoperforantes de 1.5mm (Figura 54), si es necesario.

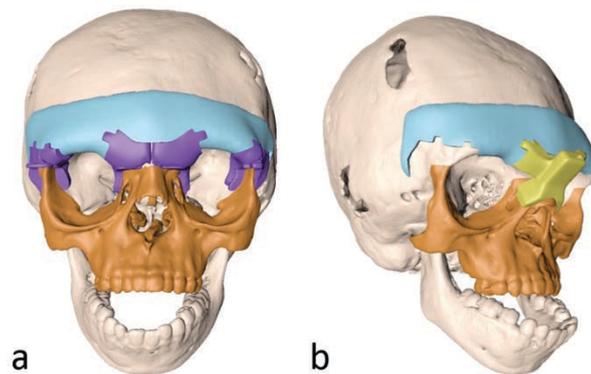


Figura 53: Todas las guías de corte se conectan a una barra de referencia supraorbitaria con conexiones en puzle e indican los cortes orbitarios, nasales, septales y pterigomaxilares planificados (figura propia).

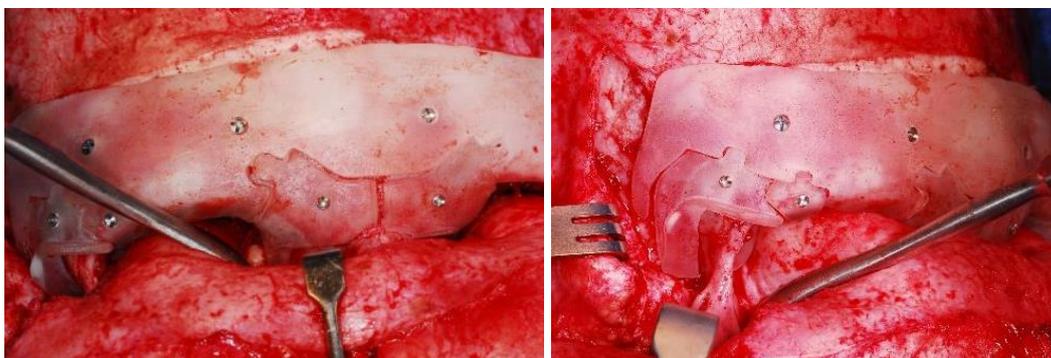


Figura 54: Imagen intraoperatoria del posicionamiento de las guías, impresa en plástico Multijet transparente. Las guías se fijan con tornillos autoperforantes de 1,5mm (figura propia).

6.1.6 Transferencia del vector planificado de distracción

Con el fin de garantizar una posición correcta del distractor externo (Rigid External Distractor RED II, KLS Martin, Tuttlingen, Alemania) y para transferir el vector planificado de distracción, se han diseñado diferentes métodos de transferencia.

1. El método Face-bow (arco facial)

Una estructura de trípode diseñada en 4 componentes: una parte horizontal que abarca la parte horizontal del marco RED, un soporte de apoyo en la glabella y el dorso nasal, y 2 brazos verticales con extensión en el conducto auditivo externo de cada oreja (Figuras 55 y 56).

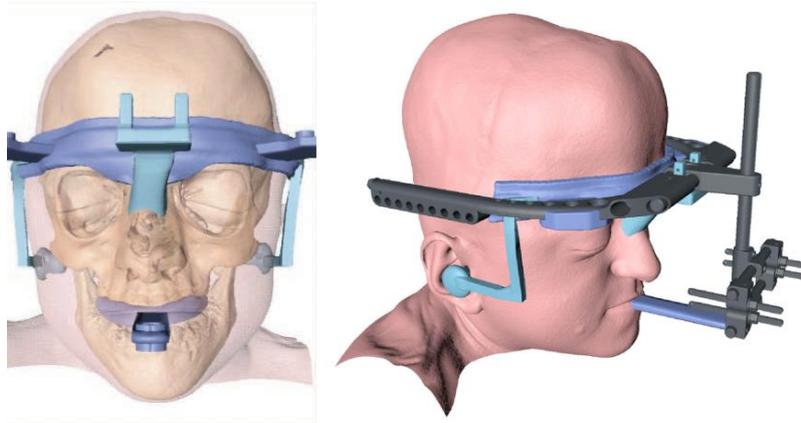


Figura 55: Para asegurar una posición correcta del distractor externo y transferir el vector planificado de distracción, se han diseñado diferentes métodos de transferencia. En esta figura se muestra el método Face-bow en combinación con una guía oclusal (figura propia).



Figura 56: Colocación de distractor RED según el método Face-bow (figura propia).

2. Guía oclusal

Una guía oclusal con soporte en la dentición maxilar impresa en 3D. En pacientes con traqueotomía, la guía también puede incluir la dentición mandibular. Una extensión indica el vector planificado de distracción. En la parte más anterior de la extensión, un agujero, que se ajusta a la parte vertical del RED, indica el posicionamiento tridimensional correcto del RED (Figura 57).



Figura 57: Colocación del distractor RED con la guía oclusal combinada con el método Face-bow (figura propia).

3. Placas específicas para el paciente

En un paciente, debido a la presencia de grandes defectos bilaterales del hueso parietal, se desarrollaron placas de titanio específicas para el paciente en conjunto con KLS Martin (Tuttlingen, Alemania). Por lo tanto, se utilizó una versión más reciente del distractor RED. Las guías quirúrgicas que se interconectaban con la barra de referencia supraorbitaria se utilizaron para colocar las placas específicas del paciente. La posición de las placas determina la posición posterior del RED y el vector planificado (Figura 58).



Figura 58: Colocación de guías de posicionamiento de placas específicas por paciente (figura propia).

6.1.7 Procedimiento: Osteotomía de Le Fort III

En todos los casos, la osteotomía de Le Fort III se realiza a través de un abordaje coronal (Cairns Unterberger). Las osteotomías óseas orbitarias y nasales se realizan con un bisturí piezoeléctrico (VarioSurg3; NSK-Nakanishi Inc, Tochigi, Japón). La parte superior de la osteotomía pterigomaxilar se realiza a través del abordaje coronal con un osteotomo recto de 8 mm. La parte inferior de la osteotomía pterigomaxilar se realiza con un osteotomo Kawamoto de 10 mm a través de una incisión retromolar intraoral. Para realizar la osteotomía del tabique nasal, un osteotomo recto de 6 mm marcado con un Steri-Strip™ (3M™, Minnesota, USA) a una distancia predeterminada. Esta distancia es la suma de la longitud de la osteotomía del tabique (como se indica en la Figura 52E e ilustrada en la Figura 59) y la altura de la guía quirúrgica. Los alambres de tracción se colocan a cada lado de la espina nasal anterior en la apertura nasal. Una miniplaca de tracción recta con un tornillo roscado de fijación central de 15 o 21 mm (KLS Martin, Tuttlingen, Alemania) se coloca bilateralmente en el cuerpo de cada hueso malar y se conecta con un alambre de tracción al marco RED.



Figura 59: Para realizar la osteotomía del tabique nasal, un osteotomo recto de 6 mm está marcado con un Steri-Strip™ (3M™, Minnesota, EE. UU.) a una distancia predeterminada (figura propia).

6.1.8 Precisión de las guías

Un modelo 3D de la superficie renderizada del cráneo se obtiene mediante la planificación virtual y la tomografía computarizada tomada al final de la distracción. Debido al espacio formado entre el tercio medio facial distraído y el resto del cráneo, el tercio medio facial se puede quitar fácilmente. De esta manera se obtiene una visión clara de las osteotomías. Estos modelos 3D renderizados en superficie se comparan inicialmente con la superficie mediante la coincidencia de 3 puntos. Se realiza un mejor ajuste local para reducir aún más las distancias entre los 2 modelos 3D renderizados en superficie. El software GOM Inspect (GOM GmbH, Braunschweig, Alemania) se utiliza para la coincidencia de superficies y el análisis de los conjuntos 3D.

Las osteotomías orbitarias laterales y mediales, las osteotomías pterigomaxilares y las osteotomías del tabique nasal se analizan por separado seleccionando un área idéntica en las superficies registradas. La selección es tipo haz para las osteotomías laterales y pterigomaxilares. El haz está orientado paralelo a la dirección de la osteotomía e incluye la superficie de la osteotomía (Figura 60A). Para el análisis de la región orbitaria medial, el hueso nasal y el tabique nasal, se prefiere un área de selección esférica (Figura 60B). La selección esférica se limita a la región de la columna nasal posterior para el análisis de la precisión de la osteotomía septal. Se calculan las distancias perpendiculares de cada punto poligonal del modelo 3D final a los datos planificados. El software muestra la desviación en una escala de colores en una copia del modelo tridimensional postoperatorio.

El análisis de desviación dará la desviación máxima y mínima, así como el valor medio y su desviación estándar. Además, los resultados se pueden agrupar más para que se pueda obtener un histograma para el % o área que representa una desviación en ubicaciones específicas.

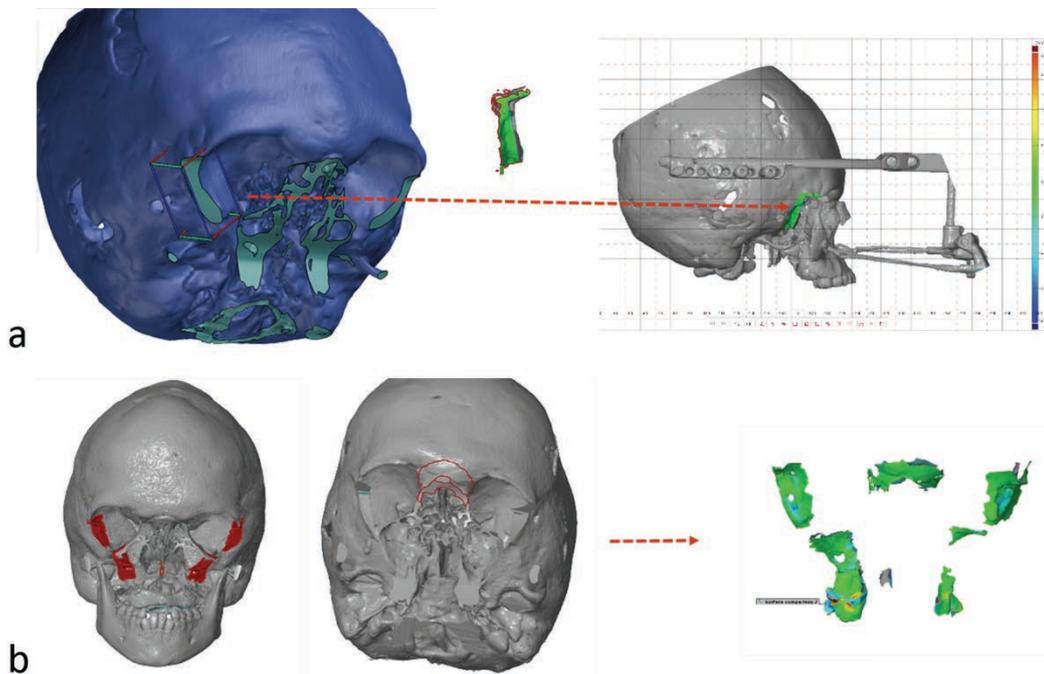


Figura 60: Todas las osteotomías se analizan por separado seleccionando un área idéntica en las superficies registradas. La selección es similar a un haz para las osteotomías laterales y pterigomaxilar. El haz está orientado paralelo a la dirección de la osteotomía e incluye la superficie de osteotomía (a). Para el análisis de la región orbitaria medial, el hueso nasal y el tabique nasal, se prefiere un área de selección esférica (b) (figura propia).

6.2 DISTRACCIÓN MAXILAR

6.2.1 Entorno del estudio

Once pacientes consecutivos con fisura labiopalatina de 16 a 18 años con hipoplasia maxilar severa (2 mujeres y 9 hombres; 4 bilaterales y 7 unilaterales) se sometieron a distracción maxilar con distractores internos entre mayo de 2015 y marzo de 2020. Los pacientes fueron tratados en un solo hospital (Hospital Sant Joan de Déu Barcelona) por el mismo cirujano y equipo de ortodoncia.

6.2.2 Criterios de inclusión

1. Pacientes con fisura labiopalatina mayores de 16 años a los que se les hubiera realizado un injerto óseo alveolar (cresta ilíaca) y tratamiento de ortodoncia preoperatorio.
2. Hipoplasia maxilar que requiriera un avance mayor de 13mm.
3. Distracción osteogénica realizada con distractores internos.

6.2.3 Criterios de exclusión

1. Pacientes sin fisura labiopalatina
2. Pacientes menores de 16 años
3. Pacientes que no tuvieran un injerto alveolar (de cresta ilíaca) ni tratamiento de ortodoncia preoperatorio.
4. Hipoplasia maxilar que requiriera un avance menor de 13mm.
5. Distracción osteogénica realizada con distractores externos

Los pacientes firmaron el consentimiento informado antes de participar en el estudio, siguiendo los principios de la Declaración de Helsinki. Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Católica de Murcia y del Hospital Sant Joan de Déu.

6.2.4 Planificación quirúrgica

La planificación quirúrgica se realizó mediante fotografías intraorales y faciales, modelos dentales escaneados y tomografía computarizada craneofacial. Se utilizó el software Timeus para la planificación quirúrgica virtual y el diseño de las guías de corte y posicionamiento (Laboratorio Ortosan, Madrid, España). La planificación 3D se estandarizó mediante los siguientes pasos:

1. Posicionamiento natural de la cabeza según el plano de Frankfurt.
2. Posicionamiento de la mandíbula y rotación en sentido horario si era necesario (Figura 61).

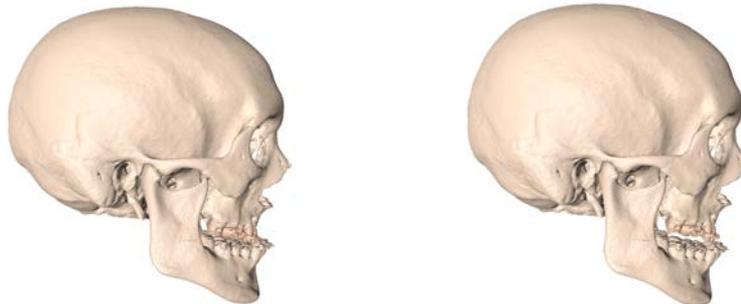


Figura 61: Posicionamiento de la mandíbula (figura propia).

3. Diseño de la osteotomía Le Fort I de acuerdo con la anatomía del paciente, considerando la densidad ósea y las raíces dentales (Figura 62).

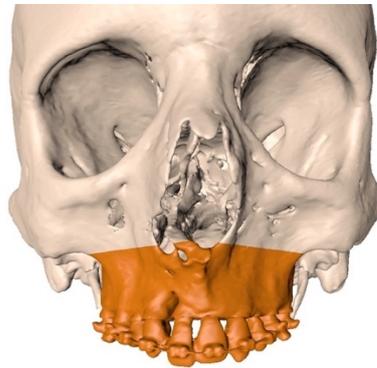


Figura 62: Diseño de la osteotomía de Le Fort I (figura propia).

4. Movilización del maxilar (roll, pitch y yaw) hasta la posición deseada (Figura 63).

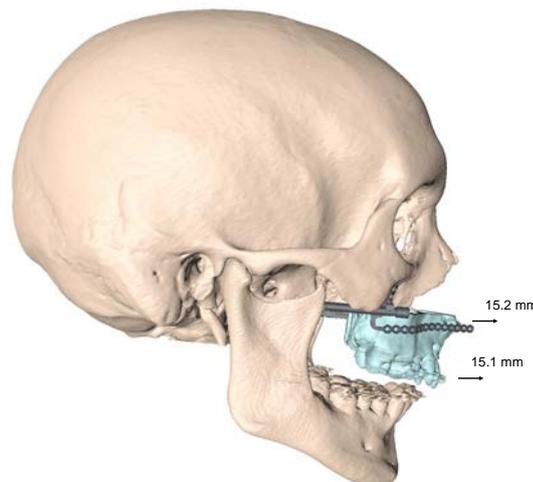


Figura 63: Planificación de la posición del maxilar (figura propia).

5. Cálculo del vector de movimiento y medición tridimensional de los movimientos del maxilar.
6. Elección y colocación del distractor utilizando el archivo STL (Distractor maxilar tipo Zurich, KLS Martin, Tuttlingen, Alemania) (Figura 64).

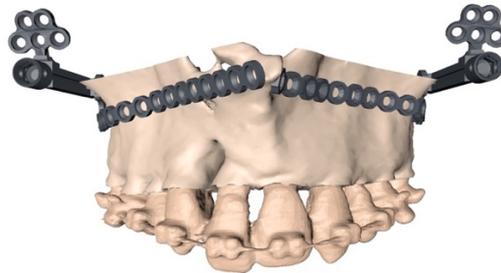


Figura 64: Elección y personalización del distractor según la anatomía del paciente (figura propia).

7. Diseño de un raíl debajo del malar para estabilizar el distractor (Figura 65).

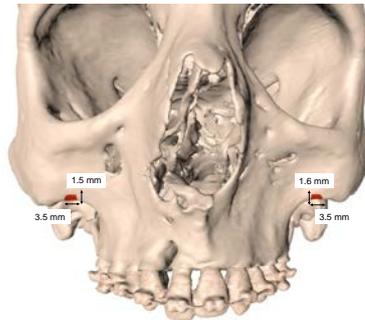


Figura 65: Diseño del raíl en el malar para la estabilización del distractor (figura propia).

8. Medición del grosor del hueso en cada lugar de los tornillos, para evitar dañar las raíces dentales (Figuras 66 y 67).

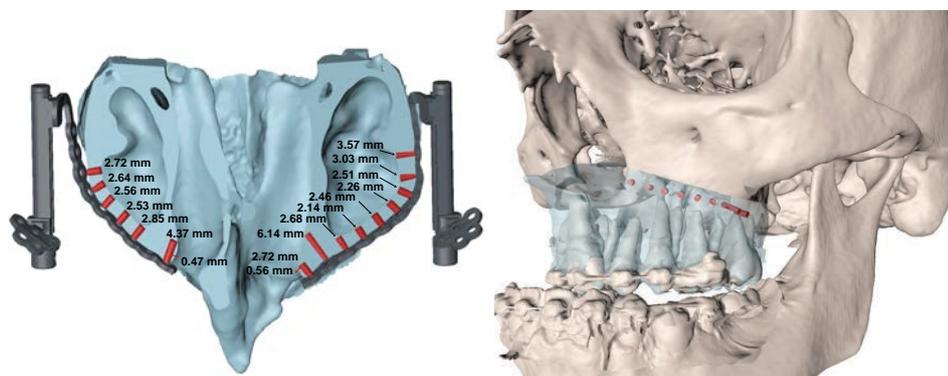


Figura 66: Medición de la profundidad de cada tornillo de osteosíntesis (figura propia).

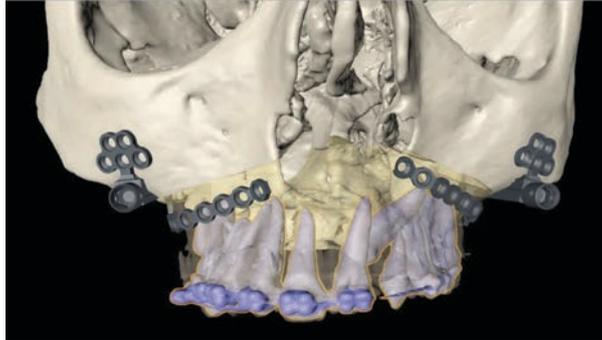


Figura 67: Diseño de la posición de los distractores evitando las raíces dentales (figura propia).

9. Diseño de las guías de corte para la osteotomía de Le Fort I.
10. Diseño de las guías de posicionamiento de los distractores (Figura 68).

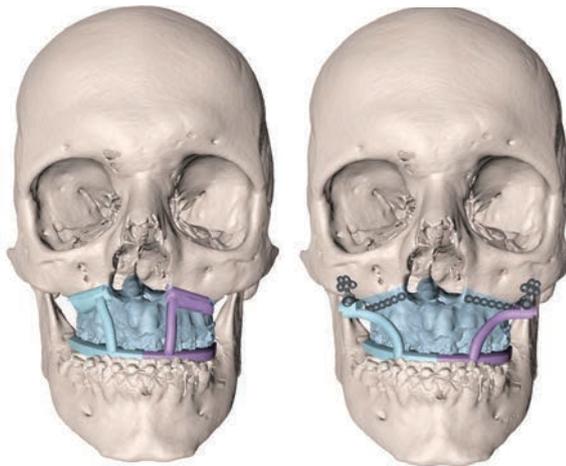


Figura 68: Diseño de las guías de corte y posicionamiento de anclaje dental. Izquierda: Guías de corte en dos piezas. Osteotomía Le Fort I en azul. Derecha: Posicionamiento y guías de vector con distractores adaptados a la anatomía del paciente (figura propia).

11. Impresión 3D de las guías y del maxilar del paciente a escala real, en la que adaptar los distractores (Figuras 69-71).

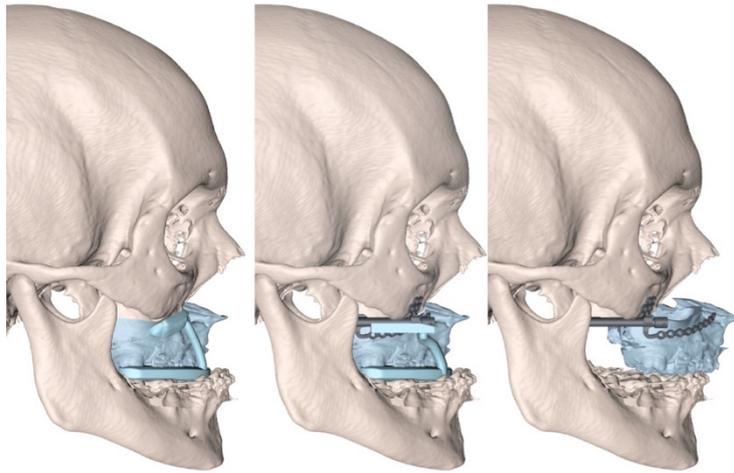


Figura 69: Vista sagital de las guías de corte (izquierda), guías de posicionamiento y vector y distractores (medio), y simulación del avance maxilar (derecha) (figura propia).

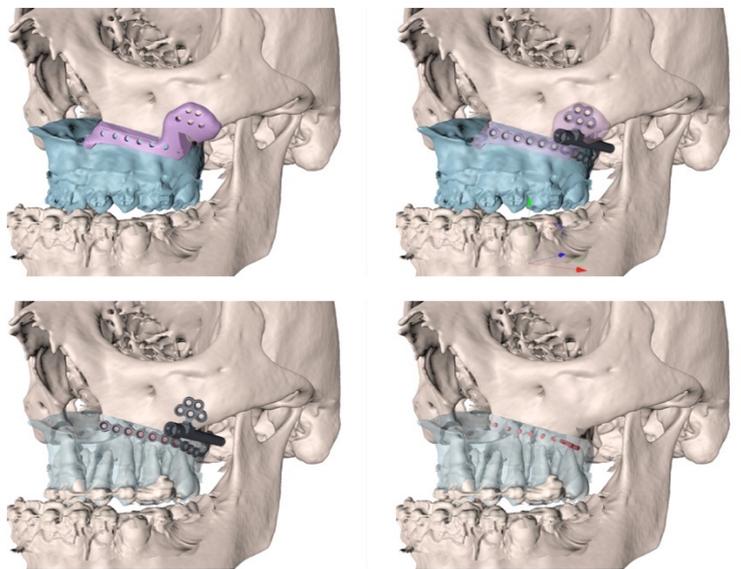


Figura 70: Guías de corte y posicionamiento de anclaje esquelético (arriba), distractores maxilares y tornillos adaptados a la anatomía del paciente (abajo) (figura propia).

