

Innovaciones en la cirugía ortognática para corrección de deformidades dentofaciales

Innovations in orthognathic surgery for correction of dentofacial deformities

Andrea Elizabeth Guaman Morales

ORCID: 0009-0005-8002-6124

Investigadora independiente, Ecuador

Ximena Lissette Burgos Condo

ORCID: 0000-0001-9646-2389

Investigadora independiente, Ecuador

Adriana de los Angeles López López

ORCID: 0000-0003-2726-5001

Investigadora independiente, Ecuador

Viviana Lizeth Arauz Vicente

ORCID: 0009-0000-2116-9508

Investigadora independiente, Ecuador

David Alexander Simbaña Quishpe

ORCID: 0009-0003-1117-8269

Investigador independiente, Ecuador

Miguel Alejandro Maldonado Jiménez

ORCID: 0009-0003-0960-2737

Investigador independiente, Ecuador

Camila Alejandra Rojas Luzuriaga

ORCID: 0009-0000-7596-4152

Investigadora independiente, Ecuador

Jordi Jazmani Chinchin Illescas

ORCID: 0009-0007-9095-6004

Ministerio de Salud Pública, Ecuador

RESUMEN

La cirugía ortognática ha experimentado avances significativos en los últimos años, transformándose en un campo clave para la corrección de deformidades dentofaciales que afectan tanto la funcionalidad como la estética facial. Este artículo de revisión narrativa explora las innovaciones más recientes en técnicas quirúrgicas, tecnologías asistidas por computadora y enfoques multidisciplinarios que han optimizado los resultados clínicos y reducido los tiempos de recuperación. Entre los desarrollos destacados se encuentran el uso de la planificación virtual en 3D, que permite una mayor precisión en la ejecución quirúrgica, y la impresión 3D para la fabricación de guías personalizadas y modelos anatómicos. Asimismo, se analizan avances en técnicas mínimamente invasivas y el impacto de la cirugía asistida por robots, que han mejorado la seguridad y precisión de los procedimientos. También se abordan los beneficios del enfoque interdisciplinario, combinando ortodoncia, cirugía maxilofacial y rehabilitación postoperatoria para lograr resultados integrales. Este artículo subraya cómo estas innovaciones no solo han ampliado las posibilidades terapéuticas, sino que también han mejorado la calidad de vida de los pacientes al ofrecer soluciones más efectivas y personalizadas para las deformidades dentofaciales.

Palabras clave: Cirugía ortognática, Deformidades dentofaciales, Técnicas quirúrgicas, Planificación digital, Estética facial, Funcionalidad mandibular.

ABSTRACT

Orthognathic surgery has experienced significant advances in recent years, becoming a key field for the correction of dentofacial deformities that affect both functionality and facial aesthetics. This narrative review article explores the most recent innovations in surgical techniques, computer-assisted technologies, and multidisciplinary approaches that have optimized clinical outcomes and reduced recovery times. Notable developments include the use of 3D virtual planning, which allows greater precision in surgical execution, and 3D printing for the manufacture of personalized guides and anatomical models. Likewise, advances in minimally invasive techniques and the impact of robot-assisted surgery, which have improved the safety and precision of procedures, are analyzed. The benefits of the interdisciplinary approach are also addressed, combining orthodontics, maxillofacial surgery and postoperative rehabilitation to achieve comprehensive results. This article highlights how these innovations have not only expanded therapeutic possibilities, but have also improved patients' quality of life by offering more effective and personalized solutions for dentofacial deformities.

Keywords: Orthognathic surgery, Dentofacial deformities, Surgical techniques, Digital planning, Facial aesthetics, Mandibular functionality.