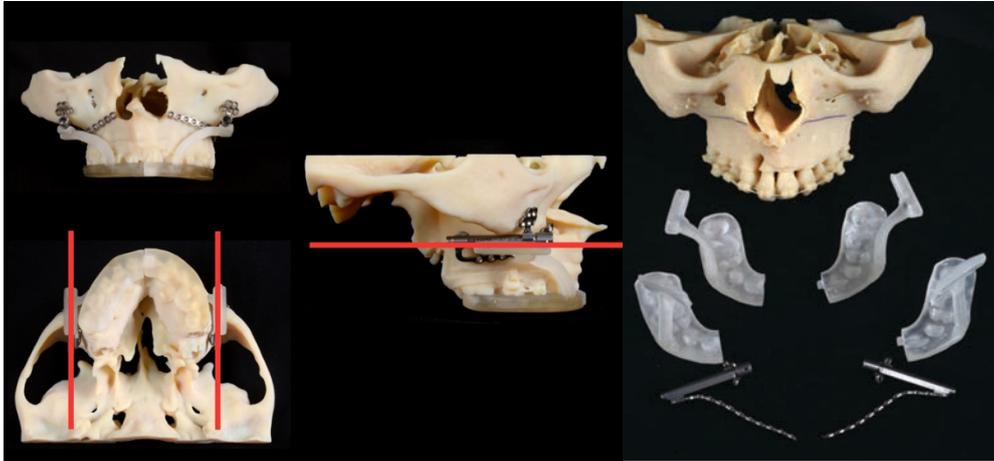


Figura 71: Modelo estereolitográfico del maxilar, distractores maxilares Zurich KLS-Martin, guías de vector y de posicionamiento (figura propia).

La impresora utilizada fue la Projet 3510 SD (Ostrava, República Checa) y el material de impresión fue Visijet M3 Crystal con USP Class VI (3D Systems, Rock Hill, SC, EE. UU.).

Las guías de corte y posicionamiento se imprimieron en 3D en dos piezas para ser ensambladas en la línea media, permitiendo una colocación menos invasiva. Las guías se prepararon con pequeños orificios en la cara vestibular para permitir la fijación a los dientes -a modo de férula de cirugía ortognática- para mejorar la estabilidad (Figura 72). En los pacientes que requirieron la corrección de diferencias leves del pitch y roll se realizó una colocación asimétrica de los distractores. Las diferencias del yaw y de la línea media de hasta 1,5mm se corrigieron activando el distractor contralateral hasta que la posición deseada. Cuando la malposición maxilar requirió una mayor corrección, se utilizó una férula intermedia para repositarlo de modo que posteriormente se pudiera utilizar un vector recto paralelo (Figuras 73 y 74).

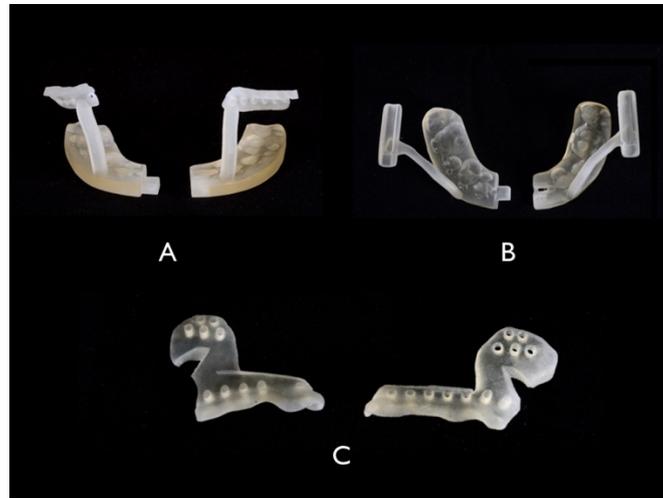


Figura 72: A: Guías de corte; B: Guías de posicionamiento y guías de vector; C: Guías de corte y posicionamiento (figura propia).

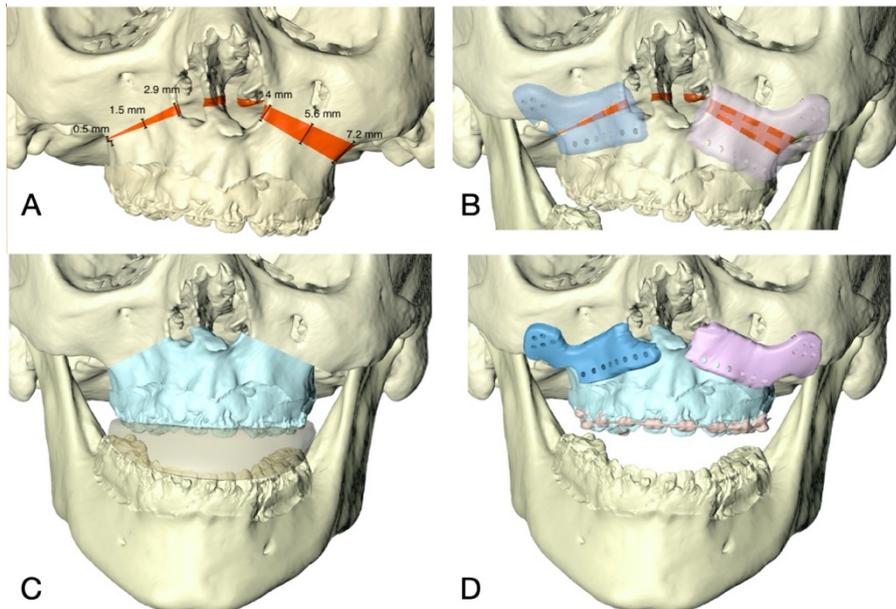


Figura 73: Reposicionamiento maxilar virtual antes de la colocación de los distractores. Medición de la corrección del canting maxilar. B Diseño de la guía de corte para realizar la osteotomía asimétrica de Le Fort I. C Reposicionamiento maxilar con férula intermedia. D Diseño de guías de posicionamiento de distractores maxilares según la posición del maxilar corregida (figura propia).

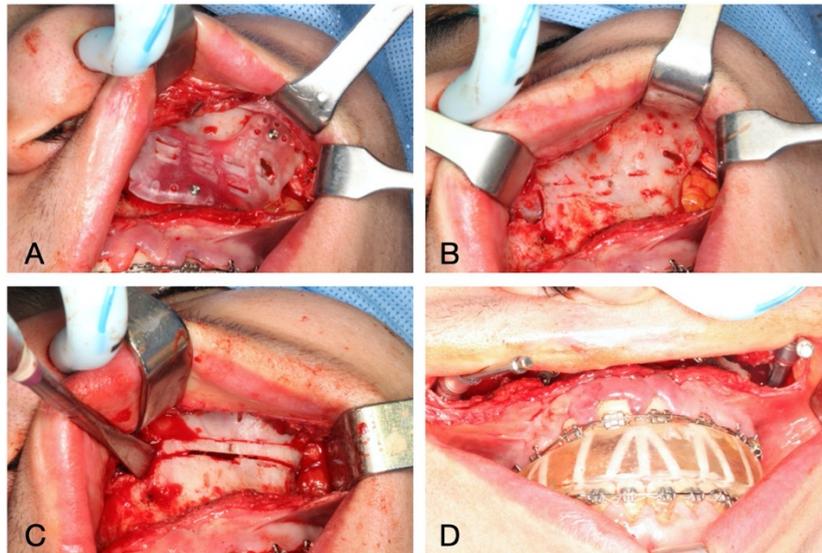


Figura 74: Reposicionamiento maxilar quirúrgico. Colocación y fijación de las guías de corte de la osteotomía de Le Fort. B y C Osteotomía izquierda doble para corregir el canting maxilar. D Reposicionamiento maxilar y colocación del distractor utilizando una férula intermedia (figura propia).

6.2.5 Técnica quirúrgica

Bajo anestesia general, intubación nasotraqueal e infiltración de anestesia local con adrenalina, se realizó una incisión vestibular maxilar. Después de la disección subperióstica del maxilar y la disección submucosa de las fosas nasales, se colocaron los distractores según las guías de posicionamiento y se fijaron en el lugar planificado con la mitad de los tornillos. Se realizó un pequeño raíl en la parte inferior del malar para ayudar a estabilizar el cuerpo del distractor, tal y como se planificó en el punto 7. Posteriormente se retiraron los distractores y tornillos. Se realizó una osteotomía de Le Fort I con la guía de corte personalizada colocada. A continuación, se procedió al down-fracture del maxilar y a la disyunción

pterigomaxilar para asegurar la liberación del maxilar y garantizar el avance del mismo (Figura 75).

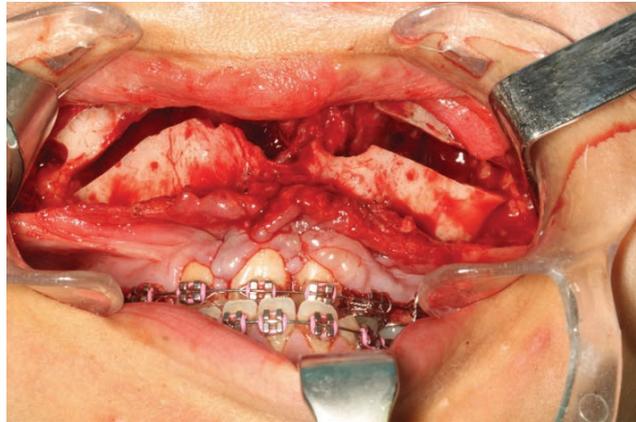


Figura 75: Down-fracture del maxilar (figura propia).

Los distractores se fijaron en su posición final según las guías y se colocaron todos los tornillos, evitando las raíces dentarias (Figuras 76 y 77). Los distractores se activaron mediante unos activadores rígidos removibles para comprobar el avance y liberar posibles colisiones de las paredes maxilares. El maxilar se reposicionó de nuevo hacia atrás, manteniendo una activación de 2mm. El músculo y la mucosa se suturaron en dos capas con poliglecaprona 4/0. La activación se inició de 5 a 7 días después de la operación a un ritmo de 1mm por día (0,5mm cada 12 horas).

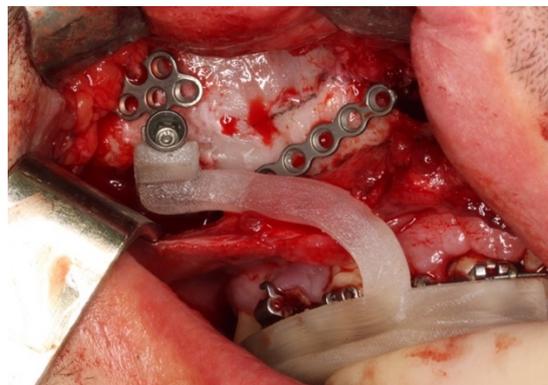


Figura 76: Colocación del distractor según la guía del vector y de posicionamiento (figura propia).

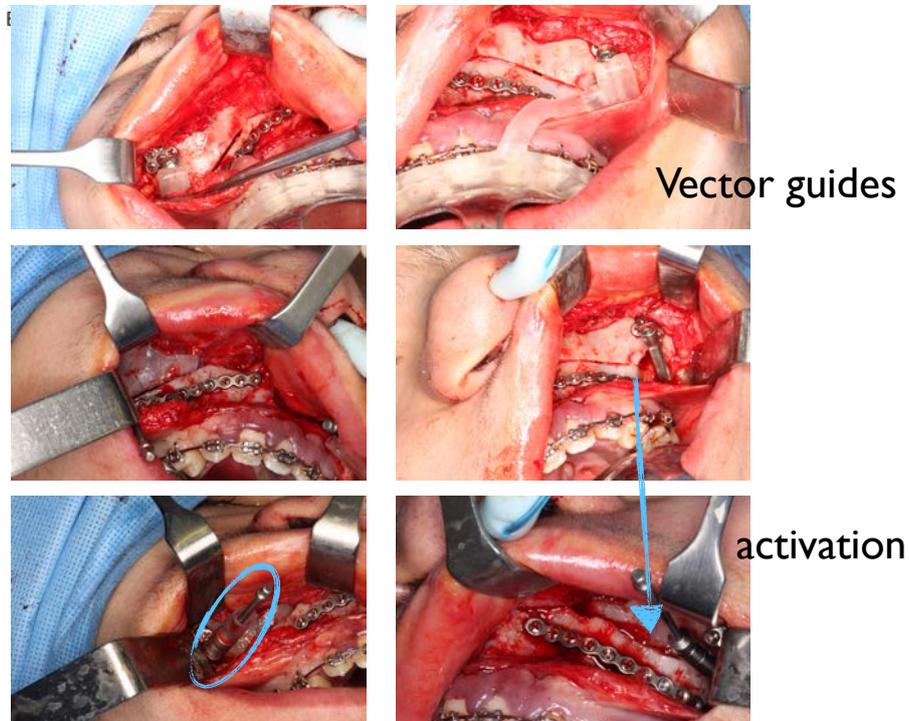


Figura 77: Colocación de las guías de vector, activación y protección de los activadores con una cánula de silicona (figura propia).

Se instruyó a los padres para que hicieran la activación y el cirujano y el ortodoncista visitaron al paciente dos veces por semana para verificar el avance. Regularmente se realizaron ortopantomografías y telerradiografías laterales para comprobar la correcta evolución de la distracción (Figura 78). Una vez que se logró el avance deseado, se realizó una sobrecorrección de 2-3 mm creando una ligera clase II y se retiraron los activadores con anestesia local. Se realizó una tomografía computarizada para verificar la consolidación ósea a los 4 a 8 meses del postoperatorio y se retiraron los distractores bajo anestesia local y sedación (Figura 79). Se utilizaron elásticos intermaxilares para guiar la oclusión después del período de distracción, mientras se completaba el tratamiento de ortodoncia.

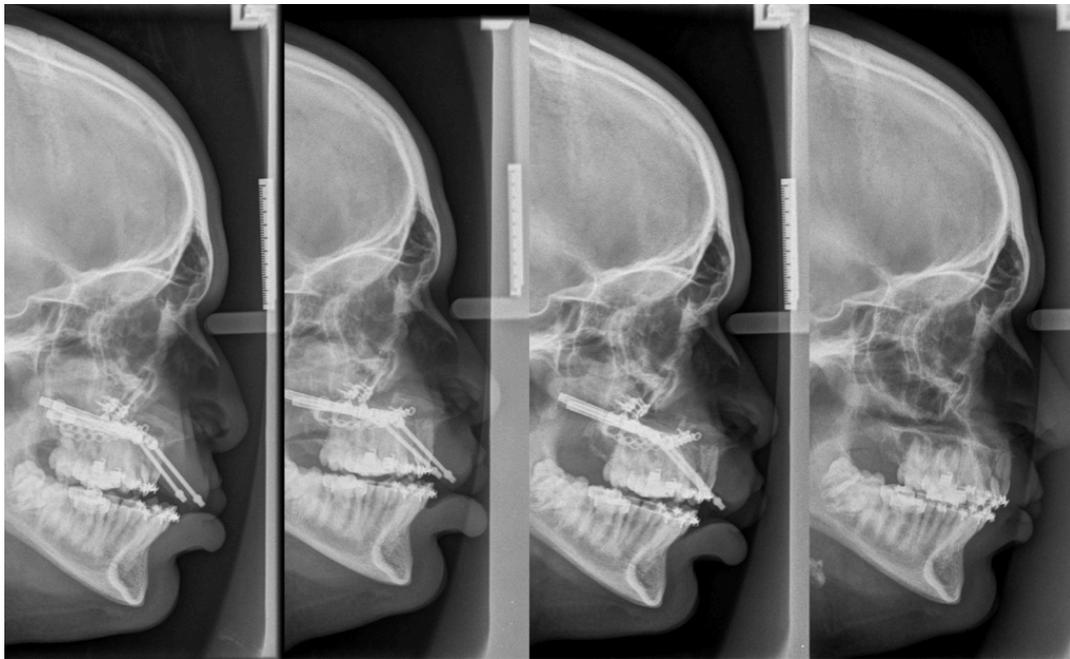


Figura 78: Telerradiografías laterales para la comprobación del progreso del avance maxilar (figura propia).

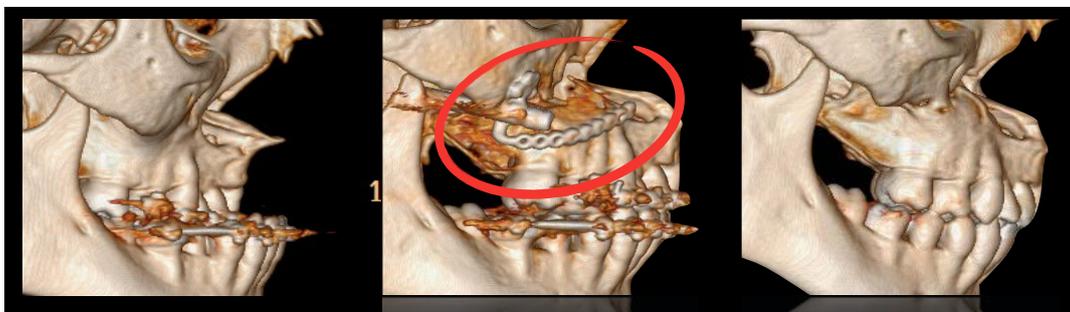


Figura 79: Tomografías computarizadas preoperatorias y posteriores a la distracción osteogénica y tras la retirada de los distractores y ortodoncia. (figura propia).

6.2.6 Adquisición de datos

Las superficies 3D se obtuvieron mediante segmentación de la tomografía computarizada (IntelliSpace Portal, Phillips, Amsterdam, Países Bajos) al final del período de consolidación, y luego se compararon con las superficies 3D resultantes

de la planificación virtual con el software GOM Inspect (GOM, Braunschweig, Alemania) utilizando el siguiente protocolo:

1. Aislamiento de cuatro superficies diferentes: cráneo, maxilar, distractores y tornillos cigomáticos.
2. Creación de un sistema de coordenadas común para todas las superficies (planificación quirúrgica virtual y tomografía computarizada postoperatoria) basado en el plano de Frankfurt, que se utilizaría para la comparación de superficies (Figura 80).

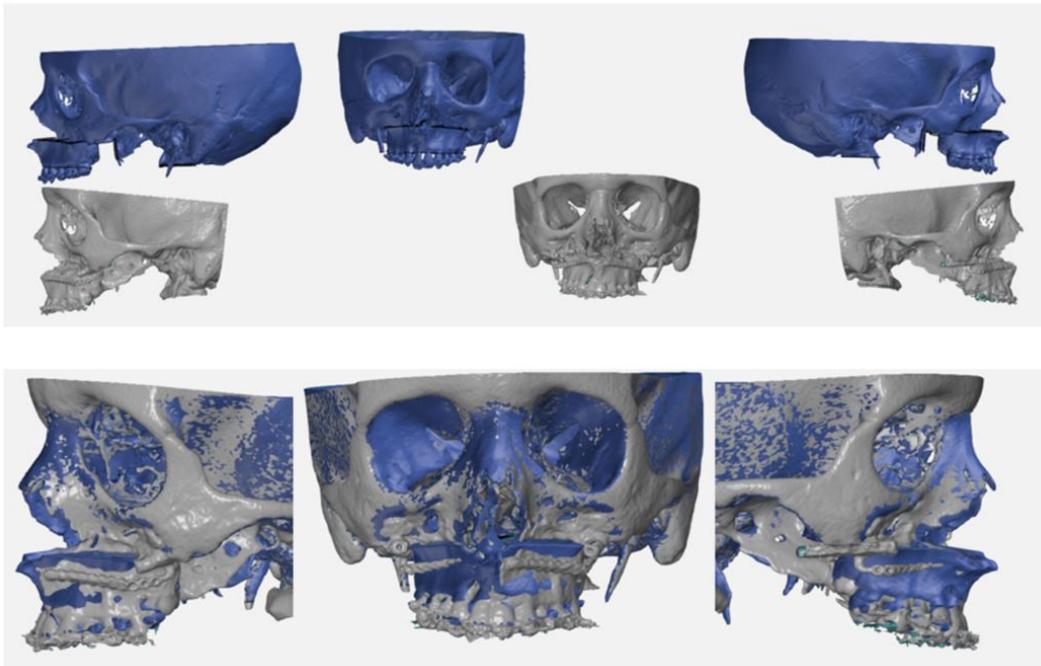


Figura 80: Creación de un mapa de superficie común (figura propia).

3. Comparación de superficies del maxilar en la posición de planificación virtual y en la posición final, utilizando la herramienta "Comparación de superficies" (Figura 81). Esta herramienta calcula la distancia entre puntos en dos superficies, que se traduce en un mapa de colores. También se genera automáticamente un histograma de frecuencia de distancia. La figura 82

muestra un ejemplo simplificado del procedimiento de comparación de superficies. Este procedimiento se utiliza para el cálculo de la variable denominada en adelante "diferencia de punto maxilar" que se refiere a la diferencia entre la superficie obtenida del planeamiento quirúrgico y el resultado final después del período de consolidación.

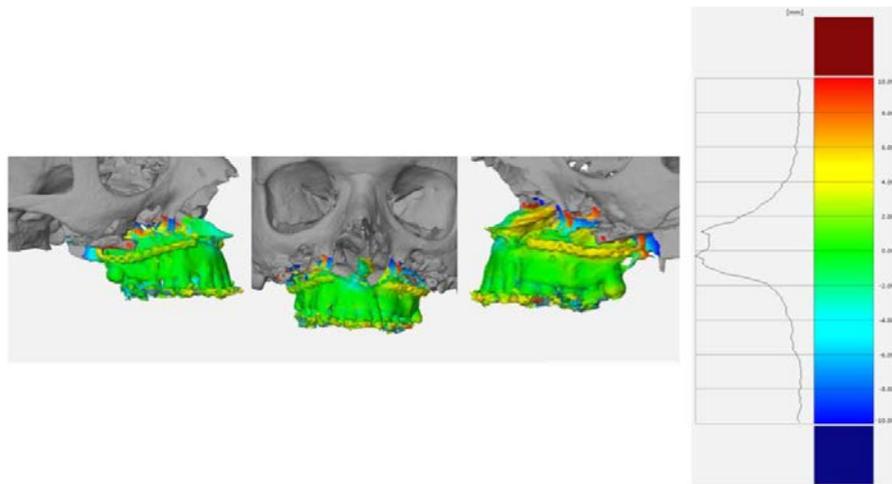


Figura 81: Resultado de la herramienta de comparación de superficies aplicada a la posición maxilar (figura propia).

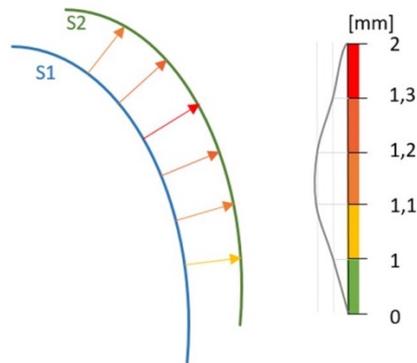


Figura 82: Esquema de la herramienta de comparación de superficies GOM Inspect. Se representan dos superficies: superficie 1 (S1) en azul y superficie 2 (S2) en verde. Para cada punto de S1, se genera un vector perpendicular que alcanza el punto más cercano en S2. La longitud de este vector es la distancia entre puntos. El software colorea la superficie de acuerdo con la longitud del vector; el código de color se muestra a la derecha. En este ejemplo, hay un vector de 1 mm y un vector de 1,3 mm, dos vectores de 1,1 mm y dos vectores de 1,2 mm. No hay vectores de 0 mm o 2 mm en este caso (figura propia).

4. Comparación de superficies del posicionamiento de los tornillos cigomáticos, utilizando la misma herramienta que para la comparación del maxilar (Figura 83).

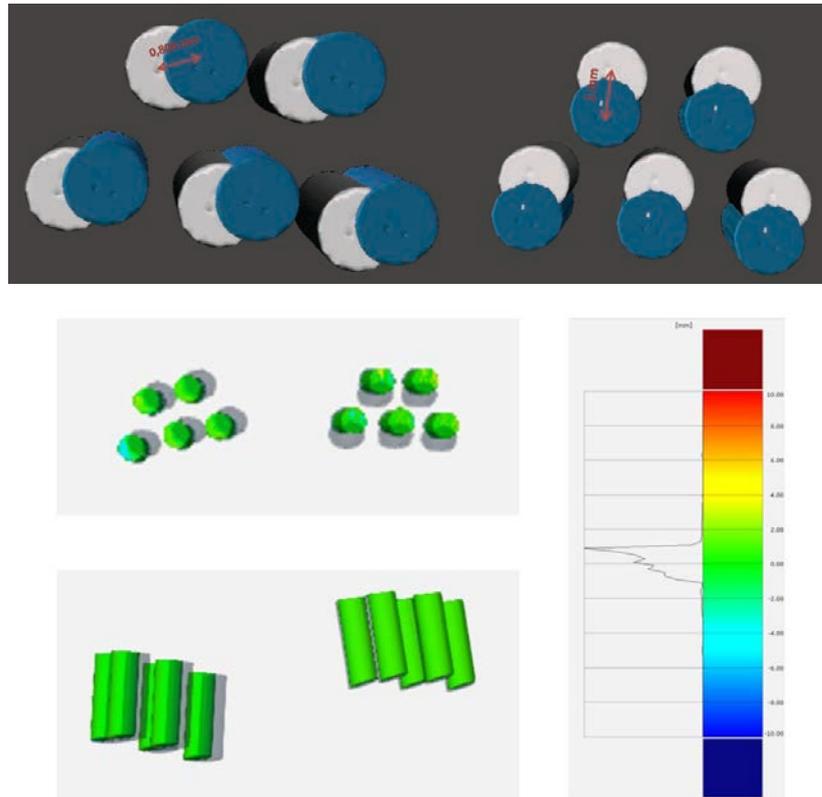


Figura 83: Resultado de la herramienta “Comparación de superficies” para el posicionamiento de los tornillos cigomáticos (figura propia).

5. Comparación de superficie de la posición de los distractores, utilizando la misma herramienta que para la comparación de tornillos maxilares y cigomáticos.

Los pasos 1 y 2 se refieren a la preparación de las superficies, mientras que el objetivo de los pasos 3 y 4 está destinado a la adquisición de datos para este estudio. Con el fin de determinar la precisión del procedimiento, se llevó a cabo una comparación de los datos posteriores al tratamiento con los datos planificados virtualmente. Se definieron tres aspectos de precisión:

1. Precisión del maxilar, definida como $>90\%$ de los puntos de la superficie del maxilar están colocados a menos de 1.5mm de la posición virtual planificada.
2. Precisión de la posición de los distractores, definida como $>90\%$ de los cinco tornillos cigomáticos están colocados a menos de 1.5mm de la posición virtual planificada.
3. Correlación entre la posición de los distractores y la posición final del maxilar.

Para el punto 1, se analizó el histograma obtenido para cada caso (Figura 84). Para el punto 2, se siguió el mismo procedimiento para comparar la posición de los tornillos cigomáticos. Para el punto 3 se estudió el coeficiente de correlación de Pearson entre el valor máximo en el histograma obtenido de la comparación de los maxilares y el valor máximo en el histograma de distractores (Figura 84).

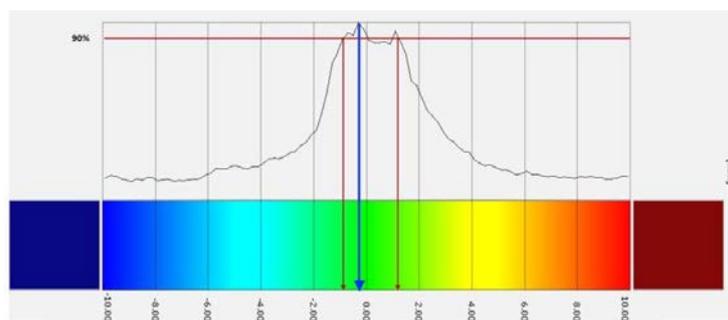


Figura 84: Histograma resultante de la aplicación de la herramienta de comparación de superficies para comparar los maxilares. Las líneas rojas indican el intervalo en el que se encuentra el 90% de los puntos. La línea azul indica el valor máximo del histograma (figura propia).

6.3 DISTRACCIÓN MANDIBULAR

6.3.1 Criterios de inclusión

Se analizaron los pacientes pediátricos intervenidos desde enero de 2018 a enero de 2020, diagnosticados de hipoplasia mandibular, que fueron sometidos a osteotomías mandibulares unilaterales o bilaterales y distracción osteogénica debido a:

- Apnea obstructiva del sueño
- Asimetría facial
- Deformidad dentofacial

El estudio preoperatorio consistió en el análisis de los antecedentes patológicos, examen físico, fotografías faciales e intraorales, modelos dentales, radiografías panorámicas, teleradiografías de cráneo de perfil y tomografías axiales computarizadas.

6.3.2 Criterio de exclusión

- Asimetría facial debida a un proceso adquirido.
- Pacientes sometidos a distracción mandibular con distractores externos.
- Pacientes de otras regiones del país que no pudieron realizar todas las pruebas radiológicas o seguimiento completo.

Cinco pacientes cumplieron los criterios de inclusión anteriormente descritos y fueron tratados en un solo hospital por el mismo cirujano, equipo de ortodoncia e ingeniero. Los pacientes firmaron el consentimiento informado para participar en

el estudio, siguiendo los principios de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Ética de la UCAM y de nuestro hospital.

Se estandarizaron los pasos de la planificación, desde la realización de la tomografía computarizada hasta la comparación de la superficie entre la planificación virtual y el resultado final, y se resumen a continuación:

1. Tomografía computarizada

A todos los pacientes se les realizó una TC craneofacial preoperatoria con cortes axiales y coronales de 1mm, en máxima oclusión y en decúbito supino. Se escanearon los modelos dentales y se fusionaron con él para aumentar la resolución de las superficies oclusales. Las imágenes recopiladas de la TC se guardaron en formato DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) para generar un modelo del cráneo y reconstruirlas en imágenes tridimensionales.

2. Planificación virtual 3D

Los softwares utilizados fueron Timeus (Laboratorio Ortosán, Madrid, España) y Meshmixer (Autodesk). El vector de distracción mandibular se basó en el ángulo formado entre el plano oclusal maxilar y el distractor; y por segmentación de la imagen especular, empleando el plano medio sagital; utilizando puntos de referencia anatómicos (como nasion, espina nasal anterior y posterior y gnation) del lado contralateral no afecto para simular una anatomía normal en el lado afecto mediante reconstrucción multiplanar y técnica de renderizado de superficie.

Se agregó la línea de osteotomía y el distractor, y se realizó una simulación del proceso de distracción en múltiples escenarios hasta que el resultado fue

satisfactorio. Una vez simulada la posición del distractor, se colocaron virtualmente los tornillos y se calcularon las longitudes máximas de los tornillos para evitar dañar los nervios alveolares inferiores y las raíces dentales (Figuras 85-87).

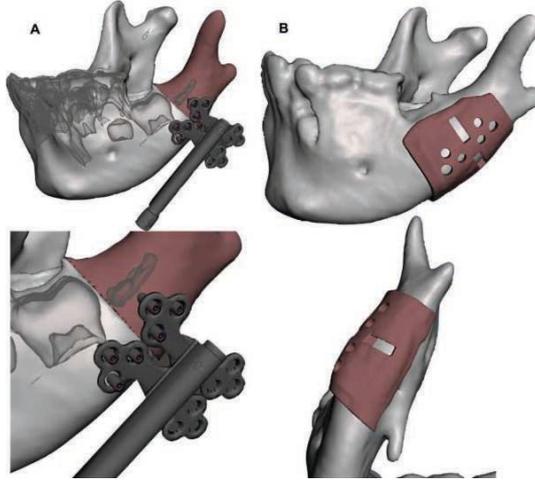


Figura 85: Planificación quirúrgica virtual. A: Línea de osteotomía; distractor y tornillos de fijación. B: Guía de corte virtual (figura propia).

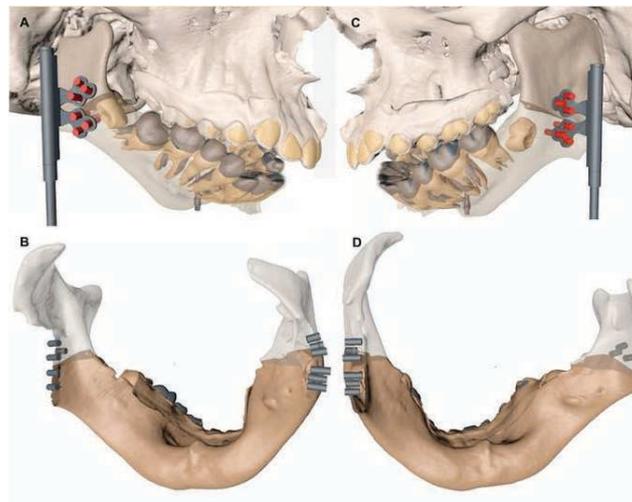


Figura 86: Planificación quirúrgica virtual. Tornillos de longitud y posición planificada para evitar el contacto con raíces dentales y dañar el nervio dentario inferior. A, B: Lado derecho. C, D: Lado izquierdo (figura propia).

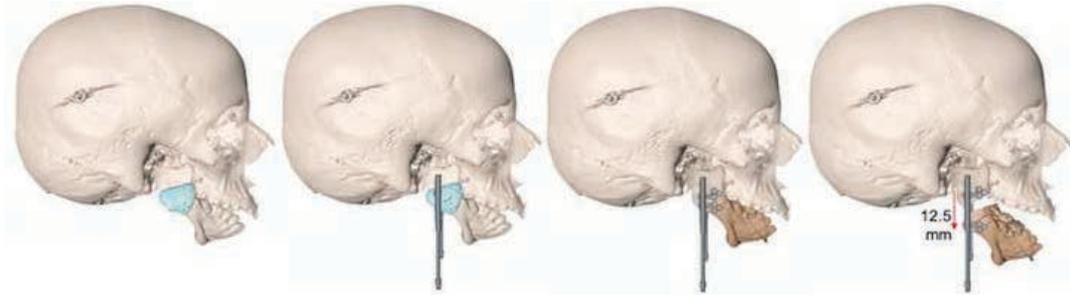


Figura 87: Planificación quirúrgica virtual. Guías de corte con los agujeros para los tornillos y la línea de osteotomía, el distractor virtual y el gap para distraer (figura propia).

En los casos unilaterales se distrajo la mandíbula hasta que el pogonion alcanzó la línea media y se corrigió el plano oclusal inclinado (oclusión clase 1) (Figura 88). Además de distraer la mandíbula a estos puntos de referencia anatómicos y planos de referencia, se realizó un nuevo análisis con tendencia a la sobrecorrección, siendo este el que se utilizó en nuestros pacientes.

Las guías quirúrgicas de corte se diseñaron digitalmente utilizando el software mencionado anteriormente, así como la simulación del distractor interno de manera personalizada.

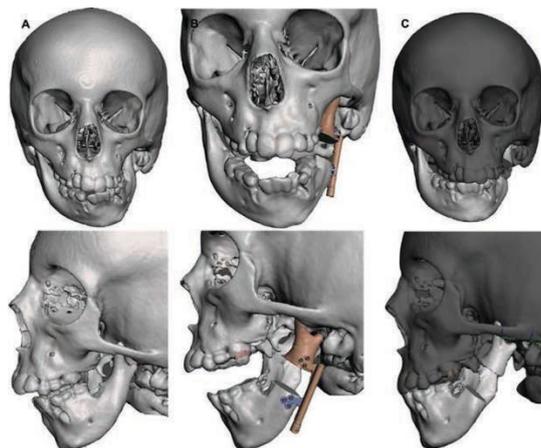


Figura 88: A: Tomografía computarizada 3D del paciente 3 antes de la cirugía. B: Planificación virtual de la simulación del movimiento del distractor. C: Planificación virtual del resultado final (figura propia).

3. Modelos impresos y guías de corte

La impresora utilizada fue una Projet 3510 SD (Ostrava, República Checa) y el material de impresión fue Visijet M3 Crystal con USP Class VI (3D Systems, Rock Hill, SC, EE. UU.), un material biocompatible durante 72 horas en contacto con mucosas; posteriormente se esterilizaba y utilizaba para ayudar a transferir el plan virtual a la cirugía real. Las guías de corte fueron diseñadas e impresas con propiedades translúcidas que mejoran la visibilidad de las estructuras anatómicas circundantes. Se imprimieron modelos anatómicos en 3D para simular el procedimiento quirúrgico y la colocación de la guía de corte y el distractor (Figura 89).

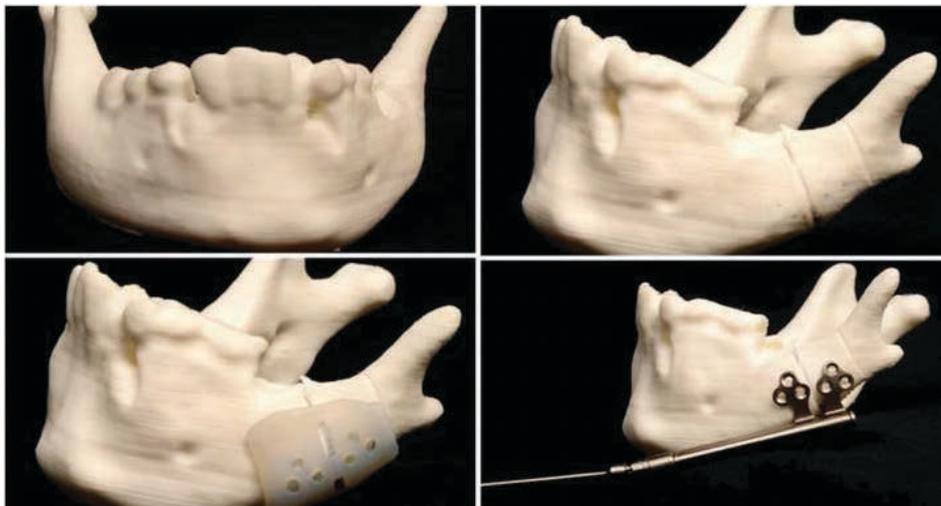


Figura 89: Modelos impresos, incluyendo la guía de corte (figura propia).

4. Procedimiento quirúrgico

Bajo anestesia general se accedió a la mandíbula mediante una incisión de Risdon unilateral o bilateral. Una vez expuesto el campo quirúrgico, se utilizó

la guía quirúrgica impresa en 3D. La misma guía tenía la función de marcar los lugares donde irían los tornillos para fijar el distractor y también la guía de corte mandibular, con la línea de osteotomía punteada en el medio de la guía, indicando la dirección de la osteotomía. Se utilizó un bisturí piezoeléctrico (VarioSurg3, NSK-Nakanishi Inc., Tochigi, Japón) para realizar la corticotomía vestibular que luego se extendió al lado bucal. Se utilizó el distractor Zurich Pediatric Ramus (KLS-Martin. Tuttlingen, Alemania) y se fijó con seis, ocho o diez tornillos de titanio de 1.5 o 2mm de diámetro en los lugares exactos donde se había perforado (Figura 90), se activó para verificar el correcto avance y liberar posibles interferencias, para posteriormente volver a la posición inicial con 1-2mm de activación.

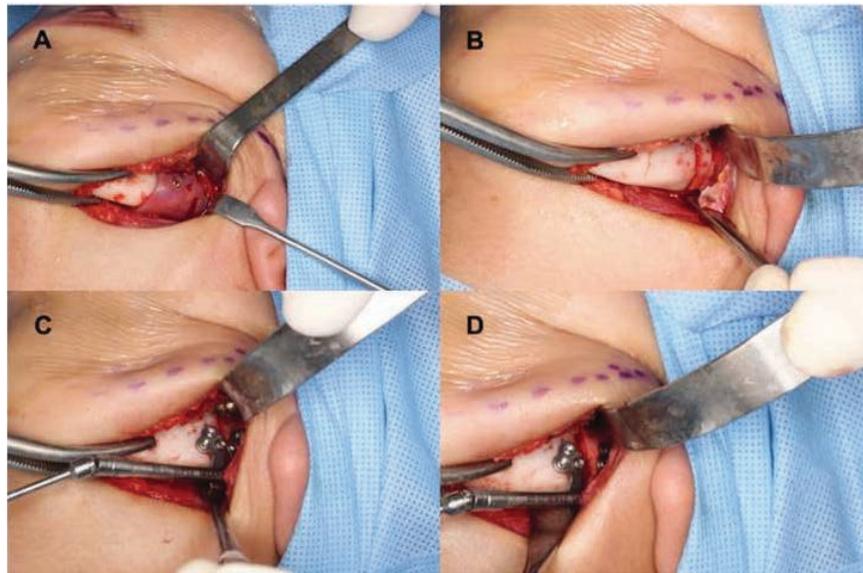


Figura 90: Campo quirúrgico. A: Guía de corte en el ángulo de la mandíbula. B: Línea de osteotomía y orificios de los tornillos ya hechos. C: Distractor colocado en la posición final. D: Distractor activado en el campo quirúrgico (figura propia).

5. Seguimiento

El distractor se activó una semana después de la cirugía con un promedio de 0.5mm de distracción, dos veces al día. Se siguió el proceso de distracción con

telerradiografías laterales y radiografía panorámica semanal (Figura 91). Este proceso se completó una vez que la mandíbula alcanzó y corrigió en exceso los planos de referencia descritos en la planificación virtual 3D. En los casos bilaterales se intentó dejar en clase III leve (Figura 92-93) y en los casos unilaterales con una ligera desviación de la línea media inferior hacia el lado sano, con alrededor un 10% de sobrecorrección en comparación con la simulación virtual. Si el paciente ya había completado el crecimiento, el objetivo era lograr la clase I y centrar las líneas medias.

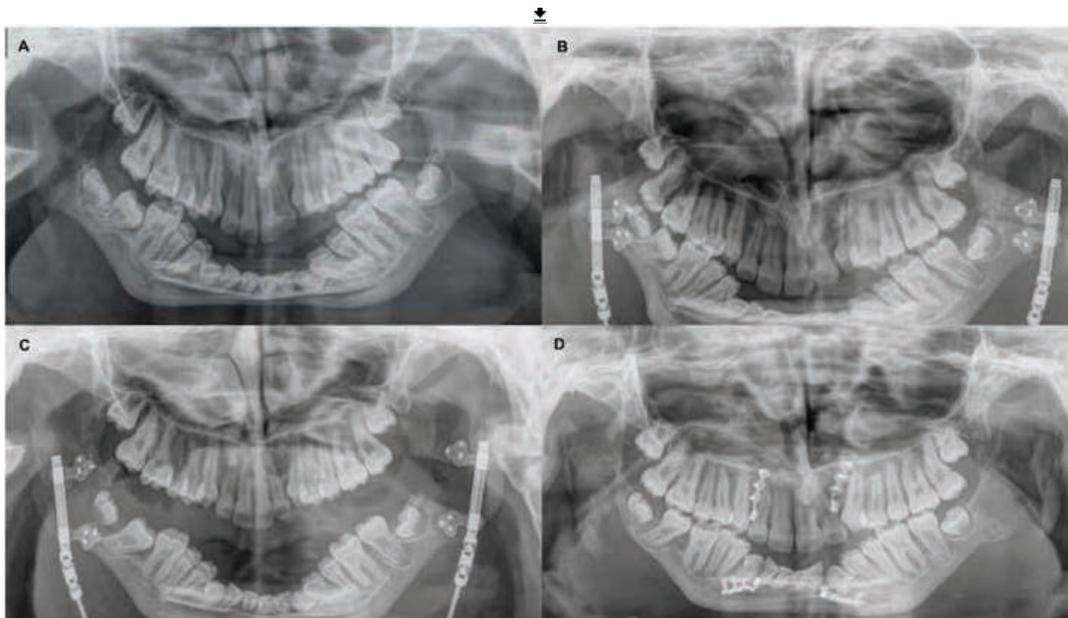


Figura 91: Radiografía panorámica. A: Antes de la cirugía. B: Con el distractor antes de la activación. C: Con la distracción completa, antes de retirar el distractor. D: Con el distractor retirado y el hueso consolidado (figura propia).



Figura 92: Telerradiografía lateral de cráneo. A: Antes de la cirugía. B: Con el distractor antes de la activación. C: Con la distracción completa, antes de retirar el distractor. D: Con el distractor retirado y el hueso consolidado. Las placas de tracción se utilizaron para cerrar la mordida abierta anterior durante el proceso de consolidación. Observe la mejoría de la vía respiratoria y la sobrecorrección de la posición mandibular con oclusión de clase III (figura propia).

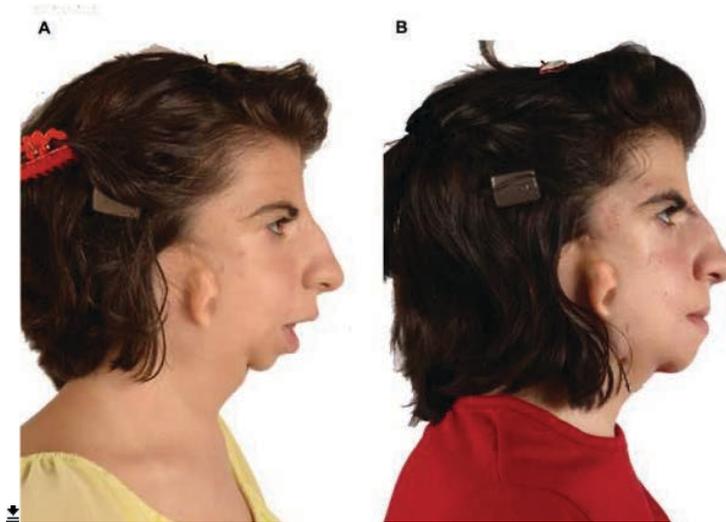


Figura 93: Apariencia de la paciente 1. Visión sagital. R: Antes de la cirugía. B: Después de la cirugía (figura propia).