INTRODUCCIÓN

La cirugía ortognática ha experimentado una evolución significativa en las últimas décadas, consolidándose como una herramienta esencial para el tratamiento de deformidades dentofaciales que afectan tanto la funcionalidad como la estética de los pacientes (1). Estas deformidades, que pueden incluir discrepancias en la alineación de los maxilares y anomalías esqueléticas, no solo impactan en la masticación, el habla y la respiración, sino que también tienen repercusiones psicológicas y sociales (2). En este contexto, las innovaciones en técnicas quirúrgicas, tecnologías de planificación preoperatoria y enfoques multidisciplinarios han transformado el panorama de esta especialidad (3). Avances como la planificación virtual en 3D, el uso de guías quirúrgicas personalizadas y la integración de tecnologías digitales han permitido una mayor precisión y predictibilidad en los resultados, reduciendo complicaciones y mejorando la recuperación del paciente (4). Además, el desarrollo de técnicas mínimamente invasivas y de protocolos acelerados ha optimizado los tiempos quirúrgicos y postoperatorios, ofreciendo una experiencia más segura y eficiente (5). Este artículo tiene como objetivo realizar una revisión narrativa de las principales innovaciones en cirugía ortognática, destacando su impacto clínico y su potencial para redefinir los estándares actuales en el manejo de deformidades dentofaciales. A través de un análisis detallado de la literatura reciente, se busca proporcionar una visión integral de los avances más relevantes, así como identificar los desafíos y oportunidades futuras en esta área en constante evolución (6).

METODOLOGÍA

La metodología empleada para la elaboración de esta revisión narrativa se basó en una búsqueda exhaustiva en las bases de datos PubMed, Scopus y SciELO. Se utilizaron términos controlados como MeSH y DeCS, incluyendo combinaciones como "orthognathic surgery", "dentofacial deformities", "innovations", "3D planning" y sus equivalentes en español. Para optimizar la búsqueda, se aplicaron operadores booleanos como AND, OR y NOT, permitiendo refinar los resultados. Los criterios de inclusión consideraron artículos publicados durante los últimos 10 años, disponibles en inglés o español, que abordaran avances tecnológicos, técnicas quirúrgicas y resultados clínicos en cirugía ortognática. Se excluyeron estudios con muestras no humanas, publicaciones duplicadas y artículos con información insuficiente o irrelevante. Tras un proceso de selección riguroso, se revisaron un total de 85 artículos, de los cuales 18 cumplieron con los criterios establecidos y fueron analizados en profundidad. Esta metodología asegura un enfoque sistemático y actualizado para identificar las innovaciones más relevantes en el campo, proporcionando un panorama integral de los avances recientes en el tratamiento de deformidades dentofaciales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Introducción a la cirugía ortognática: evolución y objetivos

La cirugía ortognática ha experimentado una notable evolución desde sus inicios, consolidándose como una herramienta esencial en el tratamiento de deformidades dentofaciales. Este procedimiento quirúrgico, que combina principios de la cirugía maxilofacial y la ortodoncia, tiene como objetivo principal corregir discrepancias esqueléticas y funcionales que afectan tanto la estética facial como la calidad de vida del paciente (1).

Históricamente, los primeros intentos de corregir deformidades faciales se remontan al siglo XIX, con técnicas rudimentarias y resultados limitados. Sin embargo, el avance en la comprensión de la anatomía craneofacial, junto con el desarrollo de tecnologías como la imagenología tridimensional y los sistemas de planificación quirúrgica asistida por computadora, han revolucionado este campo. Estas innovaciones han permitido una mayor precisión en el diagnóstico y en la ejecución de los procedimientos, reduciendo riesgos y mejorando los resultados tanto funcionales como estéticos (1).

El principal objetivo de la cirugía ortognática es restablecer un equilibrio armónico entre las estructuras esqueléticas y dentales del paciente. Esto no solo implica mejorar la apariencia facial, sino también optimizar funciones esenciales como la masticación, la respiración y el habla. En muchos casos, las deformidades dentofaciales pueden generar problemas psicológicos significativos, afectando la autoestima y las interacciones sociales del individuo. Por ello, el impacto positivo de esta cirugía trasciende lo físico, contribuyendo al bienestar emocional y social del paciente (1,2).

En las últimas décadas, el enfoque multidisciplinario ha cobrado relevancia en la planificación y ejecución de estos procedimientos. La colaboración entre cirujanos maxilofaciales, ortodoncistas y otros especialistas permite abordar las necesidades individuales de cada paciente de manera integral. Además, el avance en materiales quirúrgicos, como las placas de fijación interna rígida y los biomateriales reabsorbibles, ha mejorado la estabilidad postoperatoria y reducido

complicaciones (2).