Antes de retirar el distractor, entre tres y cinco meses después de la cirugía, se realizó una tomografía computarizada para comparar el resultado final real con el resultado virtual planeado (PLAN vs. POST) (Figuras 94 y 95).

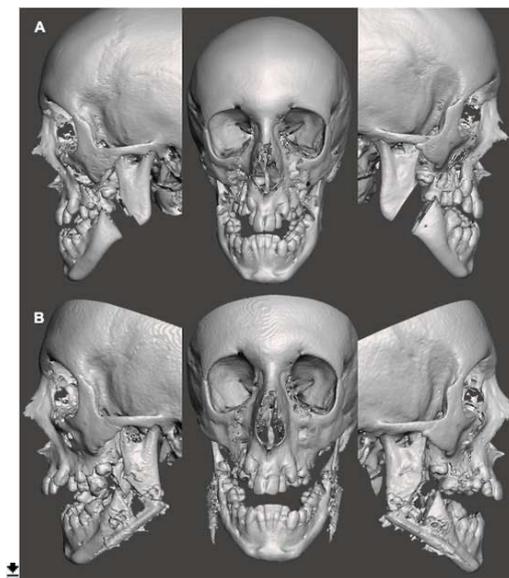


Figure 94: Planificación virtual (A) vs. Resultado final (B) del paciente 2. (figura propia).

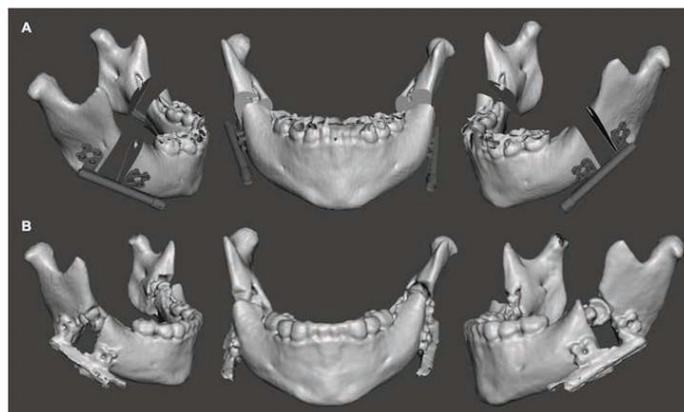


Figura 95: Planificación virtual (A) vs. Resultado final (B) del paciente 4. (figura propia).

6. Comparación de superficies

Finalmente, se realizó una comparación entre la planificación virtual y los resultados finales de la cirugía antes del período de consolidación.

Para obtener la superficie 3D para comparar, la segmentación se realizó utilizando IntelliSpace Portal (Phillips, Amsterdam, Holanda). Para la comparación entre las superficies se utilizó GOM Inspect Software (Braunschweig, Alemania).

Se analizó la precisión de las guías de corte. Las variables seleccionadas para el estudio fueron:

- Variación del ángulo de la osteotomía planificada y la osteotomía realizada durante la cirugía. El área de estudio seleccionada fue la rama ascendente mandibular por considerarse la zona más “estática” de la distracción: se crearon tres puntos superficiales en las líneas de ambas osteotomías de ambas ramas mandibulares. Se crearon dos planos a partir de los puntos de la superficie, obteniendo dos planos que representaban la línea de osteotomía virtual y la real. Finalmente, se calcularon los ángulos entre estas dos líneas (Figura 96).

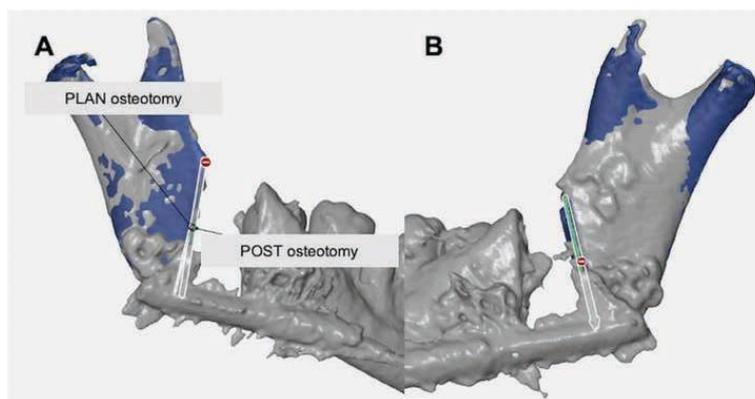


Figura 96: Comparación de superficies del paciente 2. Línea de osteotomía. A: Línea de osteotomía derecha. B: Línea de osteotomía izquierda (figura propia).

- Ángulo en el plano sagital entre los distractores en la planificación quirúrgica y en el resultado final (figura 97).

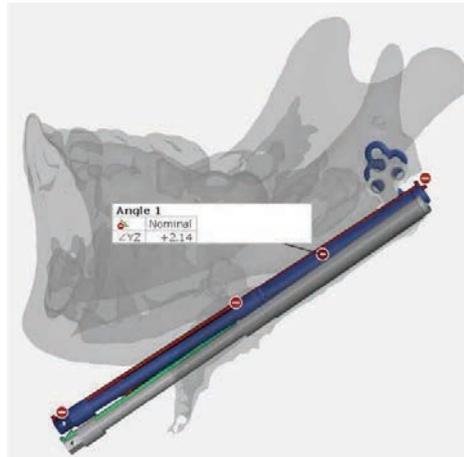


Figura 97: Ángulo del distractor en el paciente 3 (figura propia).

- Variación en la distancia del posicionamiento de los tornillos posteriores: se calculó la distancia entre el centro de cada tornillo (Figura 98).

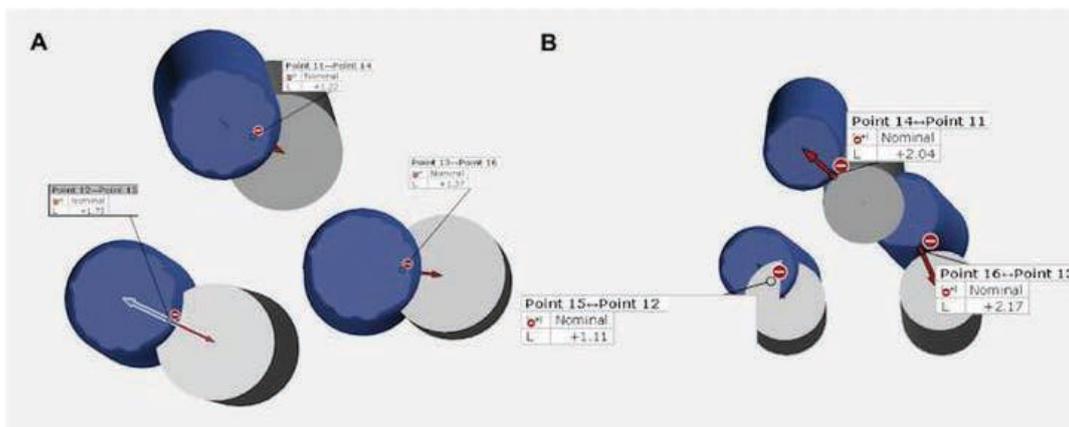


Figura 98: Comparación de superficies en el paciente 1. Tornillos posteriores derechos (A). Tornillos posteriores izquierdos (B) (figura propia).

Para este análisis se utilizaron las siguientes superficies:

- Ramas mandibulares derecha e izquierda de la planificación quirúrgica
- Tornillos derecho e izquierdo de la planificación quirúrgica
- Superficie mandibular del resultado final
- Superficies derecha e izquierda de los tornillos en el resultado final
- Superficie del distractor derecho e izquierdo de la planificación quirúrgica
- Superficies del distractor derecho e izquierdo del resultado final

El primer paso fue crear un sistema de coordenadas común para todas las superficies. En este caso, se utilizó la herramienta “3-Point alignment” de GOM Inspect Software. Esta herramienta permitió la creación de un sistema de coordenadas común al seleccionar tres puntos de las superficies que debían coincidir. En este caso, se seleccionaron los tres puntos de los cóndilos derecho e izquierdo como puntos de referencia, el punto más alto, más anterior y posterior, así como el gonion derecho e izquierdo. Una vez hecho esto, todas las superficies se encontraron en el mismo sistema de coordenadas, por lo que permitía hacer una comparación de la posición de las superficies.

Dado el pequeño grupo de estudio, el análisis estadístico y la recopilación de datos fueron solo descriptivos.

7 RESULTADOS

7 RESULTADOS

7.1 DISTRACCIÓN FACIAL

Durante el intervalo de tiempo de este estudio prospectivo (abril 2017 a junio 2019) dos pacientes de sexo femenino con síndrome de Crouzon (8 y 12 años) y 2 pacientes varones (con síndrome de Pfeiffer de 9 años y con síndrome de Crouzon de 12 años) fueron operados en el Hospital Sant Joan de Déu (Barcelona, España), y una paciente con síndrome de Pfeiffer (5 años) fue operada en el Hospital Universitario de Amberes (Bélgica). Excepto en el primer caso, en el que el posicionamiento de las guías de corte tomó 35 minutos, el tiempo total para el posicionamiento y retirada de las guías de corte fue de aproximadamente 10-15 minutos para todos los casos. No se encontraron efectos adversos durante la intervención. No se reportaron luxaciones de gérmenes dentales en la tomografía computarizada postoperatoria del día siguiente de la intervención. La paciente intervenida en Bélgica desarrolló un síndrome compartimental de la parte inferior derecha de la pierna el primer día. Aunque trágica, dado que necesitó un procedimiento de emergencia, consideramos esta complicación no relacionada con el uso de las guías de corte.

La distracción se inició el 6º o el 7º día postoperatorio a un ritmo de 0.5mm dos veces al día. Al final de la distracción no se encontraron fugas de líquido cefalorraquídeo. Todos los pacientes informaron un funcionamiento normal del sistema de drenaje lagrimal.

7.1.1 Precisión de las guías

La precisión de la osteotomía lateral, medial, pterigomaxilar y septal para cada paciente se documenta en la Tabla 6. No se observan diferencias importantes en los

valores medios de precisión entre los diferentes sitios de osteotomía. La precisión general se obtiene mediante la adición de las diferentes áreas seleccionadas. En todos los pacientes, la precisión global media es menor que el tamaño de vóxel de la TC utilizada para la planificación preoperatoria. Sin embargo, como el valor medio del error es bajo para todos los sitios de osteotomía y todos los pacientes, la desviación estándar (STD) es analizada en relación con el tamaño de vóxel de la tomografía computarizada utilizada en la planificación preoperatoria. La relación STD/Voxel es 1,3 para el primer caso, 0,8 para el segundo, 1,7 para el tercero, 1,2 para el cuarto y 1,0 para el quinto caso. La relación media de STD/voxel, por lo tanto, es 1.3. Esto indicó que el margen de error global es alrededor de 1,2 veces el tamaño de vóxel de la TC utilizada para la planificación preoperatoria.

| PtID | Pathology | Age at time of surgery | Voxel size | Osteotomy site | Mean | STD | STD/Voxel (%) | Medial_Max | Medial_Min |
|------|-----------|------------------------|------------|------------------|--------------|-------------|---------------|-------------|--------------|
| 1 | Crouzon | 8 | 0.900 | Lateral | 0.47 | 1.27 | 141% | 3.00 | -2.94 |
| | | | | Medial | 0.47 | 1.17 | 130% | 2.99 | -2.98 |
| | | | | Pterygomaxillary | 0.02 | 1.11 | 123% | 2.99 | -2.95 |
| | | | | Septum | 0.11 | 0.50 | 56% | 1.67 | -0.67 |
| | | | | Overall | 0.20 | 1.19 | 132% | 3.00 | -2.97 |
| 2 | Pfeiffer | 9 | 0.900 | Lateral | -0.28 | 0.65 | 72% | 2.99 | -2.94 |
| | | | | Medial | -0.14 | 0.42 | 47% | 1.92 | -2.82 |
| | | | | Pterygomaxillary | -0.25 | 0.82 | 91% | 3.00 | -2.99 |
| | | | | Septum | 0.13 | 1.87 | 208% | 2.55 | -2.77 |
| | | | | Overall | -0.23 | 0.74 | 82% | 3.00 | -2.99 |
| 3 | Pfeiffer | 5 | 0.625 | Lateral | -0.23 | 0.86 | 138% | 3.00 | -2.96 |
| | | | | Medial | -0.14 | 0.83 | 133% | 2.88 | -2.84 |
| | | | | Pterygomaxillary | -0.06 | 1.30 | 208% | 2.99 | -2.99 |
| | | | | Septum | 0.24 | 0.30 | 48% | 1.40 | -1.85 |
| | | | | Overall | -0.16 | 1.07 | 171% | 3.00 | -2.99 |
| 4 | Crouzon | 12 | 0.900 | Lateral | -0.22 | 1.03 | 114% | 2.98 | -3.00 |
| | | | | Medial | 0.20 | 1.22 | 136% | 2.97 | -2.99 |
| | | | | Pterygomaxillary | -0.05 | 0.92 | 102% | 3.00 | -2.99 |
| | | | | Septum | 0.14 | 1.15 | 128% | 2.88 | -2.50 |
| | | | | Overall | 0.15 | 1.07 | 119% | 3.00 | -2.99 |
| 5 | Crouzon | 12 | 0.900 | Lateral | -0.60 | 1.24 | 138% | 3.00 | -3.00 |
| | | | | Medial | -0.23 | 0.61 | 68% | 2.99 | -2.98 |
| | | | | Pterygomaxillary | -0.32 | 1.23 | 137% | 3.00 | -2.99 |
| | | | | Septum | 0.82 | 1.52 | 169% | 3.00 | -2.67 |
| | | | | Overall | -0.29 | 0.93 | 103% | 3.00 | -3.00 |

Tabla 6: Análisis de la precisión de las osteotomías laterales, mediales, pterigomaxilares y septales en cada paciente intervenido de Le Fort III.

7.1.2 Precisión de la transferencia del vector planificado

La Figura 99A–E proyecta la planificación en la tomografía computarizada postoperatoria inmediata por paciente (día 1 postoperatorio). Indica la mejora en

la precisión de la transferencia que se hizo con cada caso, ya que los diferentes sistemas se probaron por separado y finalmente se combinaron. Comenzamos con el uso de una guía de arco facial (Face-bow) (Figura 99A), pero el vector fue transferido con una mayor rotación en sentido antihorario. Probamos la guía oclusal (Figura 7C), lo que condujo a un aumento aún mayor de la rotación en sentido antihorario. La combinación del arco facial y la guía oclusal proporcionó una transferencia satisfactoria del vector planificado, como se muestra en la Figura 99D-E. Como era de esperar, el sistema RED anclado al cráneo mediante placas específicas del paciente transfirieron perfectamente el vector planificado, debido a las guías de posicionamiento que se interconectan con el marco supraorbitario (Figura 99B). En casi todos los casos, se detectó un aumento de la rotación en el sentido de las agujas del reloj del marco del distractor RED al final del período de consolidación de al menos 8 semanas, como se muestra en la Figura 99F.

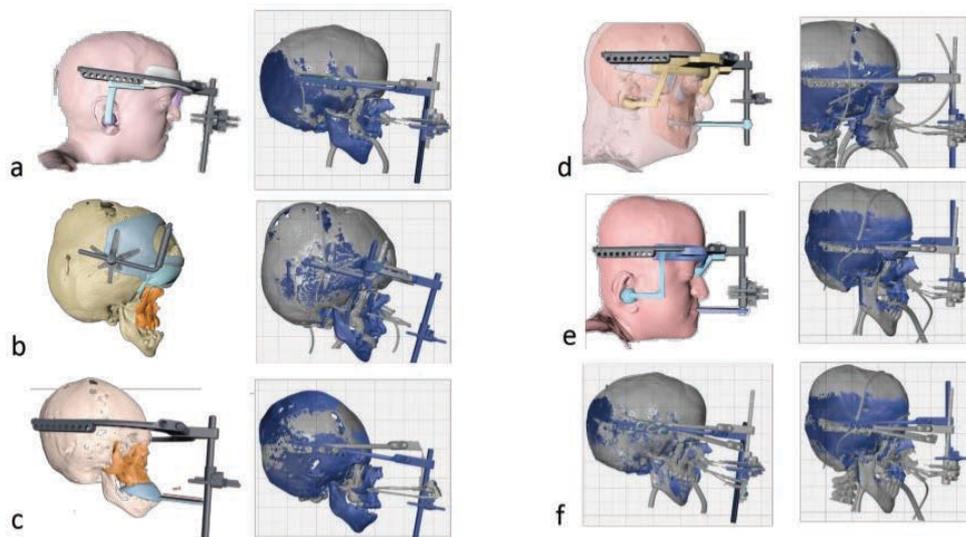


Figura 99: La planificación preoperatoria (en gris) se proyecta en la TC postoperatoria el primer día postoperatorio (en azul) para los diferentes sistemas de transferencia: el método face-bow (a), las placas específicas del paciente (b), la transferencia con una guía oclusal (c), y la combinación del método de arco frontal con una guía oclusal (d, e). En casi todos los casos, se detectó un aumento de la rotación en el sentido de las agujas del reloj del RED al final del período de consolidación de al menos 8 semanas (f); la TC postoperatoria inmediata (en gris) se proyecta en la tomografía computarizada al final de la consolidación (en azul) para dos casos. (figura propia).

7.2 DISTRACCIÓN MAXILAR

Los once pacientes que fueron sometidos a distracción maxilar interna siguiendo el protocolo explicado anteriormente tuvieron buena tolerancia al procedimiento y manejo postoperatorio, excepto por algunas molestias durante el período de activación, que desaparecieron al retirar los activadores. Se encontraron las siguientes complicaciones: un caso de infección maxilar 2 meses después de la operación; un paciente tuvo una apertura bucal limitada debido a la colisión del cuerpo del distractor con la apófisis coronoides; la incompetencia velofaríngea empeoró en una paciente después de un avance de 20mm —el máximo avance en esta serie— que requirió la realización de una faringoplastia; dos distractores en dos pacientes diferentes se encontraron rotos en el momento de la extracción (Figura 100); un paciente presentaba hinchazón de los tejidos blandos en el labio superior debido al activador, que se alivió interponiendo un tubo de protección de silicona. No hubo reintervenciones ni recidivas.



Figura 100: Distractor maxilar izquierdo hallado roto en el momento de la retirada. (figura propia).

El avance medio del maxilar fue de 17,8 mm (rango 15-20 mm). El período medio de consolidación fue de 6,3 meses (rango 5-9 meses). El seguimiento posoperatorio osciló entre 0,5 y 4 años (tabla 7).

| PACIENTE | EDAD | SEXO | FISURA | LONGITUD DISTRACCIÓN (mm) | PERÍODO CONSOLIDACIÓN (meses) | TC (meses) | COMPLICACIONES | SEGUIMIENTO (años) |
|----------|------|-------|-----------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------|------------------------------------|-----------------------|
| 1 | 17 | VARÓN | DERECHA | 16 | 7 | 4 | Limitación apertura bucal | 2 |
| 2 | 18 | VARÓN | IZQUIERDA | 15 | 6 | 6 | Infección (2 meses postoperatoria) | 2 |
| 3 | 16 | MUJER | BILATERAL | 20 | 9 | 6 | Insuficiencia velofaríngea | 3 |
| 4 | 17 | VARÓN | BILATERAL | 15 | 6 | 6 | | 2.5 |
| 5 | 18 | VARÓN | BILATERAL | 18 | 6 | 6 | | 2.5 |
| 6 | 16 | VARÓN | DERECHA | 17 | 6 | 6 | | 1.5 |
| 7 | 17 | VARÓN | IZQUIERDA | 18 | 6 | 6 | | 1.5 |
| 8 | 17 | VARÓN | BILATERAL | 16 | 6 | 6 | | 2 |
| 9 | 18 | VARÓN | DERECHA | 16 | 6 | 3 | | 0.5 |
| 10 | 16 | VARÓN | IZQUIERDA | 20 | 6 | 3 | | 0.5 |
| 11* | 16 | MUJER | IZQUIERDA | 18 | 5 | 15 | Inflamación de partes blandas | 4 |

* La tomografía computarizada posterior a la consolidación se realizó después de la retirada de los distractores. Algunos datos no se pudieron obtener.

Tabla 7: Características de los pacientes sometidos a distracción maxilar.

Los resultados finales esqueléticos y oclusales fueron considerados satisfactorios por los pacientes, ortodoncistas y cirujanos en todos los casos (Figuras 101-108). En un caso, la tomografía computarizada postoperatoria se realizó después de la retirada de los distractores y, por lo tanto, en este paciente faltan mediciones postoperatorias de la posición de los distractores.



Figura 101: Imágenes pre y postoperatorias de perfil e intraorales laterales del paciente 5. (Figura propia).



Figura 102: Imágenes pre y postoperatorias de perfil e intraorales laterales del paciente 1. (figura propia).

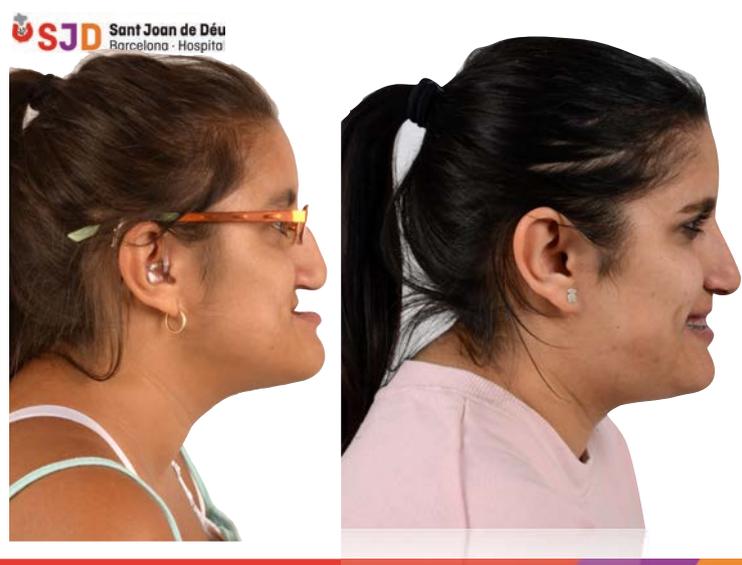


Figura 103: Imágenes pre y postoperatorias de perfil de la paciente 3. (figura propia).



Figura 104: Imágenes pre y postoperatorias de perfil del paciente 2. (figura propia).



Figura 105: Imágenes pre y postoperatorias de perfil de la paciente 11. (figura propia).

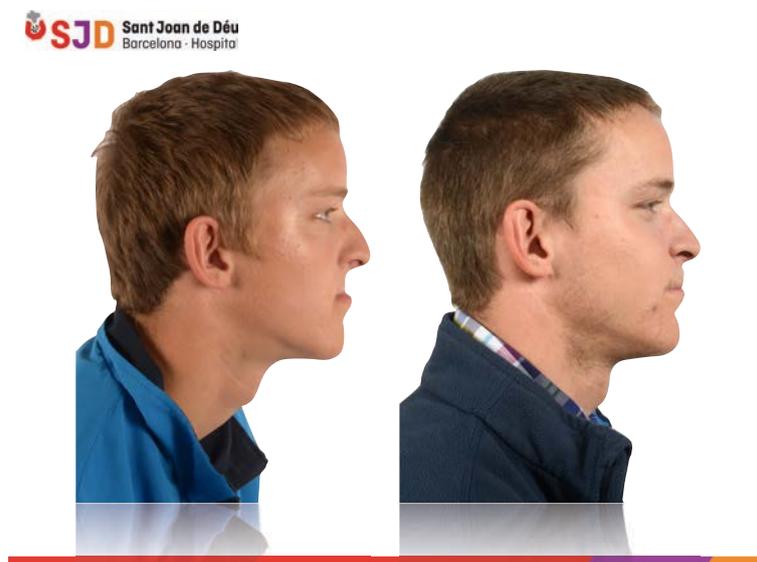


Figura 106: Imágenes pre y postoperatorias de perfil del paciente 8. (figura propia).



Figura 107: Imágenes pre y postoperatorias de perfil del paciente 6. (figura propia).

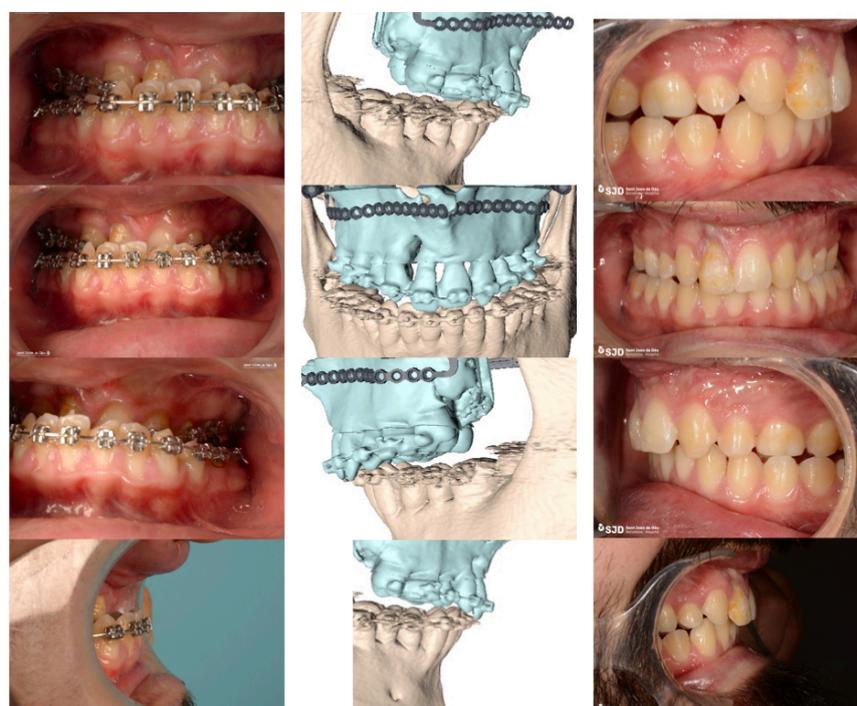


Figura 108: Imágenes preoperatorias (izquierda), planificadas (centro) y postoperatorias (derecha) de la oclusión del paciente 1. (figura propia).

La Tabla 8 muestra los valores de intervalo que mantienen el 90% de las distancias de los puntos para la posición final del maxilar. La media y la varianza de la discrepancia de los puntos superiores de la superficie fueron de 1,6 y 0,33 mm, respectivamente, lo que significa que la mayoría de los puntos superiores se encontraron a una distancia de 1,6 mm o menos de la posición planificada al final del período de consolidación. Cinco de once pacientes cumplieron la condición de precisión maxilar y nueve de once tenían una dislocación de los puntos por debajo de 2mm (Figura 109). El paciente con mayor discrepancia en esta serie tenía un intervalo de 3,2 mm con el 90% de los puntos. En este caso particular, el distractor se había roto al final del período de consolidación.

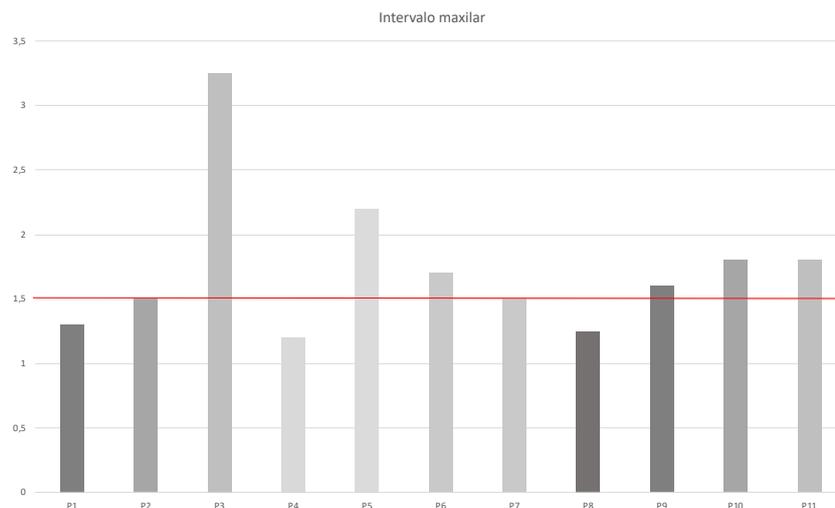


Figura 109: Desviación del 100% de la precisión de la posición del maxilar en cada paciente. La línea roja indica el límite de 1.5mm.

La Tabla 8 muestra, en la segunda fila, el intervalo que mantiene el 90% de las distancias de los puntos entre la posición planeada y la final de los tornillos cigomáticos. La media y la varianza de la discrepancia de los tornillos cigomáticos fueron de 0,8 y 0,15 mm, respectivamente. Esto significa que la mayoría de los

tornillos cigomáticos estaban al final del tratamiento a una distancia de 0,8 a 1 mm de su posición planificada.

| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11* |
|--|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-------|------|
| Planificación/ posición final del maxilar | 1.3 | 1.5 | 3.25 | 1.2 | 2.2 | 1.7 | 1.5 | 1.25 | 1.6 | 1.8 | 1.8 |
| Planificación/ posición final tornillos zigomáticos | 1 | 0.8 | 1.4 | 0.8 | 1.2 | 1.1 | 0.6 | 0.4 | 0.6 | 0.125 | - |

* La tomografía computarizada posterior a la consolidación se realizó después de la retirada de los distractores. Algunos datos no se pudieron obtener.

Tabla 8: Intervalo que mantiene el 90% de las distancias de los puntos entre la posición del maxilar planificada y la posición del maxilar final y la posición planificada y final de los tornillos cigomáticos (valor absoluto).

La Figura 110 muestra que el 90% de los puntos se colocaron a una distancia máxima de 1,4mm y ninguno de los casos presentó una discrepancia superior a 1,5mm en la posición de los tornillos cigomáticos.

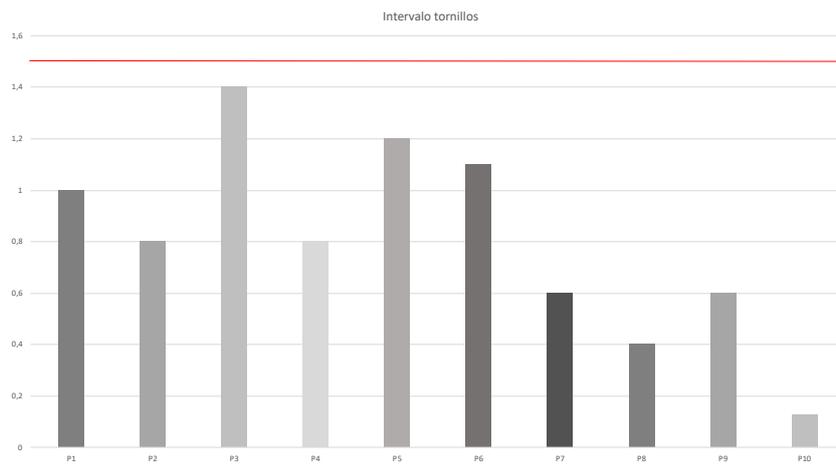


Figura 110: Intervalo que engloba el 90% de los valores de la distancia del posicionamiento de los tornillos zigomáticos en cada paciente. La línea roja indica el límite superior de 1.5mm.

Las posiciones de la superficie del maxilar y de la superficie de los distractores (Tabla 9) tuvieron una correlación directa (coeficiente de correlación de Pearson $r = 0,69$).

| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Maxilar | 1.2 | 0.3 | 3 | 0.25 | 2 | 1.2 | 1 | 0.9 | 1 | 1.6 |
| Distractor | 1 | 0.8 | 0.2 | 0.1 | 2 | 0.4 | 1.2 | 0.2 | 0.42 | 0.7 |

Tabla 9: Valor máximo del histograma obtenido de la comparación de superficies (valor absoluto)

7.3 DISTRACCIÓN MANDIBULAR

Las características de los cinco pacientes de la muestra se resumen en la tabla 10. La edad media en el momento de la cirugía fue de 9 años [5-13] con un seguimiento medio de 11,2 meses [1-24]. Estos pacientes fueron sometidos a una distracción mandibular unilateral o bilateral para obtener una correcta simetría y proyección de la mandíbula y lograr la remisión de los síntomas. No hubo complicaciones intraoperatorias. La retirada de los distractores se produjo en todos los casos sin incidencias. Durante el período de seguimiento no se informaron complicaciones ni parálisis del nervio marginal, y los pacientes quedaron satisfechos con el resultado de la cirugía.

| PACIENTE | EDAD (a) | SEXO | PATOLOGIA | SÍNTOMAS | CIRUGÍA | SEGUIMIENTO (meses) |
|----------|-------------|------|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------|------------------------|
| 1 | 13 | F | Treacher Collins | Apnea + maloclusión | Bilateral | 24 |
| 2 | 13 | M | Atrofia muscular espinal tipo 2 | Apnea + maloclusión | Bilateral | 21 |
| 3 | 6 | F | Goldenhar | Asimetría facial + maloclusión | Izquierda | 7 |
| 4 | 5 | F | Pierre Robin | Apnea | Bilateral | 3 |
| 5 | 8 | M | Goldenhar | Asimetría facial + maloclusión | Derecha | 1 |

Tabla 10: Características de los pacientes intervenidos de distracción mandibular.

Todas las diferencias encontradas en la comparación de superficies entre la planificación virtual y el resultado real se exponen en la tabla 11. Solo se encontró una diferencia promedio de menos de 4° con respecto a la dirección de la osteotomía, menos de 7° en la posición del distractor y menos de 2 mm respecto a la colocación de los tornillos posteriores.

| Paciente | Osteotomía | | Distractor | | Tornillos posteriores (mm) | | | |
|----------|------------|-----------|------------|-----------|----------------------------|------------|------------|--------------|
| | Derecha | Izquierda | Derecho | Izquierdo | Derechos | Derechos M | Izquierdos | Izquierdos M |
| 1 | 4.31° | 2.56° | 8.87° | 10.06° | 1.22 | 1.44 | 1.11 | 1.77 |
| | | | | | 1.73 | | | |
| | | | | | 1.37 | | | |
| 2 | 3.7° | 1° | 5° | 3° | 1.87 | 1.64 | 2.64 | 2.3 |
| | | | | | 1.48 | | | |
| | | | | | 1.45 | | | |
| | | | | | 1.58 | | | |
| | | | | | 1.82 | | | |
| 3 | X | - | X | 2.14° | X | 1.44 | 1.43 | |
| | | | | | | | | 1.4 |
| | | | | | | | | 1.45 |
| 4 | 6.34° | 5.38° | 6.5° | 4.07° | 1.1 | 0.89 | 2.19 | 2.04 |
| | | | | | 0.83 | | | |
| | | | | | 1.23 | | | |
| | | | | | 0.41 | | | |
| 5 | 0.8° | X | 5.22° | X | 0.53 | 0.49 | X | |
| | | | | | 0.62 | | | |
| | | | | | 0.29 | | | |
| | | | | | 0.53 | | | |
| M | 3.79° | 2.98° | 6.4° | 4.82° | | 1.12 | 1.89 | |

M: media

Tabla 11: Resultados de la comparación de superficies de los pacientes intervenidos de distracción mandibular.

En cuanto al tercer paciente (Figuras 111-112), no se pudo analizar el ángulo de la osteotomía ya que el hueso neoformado durante la distracción imposibilitó conocer la dirección de la línea de osteotomía. Esto se debió a que el paciente aplazó el control de la TC. En la Figura 113, el 90% de los puntos de la superficie mandibular en la planificación 3D se encuentran a una distancia menor de 1,15 mm de los puntos de la superficie mandibular en el resultado final de la cirugía.

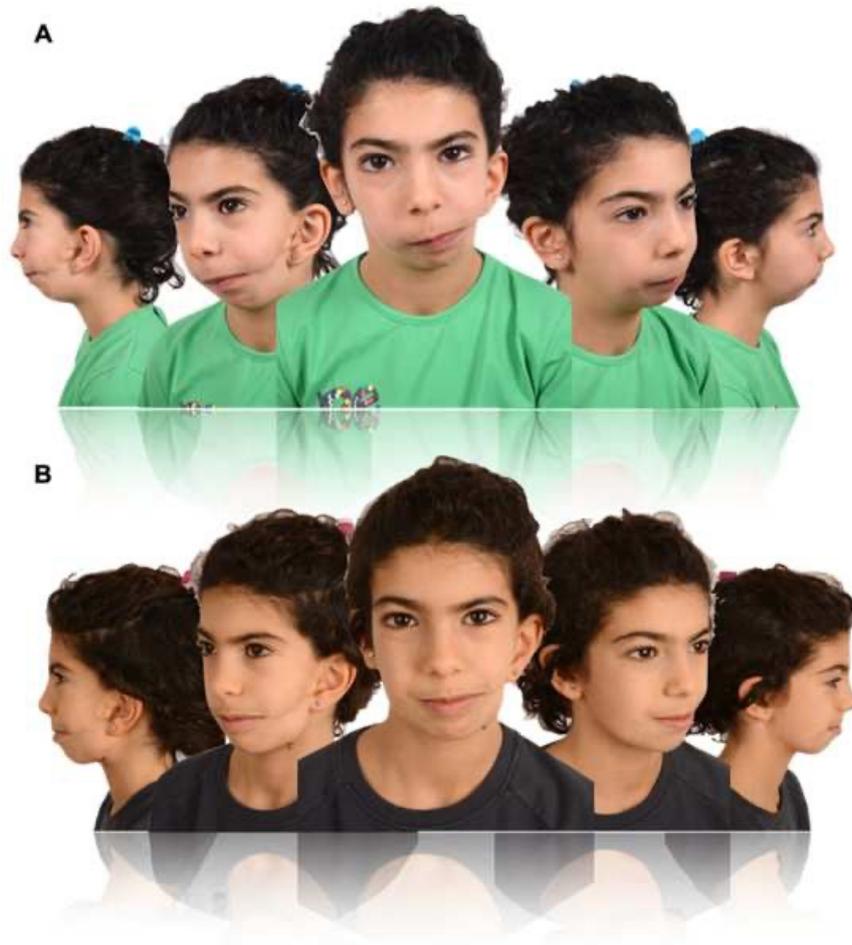


Figura 111: Imágenes faciales de la paciente 3. A: Antes de la intervención. B: Después de la cirugía (figura propia).



Figura 112: Canting maxilar y oclusión de la paciente 3. A, C: Previo a la intervención. B, E: Después de la intervención. D Nivelación y creación de mordida abierta posterior contralateral con levante de mordida (figura propia).

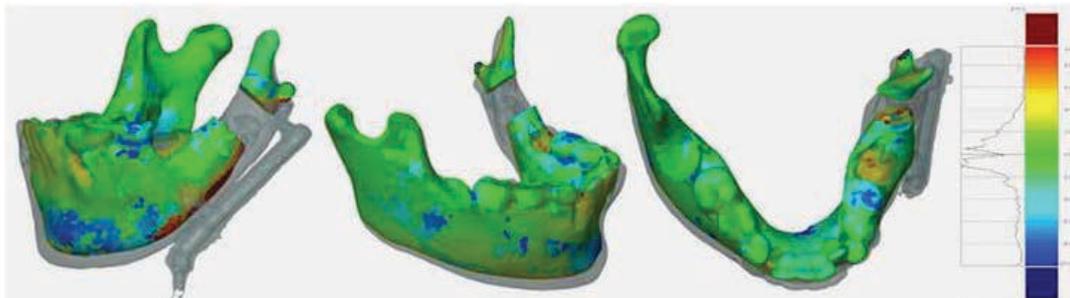


Figura 113: Histograma de superficie de la paciente 3 tras la finalización de la activación del distractor en comparación con la planificación virtual (figura propia).

8 DISCUSIÓN

8 DISCUSIÓN

La cirugía virtual ofrece ventajas indiscutibles. Es un gran paso adelante en el tratamiento de las malformaciones craneomaxilofaciales y es una tecnología que ha llegado para quedarse. Desde 2010 hemos planificado en 3D a todos los pacientes de cirugía ortognática, y ampliando su uso a otras patologías como la distracción osteogénica, cirugía reconstructiva, injertos óseos o rinoplastia entre otros¹²². La planificación preoperatoria requiere mucho tiempo y necesita una curva de aprendizaje. Sin embargo, estos inconvenientes son ampliamente superados por sus ventajas: mejor visualización de la anatomía, información más precisa, mejores herramientas para la docencia y también para la documentación de los casos.

Se ha realizado poca investigación sobre la planificación virtual de la distracción facial desde la descripción de Gateno en 2003¹²³. La cirugía virtual simplifica el procedimiento y permite lograr buenos resultados en pacientes muy complejos. Un ejemplo es la distracción maxilar en pacientes con fisura bilateral con hipoplasia maxilar severa. En estos pacientes hemos tratado discrepancias de hasta 20 mm desde la punta del incisivo superior hasta la punta del incisivo inferior, llegando la posición final del maxilar hasta donde se había planeado. El uso de guías de corte y posicionamiento reduce considerablemente el tiempo quirúrgico y el riesgo de errores, ya que la posición y el vector se transfieren a las guías, y de éstas al paciente, según lo planeado. Si se produce un error en la posición final, este será debido a un error en la planificación preoperatoria. La cirugía virtual ayuda a mejorar el diagnóstico preciso, optimizar la planificación del tratamiento y transferir la planificación al paciente^{113,124}.

La planificación virtual ha ayudado a decidir el abordaje o la línea de las osteotomías en otros procedimientos quirúrgicos, incluso cuando no se hicieron guías de corte o posicionamiento. Esto sucede, por ejemplo, en la distracción

neonatal con distractores externos tipo Molina para la secuencia de Pierre Robin. Otros autores como Steinbacher han tratado a estos pacientes con guías de corte y posicionamiento y distractores internos¹²¹.

Las tomografías computarizadas postoperatorias ofrecen un buen control de calidad del procedimiento, comparando la planificación 3D con el resultado quirúrgico final¹¹³. Esto ha sido realizado en cirugía ortognática y en menos estudios en distracción osteogénica. Por este motivo se inició esta línea de investigación para validar la precisión de la cirugía virtual en los distintos procedimientos de distracción osteogénica craneofacial realizados en nuestro centro.

Con respecto a los tejidos blandos, solo se pueden esperar resultados aproximados¹¹³; La cirugía virtual puede ser útil para simular el resultado después de la cirugía, especialmente después de la rinoplastia, y la posición de los labios después de la cirugía ortognática, pero tiene una precisión menor en comparación con los huesos.

Una ventaja de la planificación 3D es que aumenta el conocimiento de la anatomía de cada paciente en particular. Esto se debe a que la intervención quirúrgica real no es la primera vez que el cirujano opera al paciente, el procedimiento se ha realizado varias veces antes en "el mismo" paciente virtual y con los modelos impresos en 3D a escala real. La cirugía virtual también es una herramienta docente y de comunicación muy poderosa para presentar, entrenar y documentar casos y procedimientos para otros colegas, residentes y pacientes.

8.1 DISTRACCIÓN FACIAL

Desde que se describiera el uso de la planificación asistida por ordenador y la cirugía virtual en el siglo pasado^{125,126}, un número cada vez mayor de protocolos de planificación digital se han descrito a lo largo de los años para el tratamiento de la craneosinostosis^{127,128}, malformaciones o defectos craneofaciales complejos^{113,129,130}, corrección del hipertelorismo^{131,132} y la distracción mandibular^{133,134}. Una vez realizada la planificación asistida por ordenador, las guías de corte y posicionamiento se imprimen en 3D para transferir la planificación virtual al paciente. En relación con la distracción de Le Fort III, Adolphs et al. informaron de un caso de un paciente con síndrome de Apert de 4 años que se sometió a una remodelación frontoorbitaria y a la distracción de Le Fort III después de la planificación virtual. Se utilizaron modelos tridimensionales para seleccionar y adaptar los dispositivos de distracción interna, pero no se utilizaron guías de corte para transferir la planificación al quirófano. En 2017, Gray et al¹²⁹ describieron un caso de planificación virtual de una osteotomía en monobloc y distracción de Le Fort II para la corrección de una hipoplasia severa del tercio medio facial en un paciente con síndrome de Apert de 11 años. Se imprimieron guías de corte para realizar las osteotomías supraorbitarias y laterales del borde orbitario y el vector para la distracción se transfirió utilizando una guía de posicionamiento para un distractor interno. Hasta el momento actual, no tenemos constancia de la descripción del uso de guías quirúrgicas para realizar la osteotomía del tabique nasal, ni se ha verificado la precisión de las guías de corte y posicionamiento en casos de distracción frontofacial.

Este estudio muestra que el sistema de guías de corte impresas en 3D interconectadas presentado ofrece una precisión con un error medio limitado al tamaño de un vóxel de la tomografía computarizada utilizada para la planificación preoperatoria. Como los flujos de trabajo en otras intervenciones (por ejemplo,

cirugía de craneosinostosis) reportan un margen de error similar¹²⁸, creemos que este sistema ofrece la precisión necesaria para este tipo de cirugía. La alta precisión es causada por la gran barra de referencia supraorbitaria. El amplio contacto óseo en combinación con una extensión de 2-3 mm en el techo orbitario permiten sólo una posición única de la guía sin necesidad de realizar un extenso deglobing adicional de los tejidos blandos. Como es fijado temporalmente, sirve como la estación de acoplamiento ideal para las guías mediales y laterales. Las conexiones en puzle con la barra de referencia permiten que las guías sean pequeñas y versátiles. La guía medial indica la línea de la osteotomía que pasa posterior al saco lagrimal y evita el desprendimiento del canto medial. La guía lateral está diseñada con una extensión para proporcionar la orientación de un escoplo recto para realizar la parte superior de la disyunción pterigomaxilar. La guía del tabique nasal está diseñada con un mango que se adapta perfectamente a un escoplo con 2 mm de espesor. El osteotomo se guía a lo largo de un trayecto de osteotomía planificado previamente para evitar la entrada en el paladar o en la base craneal. El osteotomo se inserta según la profundidad predeterminada, que está marcada con un Steri-Strip™. Aunque la serie de casos es pequeña, no se reportaron fugas de líquido cefaloraquídeo al final de la distracción.