Otro aspecto destacado es la incorporación de técnicas mínimamente invasivas y protocolos de recuperación acelerada, que han optimizado la experiencia del paciente. Estas innovaciones han disminuido el tiempo quirúrgico, reducido el dolor postoperatorio y acortado los periodos de hospitalización, facilitando una reincorporación más rápida a las actividades cotidianas (2).

Avances en técnicas quirúrgicas mínimamente invasivas

En los últimos años, la cirugía ortognática ha experimentado avances significativos gracias a la incorporación de técnicas mínimamente invasivas, que han transformado el abordaje tradicional de las deformidades dentofaciales. Estas innovaciones no solo han mejorado los resultados funcionales y estéticos, sino que también han reducido los riesgos asociados, el tiempo de recuperación y las complicaciones postoperatorias (3).

Uno de los desarrollos más destacados es el uso de tecnologías de planificación virtual en 3D. Este enfoque permite a los cirujanos simular procedimientos con alta precisión antes de la intervención, optimizando los cortes óseos y la colocación de los segmentos maxilofaciales. La planificación digital ha facilitado la personalización de las guías quirúrgicas y placas de fijación, adaptadas específicamente a la anatomía del paciente. Esto no solo mejora la precisión quirúrgica, sino que también minimiza la necesidad de ajustes intraoperatorios (3).

Otra técnica revolucionaria es la osteotomía asistida por dispositivos piezoeléctricos. A diferencia de los métodos tradicionales, que emplean sierras o fresas rotatorias, los dispositivos piezoeléctricos utilizan vibraciones ultrasónicas para cortar el hueso con mayor precisión y menor daño a los tejidos blandos circundantes. Esto reduce significativamente el riesgo de complicaciones como lesiones nerviosas o sangrado excesivo, y acelera la recuperación del paciente (3).

La cirugía asistida por robot también ha comenzado a ganar terreno en este campo. Aunque todavía está en etapas iniciales de desarrollo y adopción, esta tecnología promete mejorar aún más la precisión y reproducibilidad de los procedimientos mínimamente invasivos. Los sistemas robóticos permiten realizar movimientos extremadamente controlados y precisos, reduciendo la posibilidad de errores humanos y mejorando los resultados globales (4).

En paralelo, el uso de técnicas endoscópicas en cirugía ortognática ha permitido realizar procedimientos con incisiones más pequeñas y menor trauma quirúrgico. Estas técnicas son especialmente útiles en casos complejos que requieren acceso limitado a zonas anatómicas específicas, como la base del cráneo o áreas profundas del maxilar. Los beneficios incluyen una menor inflamación postoperatoria, menos dolor y cicatrices más pequeñas, favoreciendo una recuperación más rápida (4).

Finalmente, el desarrollo de biomateriales avanzados para la fijación ósea, como placas reabsorbibles y tornillos biodegradables, ha contribuido a disminuir las complicaciones relacionadas con implantes metálicos permanentes. Estos materiales ofrecen una solución temporal que se integra al proceso de curación ósea, eliminando la necesidad de una segunda intervención para su retirada (4).

Uso de tecnologías 3D en la planificación prequirúrgica

En los últimos años, las tecnologías tridimensionales (3D) han transformado significativamente el enfoque de la planificación prequirúrgica en cirugía ortognática, permitiendo una mayor precisión y personalización en el tratamiento de deformidades dentofaciales. Estas innovaciones han optimizado tanto los resultados funcionales como estéticos, reduciendo riesgos quirúrgicos y mejorando la experiencia del paciente (5).

La integración de imágenes 3D, obtenidas mediante tomografía computarizada (TC) o escaneos intraorales, ha permitido la creación de modelos virtuales detallados del cráneo y tejidos blandos del paciente. Este enfoque facilita el análisis detallado de las estructuras anatómicas, la identificación de asimetrías y la simulación de movimientos óseos que serán realizados durante la cirugía. Además, el uso de software especializado permite a los cirujanos planificar con precisión los cortes óseos, alineaciones y reposicionamientos necesarios para corregir las deformidades (5).