El uso de guías de corte para realizar la osteotomía Le Fort III ha demostrado ser seguro y preciso. Puede ayudar a evitar complicaciones quirúrgicas mayores y menores, que suelen ocurrir en las áreas de osteotomía menos visibles, como el tabique nasal y la unión pterigomaxilar. Una trayectoria errónea del osteotomo en estas zonas menos visibles puede conducir a una lesión en la base craneal con fuga de líquido cefaloraquídeo o a la luxación de gérmenes dentales en la región maxilar posterior. Aunque puramente anecdótico, hemos encontrado que el margen superolateral del fragmento de Le Fort III es menos prominente al final de la distracción. Creemos que se debe a la orientación de la osteotomía lateral superior paralela al vector de distracción planificado. Conduce a una rotación menor en el

sentido de las agujas del reloj del margen superolateral del fragmento de Le Fort III, ya que sólo se permite un movimiento en el plano si el marco externo está correctamente posicionado.

Muchos estudios han demostrado la importancia de la determinación y el control de los vectores en distracción osteogénica mandibular¹³⁴⁻¹³⁶ y maxilar¹²³. Sin embargo, no se han notificado técnicas para la transferencia del vector planificado de la distracción del tercio medio facial en los casos en que se utiliza un RED sin miniplacas específicas para el paciente. Como tuvimos que diseñar diferentes sistemas de transferencia, para acabar combinándolos, notamos un aumento en la precisión de la transferencia. El método Face-bow ofrece una gran zona de contacto y múltiples zonas de apoyo, pero es engorroso y se basa en puntos de referencia cutáneos, como la glabella y la concha del pabellón auricular. Estos puntos de referencia cutáneos permiten una movilidad limitada, reflejada en la rotación errónea en sentido antihorario en el primer caso. Para evitar puntos de referencia cutáneos, se introdujo una guía oclusal. Aunque esta guía era menos engorrosa y ofrecía una mejor visibilidad, llevó a un mayor aumento en la rotación en sentido antihorario, ya que el fragmento facial tras la osteotomía de Le Fort III con los puntos de referencia dental ya no era estable y probablemente había terminado sobreimpactado mientras colocamos la guía. Combinamos el Face-bow con una guía oclusal con una extensión que se ajusta a la parte vertical del distractor RED. Se obtuvo un posicionamiento tridimensional correcto del distractor, lo que indica que se transfirió el vector correcto de distracción. Sin embargo, informamos de una alteración gradual en la posición del marco externo durante la fase de distracción debido a una fuerza pivotante. Por lo tanto, una transferencia correcta del vector no siempre es una garantía para un control del vector persistente durante la distracción (Figuras 114 y 115).

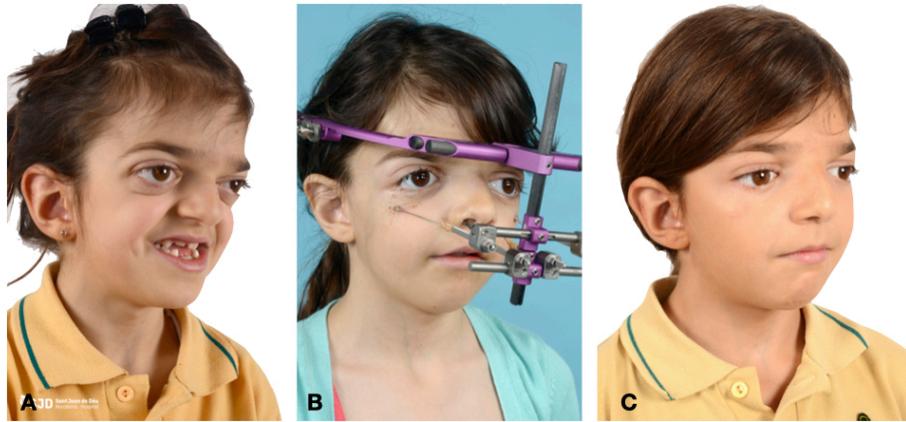


Figura 114: A Imagen prequirúrgica. B Durante el período de distracción. C Tras la retirada del distractor de la paciente 1. (figura propia).

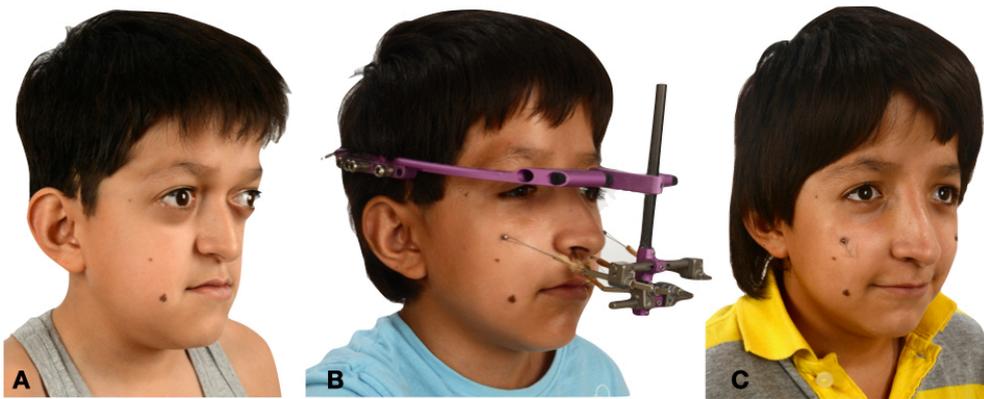


Figura 115: A Imagen prequirúrgica. B Durante el período de distracción. C Tras la retirada del distractor del paciente 5. (figura propia).

La planificación preoperatoria virtual puede llevar mucho tiempo, pero permite al cirujano evaluar correctamente la deformidad craneofacial y optimizar el plan de tratamiento¹²⁴. El tiempo y los costes adicionales pueden justificarse por el mayor uso de la visualización, la información, el aprendizaje y la documentación¹¹³. La estandarización descrita anteriormente de la osteotomía Le Fort III sirvió como una guía para nuestros ingenieros y redujo significativamente el número y la duración de las sesiones de planificación virtual. La planificación virtual conduce a un

aumento limitado del tiempo de la operación, ya que el tiempo medio para el montaje y la retirada de las guías es normalmente de 10-15 minutos. Creemos que, a medio plazo, la planificación virtual y las guías quirúrgicas podrán reducir el tiempo de funcionamiento en la cirugía de distracción frontofacial, ya que se pueden evitar muchas dificultades quirúrgicas que consumen mucho tiempo y se prevén posibles complicaciones operatorias. Un estudio reciente¹²⁸ muestra el beneficio adicional de combinar la planificación virtual, el uso de guías de corte y la navegación óptica intraoperatoria, y la combinación con navegación intraoperatoria y endoscopia podría mejorar aún más la precisión. Además, puede ayudar a desarrollar y estandarizar métodos menos invasivos, que han sido validados en estudios de cadáveres¹³⁷, pero aún no han encontrado su camino en la práctica clínica diaria.

8.2 DISTRACCIÓN MAXILAR

La distracción osteogénica es el tratamiento gold standard para la hipoplasia maxilar severa en pacientes con fisura labiopalatina. Los protocolos tradicionales abogan por la realización de una osteotomía de Le Fort I junto a distracción para los pacientes con fisura que requieren un avance del maxilar superior a 6-7 mm en el momento de la madurez esquelética^{123,138}. El protocolo de los autores es restringir este procedimiento a pacientes que requieran un avance de más de 12-13 mm dada la experiencia y buenos resultados con cirugía ortognática hasta esta distancia. Los distractores externos permiten grandes avances y modificaciones del vector durante el período de distracción; sin embargo, los pacientes no los toleran durante mucho tiempo. Los distractores internos son más cómodos para el paciente. Rachmiel et al han demostrado recientemente la estabilidad a largo plazo de la distracción maxilar interna en una gran serie^{139,140}; sin embargo, el posicionamiento es muy exigente, ya que un error de precisión conducirá a una posición final equivocada del maxilar distraído. La planificación 3D y las guías específicas de corte y posicionamiento para cada paciente permiten una alta precisión en la realización de las osteotomías y la colocación de los distractores. La Tabla 12 resume los principales pros y contras de los distractores internos y externos.

La incapacidad de alterar el vector (o trayectoria “path” ya que representa el movimiento de un segmento óseo) durante la fase de distracción y la dificultad de colocar los distractores paralelos entre sí son desventajas importantes de los distractores internos que se pueden resolver con la planificación virtual. La planificación 3D ayuda a posicionar a los distractores en el lugar correcto para que no haya necesidad de alterar el vector durante el período de distracción. Cualquier error en el vector es debido a un error en el momento de la cirugía virtual. Además, la ubicación de los distractores está determinada por las guías de posicionamiento.

| | INTERNOS | EXTERNOS (RED) |
|-----------------------|---|---|
| Ventajas | Mejor aceptación Menos estrés físico y psicológico Período de consolidación más largo Menor tasa de recidivas | Colocación más fácil No requiere segunda cirugía bajo anestesia general /sedación para la retirada Permite ajuste del vector durante la distracción Fácil de colocar y quitar Uso múltiple Longitud de distracción más larga |
| Inconvenientes | Precio Un solo uso Incapacidad para alterar el vector durante la fase de distracción Dificultad para colocar distractores paralelos entre sí Malestar relacionado con el estiramiento de los tejidos Longitud de distracción limitada Segunda cirugía para retirar los distractores | Peor aceptación Riesgo de daño intracraneal Dificil de soportar durante el período de consolidación Actividad física limitada Mayor tasa de recidivas |

Tabla 12: Ventajas e inconvenientes de los distractores internos y externos.

Se puede planificar un vector diferente para cada distractor, permitiendo así la corrección del canting maxilar y centrando la línea media hasta 1,5mm. Si se necesita una corrección mayor de la línea media, del yaw o del canting, se puede utilizar una férula intermedia para reposicionar el maxilar antes de la colocación de los distractores. Mediante esta técnica, se ha hallado una menor tasa de recidiva en comparación con la cirugía ortognática convencional². Recientemente, en el metanálisis de Jiang et al encontró una tasa de recidiva más baja después de la distracción osteogénica con distractores internos que con los distractores externos¹⁴¹.

La planificación virtual y el uso de guías de corte y posicionamiento son herramientas habituales en la cirugía craneomaxilofacial, especialmente en cirugía ortognática. Se han utilizado diferentes conceptos para transferir la planificación

quirúrgica virtual al quirófano, desde miniplacas específicas para el paciente hasta guías de corte y posicionamiento y dispositivos basados en la oclusión¹⁴²⁻¹⁴⁴. A pesar de todas estas ventajas, sólo hay unas pocas publicaciones que hacen referencia a esta ayuda tecnológica aplicada a la distracción maxilar, y aún menos las publicaciones que hayan medido la exactitud del resultado final en comparación con la planificación¹⁴⁵⁻¹⁴⁷.

Chang et al. publicaron la primera serie de Le Fort I y distracción osteogénica planificada en CAD/CAM con distractores internos para el tratamiento de la hipoplasia maxilar severa en 2017¹⁴⁸. Su estudio se centra en el método de la planificación virtual, así como en determinar la seguridad de dicho procedimiento para tratar la hipoplasia maxilar severa en pacientes que no han alcanzado la madurez esquelética tras la erupción de los caninos. Los métodos de planificación virtual que propusieron se realizaron en cuatro pacientes jóvenes (edad media: 12,8 años) y son similares a los utilizados en el presente trabajo. El protocolo seguido en nuestra serie se ha utilizado desde 2015, y se limita a pacientes esqueléticamente maduros. En el presente estudio se han utilizado varias guías: guías de corte para realizar la osteotomía de Le Fort I y guías de posicionamiento para la colocación de los distractores maxilares internos; también se han impreso guías de vector para lograr el vector de distracción planificado. A pesar de un resultado satisfactorio desde los puntos de vista funcionales, estéticos y oclusales, era necesario verificar de manera objetiva la precisión de la planificación y las guías quirúrgicas.

Los tornillos cigomáticos se consideraron la referencia más estable durante todo el proceso de distracción debido a su falta de movimiento durante todo el proceso, y por lo tanto este trabajo se centra en medir la precisión de su colocación y la precisión de la posición final maxilar de acuerdo con la planificación virtual. Los resultados muestran que el uso de los tres tipos de guía (corte, posicionamiento y guías de vector) tienen un impacto en la correcta colocación de los distractores, el maxilar avanza según el vector planificado y se logró resultado estético y oclusal satisfactorio para los cirujanos, ortodoncistas y pacientes. El hecho de que dos

distractores fueron encontrados rotos en el momento de la retirada explica la desviación del resultado planeado en estos dos pacientes.

A día de hoy, esta es la serie más grande en la literatura de la distracción maxilar planificada utilizando distractores internos. Se ha podido demostrar que la precisión de las guías de posicionamiento permite colocar la mayoría de los tornillos cigomáticos a una distancia de 0,8 a 1mm de su posición planificada y al final del proceso de distracción la posición final del maxilar tiene una precisión de 1,5mm en el 90% de su superficie. Este trabajo también muestra que la posición de los distractores tiene un impacto directo en la posición final del maxilar. El presente estudio tiene limitaciones, principalmente es una serie corta, que impidió un análisis estadístico exhaustivo. Sin embargo, este estudio señala que la planificación virtual, y el uso de guías de corte, posicionamiento y de vector pueda generalizarse ya que ayudan a lograr resultados precisos y predecibles al realizar distracciones maxilares con distractores internos de una manera estandarizada. Los pacientes con fisura labiopalatina e hipoplasia maxilar severa son un grupo de pacientes muy complejo, en el que cualquier ayuda a la precisión y un resultado predecible después del avance son bienvenidos.

8.3 DISTRACCIÓN MANDIBULAR

La hipoplasia mandibular produce a una disfunción oclusal, mala calidad de vida y un desequilibrio en la estética facial¹⁴⁹. Puede ser debida a patologías congénitas, como en cuatro de nuestros pacientes y deficiencias de crecimiento mandibular secundarias a enfermedades degenerativas¹⁵⁰, como la atrofia muscular espinal proximal tipo 2, como en nuestro otro paciente, entre otros. La presencia de hipoplasia mandibular en estos pacientes provoca una reducción del espacio orofaríngeo, con la consiguiente obstrucción mecánica a la respiración. Este proceso forma un síndrome complejo de episodios apneicos con reducción vital de los niveles de saturación de oxígeno durante el sueño, con problemas cardíacos y respiratorios secundarios¹⁵¹, teniendo este problema tres de nuestros cinco pacientes.

La distracción osteogénica se basa en la neoformación ósea entre dos fragmentos óseos tras la tensión gradual^{1,152}. Esta técnica fue descrita en 1905 por Codivilla para su uso en cirugía ortopédica⁶⁸. La distracción osteogénica fue propuesta para la elongación mandibular en una cirugía histórica en mayo de 1989, llevada a cabo por McCarthy et al²⁰, como una técnica eficaz y segura para aumentar las dimensiones mandibulares en pacientes jóvenes con desequilibrio facial severo. La ventaja del tratamiento mediante distracción osteogénica es la naturaleza autóloga de la reconstrucción y su reparación dinámica²³. No sólo genera hueso local, que es similar al del tejido óseo normal¹⁵³, sino que también conduce a una neogénesis gradual de los tejidos blandos^{148,154,155}. Predecir la respuesta mandibular preoperatoriamente es vital para maximizar las ventajas de esta técnica¹⁵⁶. Este artículo describe 6 objetivos a tener en cuenta en la planificación virtual para la distracción mandibular:

1. Aumentar la dimensión vertical de la rama mandibular hipoplásica
2. Restablecer la posición transversal de la rama

3. Aumentar la proyección o dimensión anteroposterior del cuerpo mandibular
4. Mejorar las relaciones dentoalveolares
5. Nivelar del plano oclusal
6. Aumentar la proyección del mentón y sobre corregirlo hacia el lado contralateral en pacientes unilaterales.

Se intenta sobre corregir aproximadamente un 20% para reducir la recidiva, lo que seguramente habrá dado el potencial de crecimiento nulo de la mandíbula en estos casos como lo describe Meazzini et al¹⁵⁷. Esta tecnología permite realizar múltiples simulaciones de diversas osteotomías y movimientos esqueléticos para evaluar múltiples planes quirúrgicos y decidir cuál es el mejor para cada paciente^{122,158,159}. Hay datos limitados en la literatura sobre el uso de guías de corte a medida impresas en 3D en distracción mandibular. En opinión del autor, tener la guía impresa en 3D, no sólo facilita la cirugía, sino que también reduce el tiempo intraoperatorio, además de ser un método más para asegurar la dirección del vector de la distracción. Una sola guía tiene la información del posicionamiento de los tornillos y la línea de osteotomía. Estas guías hechas a medida se utilizan en campos limitados además de la cirugía maxilofacial, como en la cirugía ortopédica^{160,161,162} y la cirugía oncológica¹⁶³. El futuro será ampliar el uso de estas guías en campos más quirúrgicos, debido a que la precisión de los modelos impresos está más allá de toda duda y la fiabilidad de estas férulas generadas ya ha sido validada^{111,159,164,165}. En cuanto a nuestros resultados, suponemos que las diferencias son mínimas entre la planificación virtual y el resultado final. Aún así, esto es sólo subjetivo, por lo que buscamos artículos que analizan estos mismos resultados y sólo se encontró un artículo con un análisis similar de los resultados. Badiali et al¹³⁴ encontraron una diferencia media de error de 6,26° en el ángulo fronto-dorsal del distractor, similar al nuestro (6,4° en el lado derecho; 4,82° en el lado izquierdo). La mayoría de los artículos son descriptivos, comparando sólo el resultado general final con la fusión

de imágenes entre la exploración previa y posterior a la tomografía computarizada, como Shi et al han hecho¹⁶⁶.

El único paciente en el que no se pudo realizar el análisis de la línea osteotomía fue en el tercero, por lo que se realizó un análisis superponiendo las imágenes entre la tomografía computarizada antes y después de la distracción, observando en el 90% de la superficie una diferencia de menos de 1,15mm. El 10% restante no incluido en el análisis se debió a errores que se consideran asumidos, como, por ejemplo, que la niña ha crecido y los distractores están en la superficie de comparación posterior, mientras que en la superficie anterior no.

Existen diversas variables que pueden afectar a los resultados, como Sun et al y Vale et al describen^{159,167}, con discrepancias inesperadas entre la planificación virtual y el resultado real¹⁶⁸. A veces, la remodelación de tejidos blandos ocurre después de cambios en el tejido duro^{122,169}. Por otro lado, el tamaño de la guía de corte debe reducirse lo suficiente como para evitar la disección excesiva de los tejidos blandos que puede predisponer a la necrosis posterior o una falta de la consolidación de los tejidos. Una opción para reducir el tamaño de la guía de corte es dividirlos en dos piezas que se unen como un puzle. Además, podemos encontrar cierta movilidad de la misma debido a la falta de retención ya que el ángulo mandibular es una superficie plana. Esta "movilidad" presentada por la guía se puede reducir mediante la fijación de la guía con dos tornillos al realizar la osteotomía, como podemos ver en la figura 90. Tal vez por esta razón hemos visto esta pequeña diferencia en la posición de los tornillos posteriores (menos de dos milímetros). Una guía inadecuada debido a un error de ingeniería podría suceder también como describió Efanov recientemente¹⁷⁰.

Las variaciones en la posición y dirección de la osteotomía, el distractor y los tornillos posteriores han sido muy leves gracias al uso de la guía hecha a medida en 3D. En las variaciones que hemos visto, hay varias cuestiones a considerar:

1. Sólo se analiza la posición de la osteotomía y los tornillos posteriores, y, por lo tanto, el distractor, porque son tres variables que podemos "controlar" utilizando la guía, ya que el cóndilo y la apófisis coronoides se han utilizado como área de referencia. Los tornillos anteriores no se analizan debido a la posición final de la mandíbula dado que durante este tipo de distracción no se pueden controlar al 100%, sin tener un área de referencia ("punto fijo") para analizarlos.
2. Aunque la rama ascendente mandibular (cóndilo y apófisis coronoides) fue elegida como el área de referencia, sabemos que, durante el proceso de distracción, tiene un movimiento de rotación y medialización posterior, que, una vez completada la distracción, puede conducir a errores en las mediciones de comparación de superficie, como explica Tan et al¹⁵⁶.
3. Otro factor a considerar es la fuerza muscular ejercida por los músculos masticatorios del paciente, como el masetero, el pterigoideo medial, el temporal y el milohioideo, y cómo estos músculos afectan el movimiento de la distracción¹⁷¹.
4. La guía de corte presenta la línea de osteotomía sólo de la zona vestibular de la rama mandibular, dejando espacio para el error en el lado bucal de la osteotomía. Se realiza para evitar la desperiostización excesiva y evitar lesionar el nervio dentario inferior.
5. Nuestros casos son pacientes en crecimiento y puede haber ligeras diferencias entre las tomografías computarizadas.

Las limitaciones de este subestudio son el pequeño número de pacientes y la falta de realización de una tomografía computarizada intraoperatoria o postoperatoria inmediata para evaluar la colocación de los tornillos anteriores. La TC no se realizó para limitar la radiación en pacientes en crecimiento.

La planificación virtual y la impresión en 3D han revolucionado la planificación quirúrgica, facilitando el tratamiento quirúrgico y mejorando el resultado final.

Como hemos visto, en nuestra muestra, la variación entre la línea osteotomía, y la posición del distractor y los tornillos posteriores han sido menores. Por lo tanto, el resultado se ha vuelto más predecible.

9 CONCLUSIONES

9 CONCLUSIONES

- La planificación quirúrgica virtual y el uso de guías de corte impresas en 3D es una técnica fiable para diseñar las osteotomías faciales y el vector de distracción, anticipar posibles dificultades y evitar eventos adversos en los pacientes con fisura labiopalatina o síndromes craneofaciales.
- Se han desarrollado nuevos diseños de guías de corte y de posicionamiento de los distractores para la realización de la osteotomía de Le Fort I, Le Fort III y osteotomías mandibulares.
- La posición final de los maxilares, así como de los distractores ha sido muy precisa respecto a la planificación virtual.
- Se han estandarizado los procedimientos quirúrgicos de distracción craneofacial. Tanto desde la planificación virtual como la realización de las osteotomías asistidas con guías impresas en 3D, la colocación de los distractores y la activación posterior.

**10 LIMITACIONES Y
FUTURAS LÍNEAS DE
INVESTIGACIÓN**

10 LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- La principal limitación de este estudio es el número de pacientes. Dado que son patologías con una muy baja incidencia y una tecnología novedosa y con un elevado coste es complicado obtener muestras amplias. Es necesario continuar esta línea de investigación con los sucesivos pacientes, así como compartir el protocolo de tratamiento con otros hospitales pediátricos de referencia nacionales e internacionales para poder aumentar la n de pacientes.
- Las líneas de investigación actuales están dirigidas hacia el desarrollo de software para la planificación quirúrgica, nuevos materiales, material de osteosíntesis a medida del paciente (Patient Specific Implants), guías de corte y posicionamiento más pequeñas con información impresa en otros colores como texto o mediciones.
- Otro campo que complementará la planificación 3D es la realidad aumentada para poder visualizar en el campo quirúrgico la planificación virtual, revisar las osteotomías y lugar de posicionamiento de la osteosíntesis.
- La navegación y TC/CBCT intraoperatorios permitirán aumentar la seguridad y verificación en tiempo real de los resultados de la planificación. No obstante, el elevado coste de estas instalaciones lo restringirán a los centros más avanzados a corto y medio plazo.

**11 REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lazarín, J., Esteban, S. & Santana, F. H. B. Design of an internal distraction device for maxillary advancement in cleft-lip-palate patients Diseño de un distractor interno para el avance maxilar en pacientes. *Rev. Mex. Ortod.* 2, e159–e165 (2014).
2. Richardson, S. *et al.* Tooth-Borne Anterior Maxillary Distraction for Cleft Maxillary Hypoplasia: Our Experience With 147 Patients. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 1–15 (2016) doi:10.1016/j.joms.2016.08.036.
3. Martínez, A., Menéndez, M., Solís, J. F., Jiménez, P. G. & Monsalve, F. Cirugía Oral y Maxilofacial Original article Maxillary advancement in cleft palate patients with intraoral distraction &. 7, 123–131 (2015).
4. Rachmiel, A., Even-almos, M. & Aizenbud, D. Treatment of maxillary cleft palate : Distraction osteogenesis vs . orthognathic surgery. doi:10.4103/2231-0746.101336.
5. Costanza, M., Basile, V., Mazzoleni, F., Bozzetti, A. & Brusati, R. Long-term follow-up of large maxillary advancements with distraction osteogenesis in growing and non-growing cleft lip and palate patients. *Br. J. Plast. Surg.* 68, 79–86 (2015).
6. Molina, F. Distraction osteogenesis for the cleft lip and palate patient. *Clin. Plast. Surg.* 31, 291–302 (2004).
7. Polley, J. W. & Figueroa, A. A. Rigid external distraction: its application in cleft maxillary deformities. *Plast. Reconstr. Surg.* 102, 1360–1364 (1998).
8. Ansari, E. *et al.* Skeletal and soft tissue changes and stability in cleft lip and palate patients after distraction osteogenesis using a new intraoral maxillary device. *J. Cranio-Maxillofacial Surg.* 43, 323–328 (2015).
9. Mărginean, C., Săsăran, V., Mărginean, C. O., Meliț, L. E. & Mărginean, M. O. Prenatal diagnosis of cleft lip and cleft lip palate - A case series. *Med. Ultrason.* 20, 531–535 (2018).
10. Hassan, W. A. & Lees, C. C. Facial cleft detected: Is the palate normal? *Best Pract. Res. Clin. Obstet. Gynaecol.* 28, 379–389 (2014).

11. Maarse, W. *et al.* A practical prenatal ultrasound classification system for common oral clefts. *Prenat. Diagn.* 35, 894–900 (2015).
12. Kernahan, D. A. & Stark, R. B. A new classification for cleft lip and cleft palate. *Plast. Reconstr. Surg. Transplant. Bull.* 22, 435–441 (1958).
13. Khan, M. *et al.* A revised classification of the cleft lip and palate. *Can. J. Plast. Surg.* 21, 48–50 (2013).
14. Kernahan, D. A. The striped Y-a symbolic classification for cleft lip and palate. *Plast. Reconstr. Surg.* 47, 469–470 (1971).
15. Allori, A., Mulliken, J., Meara, J., Shusterman, S. & Marcus, J. Classification of Cleft Lip/Palate: Then and Now. *Cleft Palate. Craniofac. J.* 54, (2015).
16. Walker, N. J. & Podda, S. Cleft Lip. in (2020).
17. Gómez, O. J., Barón, O. I. & Peñarredonda, M. L. Pierre Robin Sequence: An Evidence-Based Treatment Proposal. *J. Craniofac. Surg.* 29, 332–338 (2018).
18. Giudice, A. *et al.* Pierre Robin sequence: A comprehensive narrative review of the literature over time. *J. Stomatol. oral Maxillofac. Surg.* 119, 419–428 (2018).
19. Hsieh, S. T. & Woo, A. S. Pierre Robin Sequence. *Clin. Plast. Surg.* 46, 249–259 (2019).
20. McCarthy, J. G., Schreiber, J., Karp, N., Thorne, C. H. & Grayson, B. H. Lengthening the human mandible by gradual distraction. *Plast. Reconstr. Surg.* 89, 1–10 (1992).
21. Buchanan, E. P., Xue, A. S. & Hollier, L. H. J. Craniofacial syndromes. *Plast. Reconstr. Surg.* 134, 128e-153e (2014).
22. Brandstetter, K. A. & Patel, K. G. Craniofacial Microsomia. *Facial Plast. Surg. Clin. North Am.* 24, 495–515 (2016).
23. Chen, Q., Zhao, Y., Shen, G. & Dai, J. Etiology and Pathogenesis of Hemifacial Microsomia. *J. Dent. Res.* 97, 1297–1305 (2018).
24. Kaban, L. B., Padwa, B. L. & Mulliken, J. B. Surgical correction of mandibular hypoplasia in hemifacial microsomia: the case for treatment in

- early childhood. *J. oral Maxillofac. Surg. Off. J. Am. Assoc. Oral Maxillofac. Surg.* 56, 628–638 (1998).
25. Al-Namnam, N. M., Hariri, F., Thong, M. K. & Rahman, Z. A. Crouzon syndrome: Genetic and intervention review. *J. oral Biol. craniofacial Res.* 9, 37–39 (2019).
 26. Crouzon, O. Dysostose cranio-faciale héréditaire. *Bull. Mem. Soc. Med. Hop. Paris* 33, 545–555 (1912).
 27. Helman, S. N., Badhey, A., Kadakia, S. & Myers, E. Revisiting Crouzon syndrome: reviewing the background and management of a multifaceted disease. *Oral Maxillofac. Surg.* 18, 373–379 (2014).
 28. Conrady, C. D. & Patel, B. C. Crouzon Syndrome. StatPearls Jan (2020).
 29. Conrady, C. D., Patel, B. C. & Sharma, S. Apert Syndrome. StatPearls (2020).
 30. Das, S. & Munshi, A. Research advances in Apert syndrome. *J. oral Biol. craniofacial Res.* 8, 194–199 (2018).
 31. M Das, J. & Winters, R. Pfeiffer Syndrome. StatPearls (2020).
 32. Vogels, A. & Fryns, J.-P. Pfeiffer syndrome. *Orphanet J. Rare Dis.* 1, 19 (2006).
 33. Giancotti, A. *et al.* Pfeiffer syndrome: literature review of prenatal sonographic findings and genetic diagnosis. *J. Matern. neonatal Med. Off. J. Eur. Assoc. Perinat. Med. Fed. Asia Ocean. Perinat. Soc. Int. Soc. Perinat. Obstet.* 30, 2225–2231 (2017).
 34. Hopper, R. A., Kapadia, H., Susarla, S., Bly, R. & Johnson, K. Counterclockwise Craniofacial Distraction Osteogenesis for Tracheostomy-Dependent Children with Treacher Collins Syndrome. *Plast. Reconstr. Surg.* 142, 447–457 (2018).
 35. Aljerian, A. & Gilardino, M. S. Treacher Collins Syndrome. *Clin. Plast. Surg.* 46, 197–205 (2019).
 36. Plomp, R. G. *et al.* Treacher Collins Syndrome: A Systematic Review of Evidence-Based Treatment and Recommendations. *Plast. Reconstr. Surg.* 137, 191–204 (2016).

37. Steinhauser, E. W. Historical development of orthognathic surgery. *J. Craniomaxillofac. Surg.* 24, 195–204 (1996).
38. Trauner, R. & Obwegeser, H. The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. I. Surgical procedures to correct mandibular prognathism and reshaping of the chin. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 10, 677–89; contd (1957).
39. Obwegeser, H. L. Surgical correction of small or retrodisplaced maxillae. The ‘dish-face’ deformity. *Plast. Reconstr. Surg.* 43, 351–365 (1969).
40. Trauner, R. & Obwegeser, H. The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. II. Operating methods for microgenia and distoclusion. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 10, 899–909 (1957).
41. Trauner, R. & Obwegeser, H. The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. II. Operating methods for microgenia and distoclusion. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 10, 787–92; contd (1957).
42. Obwegeser, H. The indications for surgical correction of mandibular deformity by the sagittal splitting technique. *Br. J. Oral Surg.* 1, 157–171 (1964).
43. Converse, J. M. & Horowitz, S. L. The surgical-orthodontic approach to the treatment of dentofacial deformities. *Am. J. Orthod.* 55, 217–243 (1969).
44. Angle, E. *Treatment of malocclusion of the teeth and fractures of the maxillae, Angle’s sistema.* (SS White Dental Mfg Co, 1900).
45. Giovanna, B., Chavarria, N., Martínez, M. & Amaya, M. Maloclusión clase III. *Rev. Tamé* 3, 279–282 (2014).
46. Fort, R. Le. Étude expérimentale sur les fractures de la mâchoire supérieure. *Rev. chir. Paris* 23, 208–227 (1901).
47. Tessier, P. The classic reprint. Experimental study of fractures of the upper jaw. I and II. Rene Le Fort, M.D. *Plast. Reconstr. Doc. UCAM/ARTICLES/fort1972.pdf Surg.* 50, 497–506 contd (1972).
48. Kim, H. S., Kim, S. E. & Lee, H. T. Management of Le Fort I fracture. *Arch.*

- Craniofacial Surg.* 18, 5–8 (2017).
49. Moloney, F. & Worthington, P. The origin of the Le Fort I maxillary osteotomy: Cheever's operation. *J. Oral Surg.* 39, 731–734 (1981).
 50. DW, C. Displacement of the upper jaw. *Med Surg Rep Bost. City Hosp* 1, 156 (1870).
 51. Buchanan, E. P. & Hyman, C. H. LeFort I Osteotomy. *Semin. Plast. Surg.* 27, 149–154 (2013).
 52. Sakamoto, T. *et al.* Clinical statistical investigation of cleft lip and palate patients aged over 18 years at Department of Orthodontics, Suidobashi Hospital, Tokyo Dental College. *Bull. Tokyo Dent. Coll.* 49, 33–39 (2008).
 53. Scolozzi, P. Distraction osteogenesis in the management of severe maxillary hypoplasia in cleft lip and palate patients. *J. Craniofac. Surg.* 19, 1199–1214 (2008).
 54. Li, W., Zhang, L., Xi, M. & Wang, T. Modified technique of U-shaped segmental osteotomy of the palate in the correction of vertical and transverse maxillary deformities. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 57, 288–289 (2019).
 55. Hueto-Madrid, J. A. & Gutiérrez-Santamaria, J. Complicaciones quirúrgicas de la cirugía ortognática: presentación de tres casos y revisión de la literatura. *Revista Española de Cirugía Oral y Maxilofacial.* vol. 34 56–74 (2012).
 56. Kim, Y.-K. Complications associated with orthognathic surgery. *J. Korean Assoc. Oral Maxillofac. Surg.* 43, 3–15 (2017).
 57. Giroto, J. A. *et al.* Blindness as a complication of Le Fort osteotomies: role of atypical fracture patterns and distortion of the optic canal. *Plast. Reconstr. Surg.* 102, 1403–1409 (1998).
 58. Moran, I., Virdee, S., Sharp, I. & Sulh, J. Postoperative Complications Following LeFort 1 Maxillary Advancement Surgery in Cleft Palate Patients: A 5-Year Retrospective Study. *Cleft palate-craniofacial J. Off. Publ. Am. Cleft Palate-Craniofacial Assoc.* 55, 231–237 (2018).
 59. Gillies, H. & Harrison, S. H. Operative correction by osteotomy of recessed malar maxillary compound in a case of oxycephaly. *Br. J. Plast. Surg.* 3, 123–127 (1950).

60. Tessier, P. The definitive plastic surgical treatment of the severe facial deformities of craniofacial dysostosis. Crouzon's and Apert's diseases. *Plast. Reconstr. Surg.* 48, 419–442 (1971).
61. Mattioli, B., Iacoviello, P., Aldiano, C. & Verrina, G. Subcranial Le Fort III Advancement with Equine-Derived Bone Grafts to Correct Syndromic Midfacial Hypoplasia: A Case Report. *Journal of maxillofacial and oral surgery* vol. 17 296–300 (2018).
62. Saltaji, H. *et al.* Le Fort III distraction osteogenesis versus conventional Le Fort III osteotomy in correction of syndromic midfacial hypoplasia: a systematic review. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 72, 959–972 (2014).
63. Nout, E. *et al.* Advancement of the midface, from conventional Le Fort III osteotomy to Le Fort III distraction: review of the literature. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 37, 781–789 (2008).
64. Rachmiel, A. & Shilo, D. The use of distraction osteogenesis in oral and maxillofacial surgery. *Ann. Maxillofac. Surg.* 5, 146–147 (2015).
65. Spiegelberg, B. *et al.* Ilizarov principles of deformity correction. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* 92, 101–105 (2010).
66. Ilizarov, G. A. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 263–285 (1989).
67. Ilizarov, G. A. Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 8–26 (1990).
68. Codivilla, A. The classic: On the means of lengthening, in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity. 1905. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 466, 2903–2909 (2008).
69. Karp, N. S., Thorne, C. H., McCarthy, J. G. & Sissons, H. A. Bone lengthening in the craniofacial skeleton. *Ann. Plast. Surg.* 24, 231–237 (1990).
70. McCarthy, J. G. The role of distraction osteogenesis in the reconstruction of the mandible in unilateral craniofacial microsomia. *Clin. Plast. Surg.* 21, 625–631 (1994).

71. McCarthy, J. G. *et al.* Introduction of an intraoral bone-lengthening device. *Plast. Reconstr. Surg.* 96, 978–981 (1995).
72. Flores, R. L., Deluccia, N., Olikier, A. & McCarthy, J. G. Creating a virtual surgical atlas of craniofacial procedures: Part II. Surgical animations. *Plast. Reconstr. Surg.* 126, 2093–2101 (2010).
73. Shetye, P. R., Catterson, E. J., Grayson, B. H. & McCarthy, J. G. Soft-tissue profile changes following early Le Fort III distraction in growing children with syndromic craniosynostosis. *Plast. Reconstr. Surg.* 132, 945–954 (2013).
74. Patel, P. A., Shetye, P. R., Warren, S. M., Grayson, B. H. & McCarthy, J. G. Five-Year Follow-Up of Midface Distraction in Growing Children with Syndromic Craniosynostosis. *Plast. Reconstr. Surg.* 140, 794e-803e (2017).
75. Ali-Khan, S. *et al.* Treacher Collins Syndrome and Tracheostomy: Decannulation Using Mandibular Distraction Osteogenesis. *Ann. Plast. Surg.* 81, 305–310 (2018).
76. Gibson, T. L., Grayson, B. H., McCarthy, J. G. & Shetye, P. R. Maxillomandibular and occlusal relationships in preadolescent patients with syndromic craniosynostosis treated by LeFort III distraction osteogenesis: 10-year surgical and phenotypic stability. *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.* 156, 779–790 (2019).
77. Polley, J. W. & Figueroa, A. A. Management of severe maxillary deficiency in childhood and adolescence through distraction osteogenesis with an external, adjustable, rigid distraction device. *J. Craniofac. Surg.* 8, 181–5; discussion 186 (1997).
78. Molina, F., Ortiz Monasterio, F., de la Paz Aguilar, M. & Barrera, J. Maxillary distraction: aesthetic and functional benefits in cleft lip-palate and prognathic patients during mixed dentition. *Plast. Reconstr. Surg.* 101, 951–963 (1998).
79. Molina, F. Distraction osteogenesis for the cleft lip and palate patient. *Clin. Plast. Surg.* 31, 291–302 (2004).
80. Swennen, G., Colle, F., De May, A. & Malevez, C. Maxillary distraction in cleft lip palate patients: a review of six cases. *J. Craniofac. Surg.* 10, 117–

- 122 (1999).
81. Rachmiel, A., Laufer, D., Jackson, I. T. & Lewinson, D. Midface membranous bone lengthening: A one-year histological and morphological follow-up of distraction osteogenesis. *Calcif. Tissue Int.* 62, 370–376 (1998).
 82. Zheng, Y. *et al.* Rigid External Distraction with Intranasal Bone-borne Traction Hooks for Midfacial Hypoplasia. *Sci. Rep.* 8, 9948 (2018).
 83. Minami, K. *et al.* Maxillary distraction osteogenesis in cleft lip and palate patients with skeletal anchorage. *Cleft Palate. Craniofac. J.* 44, 137–141 (2007).
 84. Chin, M. & Toth, B. A. Distraction osteogenesis in maxillofacial surgery using internal devices: review of five cases. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 54, 45–53; discussion 54 (1996).
 85. McCarthy, J. G. Distraction osteogenesis in maxillofacial surgery using internal devices: Review of five cases. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 54, 54 (1996).
 86. Weinzweig, J., Baker, S. B., Mackay, G. J., Whitaker, L. A. & Bartlett, S. P. Immediate versus delayed midface distraction in a primate model using a new intraoral internal device. *Plast. Reconstr. Surg.* 109, 1600–1610 (2002).
 87. Kessler, P., Wiltfang, J., Schultze-Mosgau, S., Hirschfelder, U. & Neukam, F. W. Distraction osteogenesis of the maxilla and midface using a subcutaneous device: report of four cases. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 39, 13–21 (2001).
 88. Wiltfang, J., Hirschfelder, U., Neukam, F. W. & Kessler, P. Long-term results of distraction osteogenesis of the maxilla and midface. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 40, 473–479 (2002).
 89. Stalmans, K. *et al.* Cephalometric evaluation of maxillary advancement with an internal distractor in an adult boxer dog. *Orthod. Craniofac. Res.* 6, 104–111 (2003).
 90. Nadjmi, N., Schutyser, F. & Van Erum, R. Trans-sinusal maxillary distraction for correction of midfacial hypoplasia: long-term clinical results. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 35, 885–896 (2006).

91. Rustemeyer, J., Busch, A. & Bremerich, A. Limitations of internal distraction devices in mature patients with cleft lip and palate and severe midface hypoplasia. *Journal of maxillofacial and oral surgery* vol. 10 328–333 (2011).
92. Bevilacqua, R. G., Ritoli, E.-L., Kang, C., Mabry, K. & Castiglione, C. L. Midmaxillary internal distraction osteogenesis: ideal surgery for the mature cleft patient. *Plast. Reconstr. Surg.* 121, 1768–1778 (2008).
93. Block, M. S., Cervini, D., Chang, A. & Gottsegen, G. B. Anterior maxillary advancement using tooth-supported distraction osteogenesis. *J. oral Maxillofac. Surg. Off. J. Am. Assoc. Oral Maxillofac. Surg.* 53, 561–565 (1995).
94. Liou, E. J., Chen, P. K., Huang, C. S. & Chen, Y. R. Interdental distraction osteogenesis and rapid orthodontic tooth movement: a novel approach to approximate a wide alveolar cleft or bony defect. *Plast. Reconstr. Surg.* 105, 1262–1272 (2000).
95. Tong, A. C., Yan, B. S. & Chan, T. C.-K. Use of interdental distraction osteogenesis for orthodontic tooth alignment and correction of maxillary hypoplasia: a case report. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 41, 185–187 (2003).
96. Chacko, T., Vinod, S., Mani, V., George, A. & Sivaprasad, K. K. Management of Cleft Maxillary Hypoplasia with Anterior Maxillary Distraction: Our Experience. *J. Maxillofac. Oral Surg.* 13, 550–555 (2014).
97. Srivastava, D., Ghassemi, A., Ghassemi, M., Showkatbakhsh, R. & Jamilian, A. Use of anterior maxillary distraction osteogenesis in two cleft lip and palate patients. *National journal of maxillofacial surgery* vol. 6 80–83 (2015).
98. Upadhyay, N., Singh, A., Prashad, V. & Upadhyaya, D. Use of hyrax distractor in maxillary hypoplasia associated with cleft lip and palate patients. *J. Cleft Lip Palate Craniofacial Anomalies* 6, 17–22 (2019).
99. Lo, L.-J., Hung, K.-F. & Chen, Y.-R. Blindness as a complication of Le Fort I osteotomy for maxillary distraction. *Plast. Reconstr. Surg.* 109, 688–700 (2002).
100. Jebblaoui, Y., Morand, B., Brix, M., Lebeau, J. & Bettega, G. [Maxillary

- distracton complications in cleft patients]. *Rev. Stomatol. Chir. Maxillofac.* 109, 218–24, discussion 224-5 (2008).
101. Tung, T. C., Chen, Y. R. & Bendor-Samuel, R. Surgical complications of the Le Fort I osteotomy--a retrospective review of 146 cases. *Chang. yi xue za zhi* 18, 102–107 (1995).
 102. O'Neil, M. *et al.* Validation of a new method for building a three-dimensional physical model of the skull and dentition. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 50, 49–54 (2012).
 103. Swennen, G. R. J., Mollemans, W. & Schutyser, F. Three-dimensional treatment planning of orthognathic surgery in the era of virtual imaging. *J. oral Maxillofac. Surg. Off. J. Am. Assoc. Oral Maxillofac. Surg.* 67, 2080–2092 (2009).
 104. Rubio-Palau, J.; Hueto-Madrid, J. A.; González-Lagunas, J. Planificación 3D en cirugía ortognática. *Rev. Esp. Ortod.* 42, 17–21 (2012).
 105. Xia, J. J., Gateno, J. & Teichgraeber, J. F. New clinical protocol to evaluate craniomaxillofacial deformity and plan surgical correction. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 67, 2093–2106 (2009).
 106. Gateno, J., Xia, J. J. & Teichgraeber, J. F. New 3-dimensional cephalometric analysis for orthognathic surgery. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 69, 606–622 (2011).
 107. Walker, F., Ayoub, A. F., Moos, K. F. & Barbenel, J. Face bow and articulator for planning orthognathic surgery: 1 face bow. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 46, 567–572 (2008).
 108. Ellis, E. 3rd, Tharanon, W. & Gambrell, K. Accuracy of face-bow transfer: effect on surgical prediction and postsurgical result. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 50, 562–567 (1992).
 109. Orentlicher, G., Goldsmith, D. & Horowitz, A. Applications of 3-dimensional virtual computerized tomography technology in oral and maxillofacial surgery: current therapy. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 68, 1933–1959 (2010).
 110. Gateno, J. *et al.* Clinical feasibility of computer-aided surgical simulation (CASS) in the treatment of complex cranio-maxillofacial deformities. *J. Oral*

- Maxillofac. Surg.* 65, 728–734 (2007).
111. Aboul-Hosn Centenero, S. & Hernandez-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.* 40, 162–168 (2012).
 112. Bell, R. B. Computer planning and intraoperative navigation in craniomaxillofacial surgery. *Oral Maxillofac. Surg. Clin. North Am.* 22, 135–156 (2010).
 113. Adolphs, N. *et al.* Virtual planning for craniomaxillofacial surgery-7 years of experience. *J. Craniomaxillofac. Surg.* 42, e289-95 (2014).
 114. Wagner, A., Rasse, M., Millesi, W. & Ewers, R. Virtual reality for orthognathic surgery: the augmented reality environment concept. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 55, 453–456 (1997).
 115. Mischkowski, R. A. *et al.* Application of an augmented reality tool for maxillary positioning in orthognathic surgery – A feasibility study. *J. Cranio-Maxillofacial Surg.* 34, 478–483 (2006).
 116. Badiali, G. *et al.* Augmented reality as an aid in maxillofacial surgery: validation of a wearable system allowing maxillary repositioning. *J. Craniomaxillofac. Surg.* 42, 1970–1976 (2014).
 117. Ayoub, A. & Pulijala, Y. The application of virtual reality and augmented reality in Oral & Maxillofacial Surgery. *BMC Oral Health* 19, 238 (2019).
 118. Sesenna, E., Magri, A. S., Magnani, C., Brevi, B. C. & Anghinoni, M. L. Mandibular distraction in neonates: indications, technique, results. *Ital. J. Pediatr.* 38, 7 (2012).
 119. Jensen, J., Kùseler, A., Klit Pedersen, T. & Norholt, S. Premaxillary Osteotomy and Bone Grafting for Secondary BCLP Repair - Long-Term Evaluation of Growth. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 69, e16–e17 (2011).
 120. Sierra, N. E. *et al.* Surgical Repositioning of the Premaxilla Using a Minimally Invasive Endonasal Approach. *Cleft Palate-Craniofacial J.* (2018) doi:10.1597/16-057.
 121. Steinbacher, D. M. Three-Dimensional Analysis and Surgical Planning in

- Cranio-maxillofacial Surgery. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 73, S40-56 (2015).
122. Rubio-Palau, J. *et al.* Three-dimensional planning in craniomaxillofacial surgery. *Ann. Maxillofac. Surg.* 6, 281–286 (2016).
 123. Gateno, J., Teichgraeber, J. F. & Xia, J. J. Three-dimensional surgical planning for maxillary and midface distraction osteogenesis. *J. Craniofac. Surg.* 14, 833–9 (2003).
 124. Markiewicz, M. R. & Bell, R. B. Modern concepts in computer-assisted craniomaxillofacial reconstruction. *Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 19, 295–301 (2011).
 125. Altobelli, D. E. *et al.* Computer-assisted three-dimensional planning in craniofacial surgery. *Plast. Reconstr. Surg.* 92, 576–577 (1993).
 126. Lo, L. J., Marsh, J. L., Vannier, M. W. & Patel, V. V. Craniofacial computer-assisted surgical planning and simulation. *Clin. Plast. Surg.* 21, 501–516 (1994).
 127. Chim, H., Wetjen, N. & Mardini, S. Virtual surgical planning in craniofacial surgery. *Semin. Plast. Surg.* 28, 150–158 (2014).
 128. García-Mato, D. *et al.* Craniostylosis surgery: workflow based on virtual surgical planning, intraoperative navigation and 3D printed patient-specific guides and templates. *Sci. Rep.* 9, 17691 (2019).
 129. 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. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* 97, 163–169 (2017).
 130. Laure, B. *et al.* Virtual 3D planning of osteotomies for craniostyloses and complex craniofacial malformations. *Neurochirurgie* 65, 269–278 (2019).
 131. Gonzalez, A. M. *et al.* Hypertelorism: The Importance of Three-Dimensional Imaging and Trends in the Surgical Correction by Facial Bipartition. *Plast. Reconstr. Surg.* 115, (2005).
 132. Schlund, M., Paré, A., Joly, A. & Laure, B. Computer-Assisted Surgery in Facial Bipartition Surgery. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 76, 1094.e1-1094.e7 (2018).