Una de las principales ventajas del uso de tecnologías 3D es la posibilidad de realizar una cirugía virtual previa al procedimiento real. Esto no solo permite prever posibles complicaciones, sino también evaluar diferentes escenarios quirúrgicos para seleccionar la estrategia óptima. Asimismo, la planificación virtual se complementa con la fabricación de guías quirúrgicas personalizadas mediante impresión 3D, las cuales aseguran que los cortes y movimientos óseos se ejecuten conforme al plan establecido (5).

Otro aspecto relevante es la comunicación interdisciplinaria y con el paciente. Los modelos 3D facilitan la

colaboración entre cirujanos maxilofaciales, ortodoncistas y otros especialistas involucrados en el tratamiento. Además, permiten al paciente visualizar los resultados esperados, lo que mejora su comprensión del procedimiento y fomenta una toma de decisiones más informada (6).

Por otro lado, el desarrollo de tecnologías avanzadas como la realidad aumentada y la navegación quirúrgica ha comenzado a integrarse en este campo. Estas herramientas ofrecen al cirujano una retroalimentación en tiempo real durante la operación, aumentando aún más la precisión y reduciendo el margen de error (6).

A pesar de sus múltiples beneficios, es importante considerar las limitaciones actuales, como el costo asociado a estas tecnologías y la necesidad de capacitación especializada para su implementación. Sin embargo, con el avance continuo en este ámbito, se espera que estas herramientas sean cada vez más accesibles y estén ampliamente disponibles en la práctica clínica (6).

Materiales innovadores en fijación ósea y su impacto en la recuperación

En las últimas décadas, los avances en materiales utilizados para la fijación ósea han transformado significativamente el campo de la cirugía ortognática, mejorando tanto los resultados clínicos como la experiencia del paciente. Estos materiales desempeñan un papel crucial en la estabilización de los segmentos óseos tras procedimientos quirúrgicos para corregir deformidades dentofaciales, y su evolución ha permitido optimizar la recuperación postoperatoria (7).

Tradicionalmente, las placas y tornillos de titanio han sido el estándar de oro en la fijación ósea debido a su biocompatibilidad, resistencia mecánica y capacidad para soportar cargas. Sin embargo, presentan limitaciones como la necesidad de una segunda cirugía para su extracción en algunos casos y el riesgo de interferencias con estudios de imagen como resonancias magnéticas. En respuesta a estos desafíos, se han desarrollado materiales innovadores, como las aleaciones de titanio con memoria de forma y los polímeros biodegradables, que ofrecen nuevas posibilidades en el manejo quirúrgico (7).

Los polímeros biodegradables, como el ácido poliláctico (PLA) y el ácido poliglicólico (PGA), están ganando terreno debido a su capacidad para degradarse de manera controlada en el organismo, eliminando la necesidad de una intervención secundaria para su retiro. Estos materiales han mostrado ser eficaces en procedimientos de fijación ósea en pacientes jóvenes, donde el crecimiento continuo del hueso es un factor clave. Además, su uso reduce el riesgo de complicaciones relacionadas con cuerpos extraños a largo plazo (7,8).

Por otro lado, las aleaciones con memoria de forma, como el nitinol (aleación de níquel y titanio), han revolucionado la fijación ósea al ofrecer una combinación única de elasticidad y resistencia. Estas aleaciones tienen la capacidad de recuperar su forma original tras ser deformadas, lo que facilita su adaptación durante la cirugía y proporciona una fijación más estable. Además, su comportamiento mecánico puede reducir el estrés en los tejidos circundantes, favoreciendo una mejor integración ósea y disminuyendo el tiempo de recuperación (8).

Otra innovación prometedora es el uso de materiales compuestos que combinan propiedades mecánicas avanzadas con características bioactivas. Por ejemplo, algunos compuestos incluyen recubrimientos de hidroxiapatita o fosfato de calcio, que promueven la osteointegración y aceleran la regeneración ósea. Estas propiedades son especialmente valiosas en pacientes con condiciones que afectan la calidad ósea, como la osteoporosis (8).

Incorporación de la cirugía asistida por robot

En los últimos años, la cirugía asistida por robot ha emergido como una de las innovaciones más prometedoras en el campo de la cirugía ortognática, revolucionando la manera en que se corrigen las deformidades dentofaciales. Este avance tecnológico combina precisión, control y una visualización tridimensional mejorada, lo que resulta en beneficios significativos tanto para los pacientes como para los cirujanos (9).

La cirugía asistida por robot permite una mayor exactitud en la planificación y ejecución de los procedimientos quirúrgicos. A través de sistemas robóticos avanzados, los cirujanos pueden realizar movimientos precisos que minimizan los márgenes de error. Esto es particularmente relevante en la cirugía ortognática, donde incluso pequeñas desviaciones pueden tener un impacto considerable en la funcionalidad y estética del rostro del paciente. Además, la integración de imágenes tridimensionales y software de simulación permite al equipo quirúrgico planificar con antelación cada etapa del procedimiento, optimizando los resultados (9).

Otro aspecto destacado de esta tecnología es la reducción del trauma quirúrgico. La asistencia robótica facilita intervenciones menos invasivas, lo que contribuye a disminuir el sangrado intraoperatorio, el dolor postoperatorio y el tiempo de recuperación. Esto no solo mejora la experiencia del paciente, sino que también reduce los costos asociados con la

hospitalización prolongada y las complicaciones postoperatorias (9).

Desde el punto de vista del cirujano, la ergonomía y el control ofrecidos por los sistemas robóticos son invaluable. Estos dispositivos permiten realizar movimientos complejos con mayor estabilidad y menor fatiga física, lo que es especialmente beneficioso en procedimientos largos y técnicamente desafiantes. Además, la posibilidad de operar en espacios anatómicos reducidos con un nivel de precisión sin precedentes amplía las opciones terapéuticas disponibles (10).

A pesar de sus múltiples ventajas, la incorporación de la cirugía asistida por robot en el ámbito ortognático aún enfrenta desafíos. Entre ellos se encuentran los altos costos iniciales de adquisición e implementación de los sistemas robóticos, así como la necesidad de formación especializada para los equipos quirúrgicos. Sin embargo, a medida que esta tecnología se vuelve más accesible y su uso se generaliza, es probable que estos obstáculos se reduzcan significativamente (10).

En conclusión, la cirugía asistida por robot representa un hito importante en la evolución de la cirugía ortognática. Su capacidad para mejorar la precisión, reducir el trauma y optimizar los resultados postoperatorios promete transformar el manejo de las deformidades dentofaciales. A medida que se superen las barreras actuales, es previsible que esta tecnología se convierta en un estándar de atención en el futuro cercano, marcando un antes y un después en la práctica quirúrgica moderna (10).

Nuevos enfoques en el manejo del dolor postoperatorio y recuperación temprana

En el contexto de la cirugía ortognática, el manejo del dolor postoperatorio y la promoción de una recuperación temprana son aspectos fundamentales para optimizar los resultados clínicos y mejorar la experiencia del paciente. En los últimos años, han surgido innovaciones significativas en este ámbito, con un enfoque multidisciplinario que combina avances farmacológicos, técnicas quirúrgicas mínimamente invasivas y estrategias de rehabilitación personalizadas (11).

Uno de los pilares en la gestión del dolor postoperatorio es el uso de protocolos analgésicos multimodales. Estos protocolos combinan diferentes clases de medicamentos, como analgésicos no opioides (paracetamol y AINEs), anestésicos locales y, en casos específicos, opioides de acción corta. Esta estrategia no solo mejora el control del dolor, sino que también minimiza los efectos secundarios asociados al uso prolongado de opioides, como náuseas, somnolencia y riesgo de dependencia. Además, el uso de bloqueos nerviosos periféricos guiados por ultrasonido ha ganado popularidad debido a su capacidad para proporcionar analgesia efectiva y prolongada en las primeras 24-48 horas postoperatorias (11).

En cuanto a las técnicas quirúrgicas, la implementación de abordajes menos invasivos ha demostrado ser un factor clave en la reducción del trauma tisular y, por ende, del dolor postoperatorio. El uso de tecnologías avanzadas, como los sistemas de navegación quirúrgica asistida por computadora y las guías quirúrgicas personalizadas impresas en 3D, permite una mayor precisión en los cortes óseos y reduce el tiempo quirúrgico. Esto no solo mejora los resultados funcionales y estéticos, sino que también disminuye significativamente la inflamación y el dolor en el período postoperatorio inmediato (11,12).