133. Chen, Y. *et al.* Three-Dimensional Preoperative Design of Distraction Osteogenesis for Hemifacial Microsomia. *J. Craniofac. Surg.* 25, (2014).
134. Badiali, G., Cutolo, F., Roncari, A., Marchetti, C. & Bianchi, A. Simulation-guided navigation for vector control in pediatric mandibular distraction osteogenesis. *J. Cranio-Maxillo-Facial Surg. Off. Publ. Eur. Assoc. Cranio-Maxillo-Facial Surg.* 45, 969–980 (2017).
135. Molina, F. Mandibular Distraction Osteogenesis: A Clinical Experience of the Last 17 Years. *J. Craniofac. Surg.* 20, (2009).
136. Vendittelli, B. L. *et al.* The Importance of Vector Selection in Preoperative Planning of Bilateral Mandibular Distraction. *Plast. Reconstr. Surg.* 122, (2008).
137. Vercruyse, H. J., Sieira-Gil, R., Navarro, A. & Garcia-Diez, E. Midface Advancement in a Simple Approach. *J. Craniofac. Surg.* 28, 108–112 (2017).
138. Kumari, P. *et al.* Stability of Cleft maxilla in Le Fort I Maxillary advancement. *Ann. Maxillofac. Surg.* 3, 139–143 (2013).
139. Rachmiel, A., Aizenbud, D. & Peled, M. Long-term results in maxillary deficiency using intraoral devices. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 34, 473–479 (2005).
140. Rachmiel, A., Turgeman, S., Shilo, D., Aizenbud, D. & Emodi, O. Skeletal stability in patients with clefts after large maxillary advancements using intraoral distraction. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 58, 663–668 (2020).
141. Jiang, L. *et al.* Relapse rate after surgical treatment of maxillary hypoplasia in non-growing cleft patients: a systematic review and meta-analysis. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 49, 421–431 (2020).
142. Brunso, J. *et al.* Custom-Machined Miniplates and Bone-Supported Guides for Orthognathic Surgery: A New Surgical Procedure. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 74, 1061.e1-1061.e12 (2016).
143. Polley, J. W. & Figueroa, A. A. Orthognathic positioning system: intraoperative system to transfer virtual surgical plan to operating field during orthognathic surgery. *J. oral Maxillofac. Surg. Off. J. Am. Assoc. Oral Maxillofac. Surg.* 71, 911–920 (2013).

144. Mazzoni, S., Bianchi, A., Schiariti, G., Badiali, G. & Marchetti, C. Computer-aided design and computer-aided manufacturing cutting guides and customized titanium plates are useful in upper maxilla waferless repositioning. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 73, 701–707 (2015).
145. Chen, P. K. T., Por, Y. C., Liou, E. J. W. & Chang, F. C. S. Maxillary distraction osteogenesis in the adolescent cleft patient: Three-dimensional computed tomography analysis of linear and volumetric changes over five years. *Cleft Palate-Craniofacial J.* 48, 445–454 (2011).
146. Olmez, S., Dogan, S., Pekedis, M. & Yildiz, H. Biomechanical evaluation of sagittal maxillary internal distraction osteogenesis in unilateral cleft lip and palate patient and noncleft patients: A three-dimensional finite element analysis. *Angle Orthod.* 84, 815–824 (2014).
147. Varol, A. & Basa, S. The role of computer-aided 3D surgery and stereolithographic modelling for vector orientation in premaxillary and transsinusoidal maxillary distraction osteogenesis. *Int. J. Med. Robot.* 5, 198–206 (2009).
148. Chang, C. S., Swanson, J., Yu, J. & Taylor, J. A. Early, Computer-Aided Design/Computer-Aided Modeling Planned, le Fort i Advancement with Internal Distractors to Treat Severe Maxillary Hypoplasia in Cleft Lip and Palate. *J. Craniofac. Surg.* 28, 931–934 (2017).
149. Zhou, X. *et al.* BMAL1 deficiency promotes skeletal mandibular hypoplasia via OPG downregulation. *Cell Prolif.* 51, e12470 (2018).
150. Martínez Plaza, A. *et al.* Simultaneous maxillomandibular distraction in unilateral mandibular hypoplasia. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 58, 564–570 (2020).
151. Zanaty, O., El Metainy, S., Abo Alia, D. & Medra, A. Improvement in the airway after mandibular distraction osteogenesis surgery in children with temporomandibular joint ankylosis and mandibular hypoplasia. *Paediatr. Anaesth.* 26, 399–404 (2016).
152. Martínez Plaza, A. *et al.* Maxillary advancement in cleft palate patients with intraoral distraction. *Rev. Española Cirugía Oral y Maxilofac. (English Ed.* 37, 123–131 (2015).

153. Diemunsch, C. *et al.* Three-dimensional modeling system for unilateral mandibular bone distraction: a clinical case. *Comput. aided Surg. Off. J. Int. Soc. Comput. Aided Surg.* 12, 262–269 (2007).
154. Sakamoto, Y. *et al.* Pivoting distraction osteogenesis in hemifacial microsomia. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery: JPRAS* vol. 65 e156-8 (2012).
155. Sant’Anna, E. F. *et al.* Combined maxillary and mandibular distraction osteogenesis in patients with hemifacial microsomia. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. Off. Publ. Am. Assoc. Orthod. its Const. Soc. Am. Board Orthod.* 147, 566–577 (2015).
156. Tan, A. *et al.* Computer-assisted surgery in therapeutic strategy distraction osteogenesis of hemifacial microsomia: Accuracy and predictability. *J. cranio-maxillo-facial Surg. Off. Publ. Eur. Assoc. Cranio-Maxillo-Facial Surg.* 47, 204–218 (2019).
157. Meazzini, M. C., Mazzoleni, F., Gabriele, C. & Bozzetti, A. Mandibular distraction osteogenesis in hemifacial microsomia: long-term follow-up. *J. cranio-maxillo-facial Surg. Off. Publ. Eur. Assoc. Cranio-Maxillo-Facial Surg.* 33, 370–376 (2005).
158. Hernández-Alfaro, F. & Guijarro-Martínez, R. New protocol for three-dimensional surgical planning and CAD/CAM splint generation in orthognathic surgery: an in vitro and in vivo study. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 42, 1547–1556 (2013).
159. Vale, F. *et al.* 3D virtual planning in orthognathic surgery and CAD/CAM surgical splints generation in one patient with craniofacial microsomia: a case report. *Dental Press J. Orthod.* 21, 89–100 (2016).
160. Park, J. W. *et al.* Bone tumor resection guide using three-dimensional printing for limb salvage surgery. *J. Surg. Oncol.* 118, 898–905 (2018).
161. Wang, Y. *et al.* Virtual Surgical Planning Assisted Management for Cleft-Related Maxillary Hypoplasia. *J. Craniofac. Surg.* 30, 1745–1749 (2019).
162. Dagneaux, L. & Canovas, F. 3D Printed Patient-Specific Cutting Guide for Anterior Midfoot Tarsectomy. *Foot ankle Int.* 41, 211–215 (2020).

163. Rutkowski, D. R. *et al.* Mri-based cancer lesion analysis with 3d printed patient specific prostate cutting guides. *Am. J. Clin. Exp. Urol.* 7, 215–222 (2019).
164. Metzger, M. C. *et al.* Manufacturing splints for orthognathic surgery using a three-dimensional printer. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 105, e1-7 (2008).
165. Mao, Z., Zhang, N. & Cui, Y. Three-dimensional printing of surgical guides for mandibular distraction osteogenesis in infancy. *Medicine (Baltimore)*. 98, e14754 (2019).
166. Shi, L. *et al.* Surgical guide assistant mandibular distraction osteogenesis and sagittal split osteotomy in the treatment of hemifacial microsomia. *J. Craniofac. Surg.* 26, 498–500 (2015).
167. Sun, H. *et al.* Error analysis of a CAD/CAM method for unidirectional mandibular distraction osteogenesis in the treatment of hemifacial microsomia. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 51, 892–897 (2013).
168. Day, K. M., Gabrick, K. S. & Sargent, L. A. Applications of Computer Technology in Complex Craniofacial Reconstruction. *Plast. Reconstr. surgery. Glob. open* 6, e1655 (2018).
169. Kunz, C., Brauchli, L., Moehle, T., Rahn, B. & Hammer, B. Theoretical considerations for the surgical correction of mandibular deformity in hemifacial microsomia patients using multifocal distraction osteogenesis. *J. oral Maxillofac. Surg. Off. J. Am. Assoc. Oral Maxillofac. Surg.* 61, 364–368 (2003).
170. Efanov, J. I., Roy, A.-A., Huang, K. N. & Borsuk, D. E. Virtual Surgical Planning: The Pearls and Pitfalls. *Plast. Reconstr. surgery. Glob. open* 6, e1443 (2018).
171. Li, X. *et al.* Biomechanical Analysis of Various Reconstructive Methods for the Mandibular Body and Ramus Defect Using a Free Vascularized Fibula Flap. *Biomed Res. Int.* 2020, 8797493 (2020).

12 ANEXOS

12 ANEXOS

12.1 COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM



COMITÉ DE ÉTICA DE LA UCAM

| |
|------------------------------------|
| Sugerencias al Investigador |
| |

A la vista de la solicitud de informe adjunto por el Investigador y de las recomendaciones anteriormente expuestas el dictamen del Comité es:

| | |
|---|----------|
| Emitir Informe Favorable | X |
| Emitir Informe Desfavorable | |
| Emitir Informe Favorable condicionado a Subsanación | |

| |
|---------------------------------------|
| MOTIVACIÓN |
| Incrementará conocimientos en su área |

Vº Bº El Presidente,

Fdo.: José Alberto Cánovas Sánchez

El Secretario,



Fdo.: José Alarcón Teruel

12.2 COMITÉ DE ÉTICA DEL HOSPITAL SANT JOAN DE DÉU



**Fundació
Sant
Joan
de Déu**

CEIC Fundació Sant Joan de Déu

Informe Dictamen Favorable
Projecto Investigación Biomédica
C.I. PIC-74-17
26 de octubre de 2017

Dr. Pau Ferrer Salvans
Secretario del CEIC Fundació Sant Joan de Déu

CERTIFICA

1º. Que el CEIC Fundació Sant Joan de Déu en su reunión del día 26/10/2017, ha evaluado la propuesta del promotor referida al estudio:
Título: "Estudio de la evaluación de la planificación 3D en la distracción facial para el tratamiento de malformaciones craneomaxilofaciales"
Código Interno: PIC-74-17
IP: Sr. Josep Rubio Palau

Considera que:

- El proyecto se plantea siguiendo los requisitos de la Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación Biomédica y su realización es pertinente.
- Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto.
- Son adecuados tanto el procedimiento para obtener el consentimiento informado como la compensación prevista para los sujetos por daños que pudieran derivarse de su participación en el estudio.
- El alcance de las compensaciones económicas previstas no interfiere con el respeto a los postulados éticos.
- La capacidad de los Investigadores y los medios disponibles son apropiados para llevar a cabo el estudio.

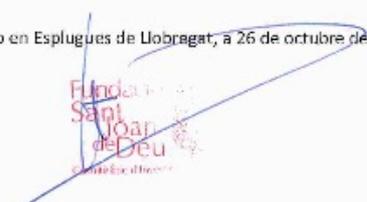
2º. Por lo que este CEIC emite un **DICTAMEN FAVORABLE**.

3º. Este CEIC acepta que dicho estudio sea realizado en los siguientes CEIC/Centros por los Investigadores:

- **HOSPITAL SANT JOAN DE DEU. Josep Rubio Palau.**

Lo que firmo en Esplugues de Llobregat, a 26 de octubre de 2017

Fdo:



Dr. Pau Ferrer Salvans
Secretario del CEIC Fundació Sant Joan de Déu

Fundació Hospital Sant Joan de Déu - c. Santa Ildefons, 156-157, 3ª planta, 08990 Esplugues de Llobregat (Barcelona)
 Teléfono +34 93 564 02 51 - Fax +34 93 5612 02 71 - e-mail: info@ceic.fundajodiu.org

12.3 DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Título del estudio: ESTUDIO DE LA EVALUACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN 3D EN LA DISTRACCIÓN FACIAL PARA EL TRATAMIENTO DE MALFORMACIONES CRANEOMAXILOFACIALES.

Yo

He leído la hoja de información que se me ha entregado
He podido hacer preguntas sobre el estudio
He recibido suficiente información sobre el estudio
He hablado con el médico responsable de la intervención

Comprendo que mi participación es voluntaria.

Comprendo que puedo retirarme del estudio:

1. Cuando quiera
2. Sin tener que dar explicaciones
3. Sin que ello repercuta en mi atención médica

Presto libremente mi conformidad para participar en el ensayo

Fecha

Firma del participante

Firma del investigador

12.4 DOCUMENTO DE INFORMACIÓN AL PACIENTE

HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE

ESTUDIO: ESTUDIO DE LA EVALUACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN 3D EN LA DISTRACCIÓN FACIAL PARA EL TRATAMIENTO DE MALFORMACIONES CRANEOMAXILOFACIALES.

INVESTIGADORES:

Josep Rubio Palau (Cirujano Maxilofacial Hospital Sant Joan de Déu)

Dr. Herman Vercruysse (Cirujano Maxilofacial Hospital Universitario de Amberes)

OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN:

Validar la precisión de la planificación 3D en las osteotomías faciales y posterior distracción osteogénica.

Objetivos secundarios:

- Aumentar la precisión y mejorar los resultados de los pacientes con malformaciones craneomaxilofaciales sometidos a distracción osteogénica.
- Desarrollar nuevos diseños de guías de corte y posicionamiento para trasladar la información de la cirugía virtual al quirófano en pacientes que precisen distracción.
- Investigar nuevas indicaciones de cirugía guiada a nivel craneomaxilofacial.

METODOLOGÍA:

Las cirugías serán realizadas en el Hospital Sant Joan de Déu y se planificarán conjuntamente con el Servicio de Ortodoncia en los casos que requieran un estudio cefalométrico y de análisis de las arcadas para definir la oclusión postoperatoria.

En las cirugías de tercio superior (osteotomía de LeFort III) también se incluirán los pacientes tratados en el Hospital Universitario de Amberes (Hospital que tiene un convenio internacional a nivel de cirugía maxilofacial con Sant Joan de Déu) para unificar protocolos y casuística dada la baja incidencia de esta patología.

La planificación de las cirugías se realizará mediante el análisis de las fotografías faciales e intraorales, TAC craneofacial e impresiones dentales (estas últimas cuando estén indicadas). Se realizará TAC de control al finalizar la distracción y tras el período de consolidación ósea. Se realizará un estudio comparativo en distintos puntos cefalométricos conjuntamente con el Servicio de Ortodoncia del Hospital Sant Joan de Déu de la planificación y del TAC al finalizar la distracción para analizar la fiabilidad y precisión de la planificación virtual.

POSIBLES BENEFICIOS

La planificación 3D aumenta la precisión del tratamiento quirúrgico de las malformaciones craneomaxilofaciales. Mejoran la precisión quirúrgica, la seguridad y aumentan la probabilidad de lograr el resultado preoperatorio.

RIESGOS Y MOLESTIAS DERIVADOS DE LA PARTICIPACIÓN EN EL ESTUDIO

La planificación 3D no conlleva la realización de más pruebas complementarias que las habituales ni molestias al paciente.

EVENTOS ADVERSOS POSIBLES

El uso de guías quirúrgicas previamente planificadas virtualmente no produce ningún efecto adverso al paciente.

TRATAMIENTOS ALTERNATIVOS DISPONIBLES

La alternativa al procedimiento es la realización de las osteotomías y colocación de los distractores “según arte” del cirujano. Esto implica una mayor probabilidad de errores y morbilidad asociada al procedimiento.

CARÁCTER VOLUNTARIO DEL ESTUDIO

El paciente es libre de participar en el estudio y puede abandonarlo en cualquier momento.

PROTECCIÓN DE LOS DATOS PERSONALES

Los datos personales que se utilizarán serán el nombre y apellidos, el número de historia clínica y la edad. De acuerdo con la Ley 15/199 de Protección de Datos de Carácter Personal, los datos personales que se obtengan serán las necesarias para cubrir los fines del estudio. En ninguno de los informes del estudio aparecerá su nombre, y su identidad no será revelada a ninguna persona excepto para cumplir con los fines del estudio, y en el caso de urgencia médica o requerimiento legal.

DISPONIBILIDAD DE LOS INVESTIGADORES

A los pacientes se les comunicará un email de contacto ([jrubiop@sjdhospitalbarcelona.org](mailto:jrubio@sjdhospitalbarcelona.org)) para poder aclarar cualquier duda que puedan tener con el investigador responsable (Josep Rubio) aparte de los controles después de la intervención.

12.5 CARTAS DE ACEPTACIÓN DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS



Annals of Maxillofacial Surgery

(Official Publication of Indian Academy of Maxillofacial Surgery)

30, K.B. Dasan Road, Teynampet, Chennai-600 018, Tamil Nadu, India

Ph : +91-44-4294 7222

E-mail : editor@amsjournal.com, smbajaji@gmail.com, Web : www.amsjournal.com



Prof. Dr. S.M. BALAJI, MDS, MFDS RCPS(Glasg), Ph.D. (TM Joint Surgery), DSc (Hon).,
Editor-in-Chief

November 28, 2020

To

Dr. Josep Rubio-Palau
Passeig Sant Joan de Déu, 2,
Esplugues de Llobregat-Spain

Dear **Dr. Josep Rubio-Palau**,

Your manuscript "**(ams_331_20): Accuracy of virtually planned maxillary distraction in cleft patients**", which was submitted to the Annals of Maxillofacial Surgery has been provisionally accepted for publication in our journal in one of the forthcoming issues.

Thanking you

Regards

(Dr. S.M. Balaji)

Editor-in-Chief

Annals of Maxillofacial Surgery



Medknow

Indexed with PubMed

National Library of Medicine



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery

journal homepage: www.elsevier.com

Accuracy of virtually planned mandibular distraction in a pediatric case series

Villamil Vanesa^{a,*}, Martínez Padilla Irene^b, Ayats Soler Marta^c, Parri Ferrandis Francisco José^a,
Bejarano Serrano Miguel^a, Riba Martínez Mireia^a, Rubio-Palau Josep^b

^a Division of Pediatric Plastic Surgery, Department of Pediatric Surgery, Hospital Sant Joan de Déu, Barcelona Children's Hospital (HSJD), Passeig de Sant Joan de Déu, 2, 08950, Esplugues de Llobregat, Barcelona, Spain

^b Division of Maxillofacial Surgery, Department of Pediatric Surgery, HSJD, Spain

^c 3D for Health Department (3D4H), HSJD, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 5 August 2020
Received in revised form 31 August 2020
Accepted 25 December 2020
Available online xxx

Keywords:

Hemifacial microsomia
Mandibular hypoplasia
Distraction osteogenesis
Three-dimensional imaging
Computer-assisted surgery
Facial asymmetry

ABSTRACT

The aim of this study was to describe the utility of 3D technology in mandibular distraction (MD) for patients with mandibular hypoplasia (MH), using 3D-printed cutting guides (CGs), and to assess the differences between virtual surgical planning (VSP) and the final result. A descriptive retrospective study of five patients diagnosed with MH, who required unilateral or bilateral MD, was carried out between January 2018 and January 2020. All patients underwent preoperative craniofacial CT scan and a 3D VSP was executed. MD was performed with the help of the 3D-printed CG. Before removal of the distractor, another CT scan was performed to compare the actual final result with the VSP. A mean difference of $<4^\circ$ was found for the osteotomy direction, $<7^\circ$ for distractor position, and <2 mm for posterior screw placement. VSP and 3D-printed CGs have revolutionized surgical planning, facilitating surgical treatment and improving the final result. In our sample, the variations in osteotomy line, distractor position, and posterior screw placement have been minor, making the outcome more predictable.

© 2020.