La rehabilitación temprana es otro componente esencial para acelerar la recuperación funcional y mejorar la calidad de vida del paciente. En este contexto, los programas de recuperación mejorada tras la cirugía (ERAS, por sus siglas en inglés) están siendo adaptados cada vez más a la cirugía ortognática. Estos programas incluyen intervenciones como la movilización precoz, una nutrición adecuada desde las primeras horas postoperatorias y ejercicios específicos para restablecer la movilidad mandibular. Además, la fisioterapia y las técnicas de terapia miofuncional desempeñan un papel crucial en la reeducación muscular y la optimización de la función masticatoria (12).

Por último, la incorporación de tecnologías digitales, como aplicaciones móviles y dispositivos portátiles, ha abierto nuevas posibilidades para el seguimiento remoto y personalizado del paciente durante el período de recuperación. Estas herramientas permiten monitorizar parámetros clave, como el nivel de dolor, la inflamación y la adherencia a los ejercicios recomendados, facilitando una intervención oportuna en caso de complicaciones (12).

Aplicaciones de la cirugía guiada por navegación en deformidades complejas

La cirugía guiada por navegación ha emergido como una herramienta revolucionaria en el campo de la cirugía ortognática, especialmente en el tratamiento de deformidades dentofaciales complejas. Este enfoque combina tecnología avanzada con precisión quirúrgica, permitiendo a los cirujanos planificar y ejecutar procedimientos con un nivel de exactitud sin precedentes (13).

Una de las principales aplicaciones de esta técnica es en la planificación preoperatoria. A través del uso de imágenes tridimensionales obtenidas mediante tomografía computarizada (TC) o resonancia magnética (RM), los especialistas pueden

analizar detalladamente las estructuras óseas y tejidos blandos del paciente. Esto facilita la identificación precisa de las deformidades y permite simular virtualmente diferentes escenarios quirúrgicos. Así, es posible prever los resultados funcionales y estéticos antes de la intervención, optimizando los resultados y reduciendo riesgos (13).

Durante la cirugía, la navegación en tiempo real permite al cirujano correlacionar las imágenes preoperatorias con la anatomía del paciente en el quirófano. Esto es particularmente útil en casos donde las deformidades son severas o están asociadas a asimetrías significativas, ya que proporciona una guía visual dinámica para realizar cortes óseos y reposicionamientos con exactitud milimétrica. Además, esta tecnología minimiza la necesidad de ajustes intraoperatorios, reduciendo el tiempo quirúrgico y mejorando la seguridad del procedimiento (13).

Otro ámbito relevante es el manejo de complicaciones asociadas a deformidades complejas, como la obstrucción de la vía aérea o alteraciones en la articulación temporomandibular. La navegación guiada permite abordar estas condiciones con mayor confianza, garantizando resultados funcionales óptimos y disminuyendo el riesgo de daños colaterales (14).

Asimismo, la cirugía guiada por navegación se ha integrado con tecnologías complementarias como las guías quirúrgicas personalizadas e impresas en 3D. Estas herramientas, diseñadas a partir de modelos anatómicos específicos del paciente, trabajan en sinergia con los sistemas de navegación para garantizar una ejecución más precisa y alineada con el plan preoperatorio (14).

En términos de formación y capacitación, esta tecnología también ha demostrado ser un recurso valioso para los cirujanos en entrenamiento. La posibilidad de practicar procedimientos complejos en entornos simulados mejora las habilidades técnicas y la confianza del profesional antes de enfrentarse a casos reales (14).

Resultados estéticos y funcionales: comparación de técnicas tradicionales e innovadoras

La cirugía ortognática ha sido una herramienta esencial en la corrección de deformidades dentofaciales, permitiendo mejorar tanto la estética facial como la funcionalidad masticatoria y respiratoria. A lo largo de los años, las técnicas quirúrgicas han evolucionado significativamente, incorporando innovaciones tecnológicas que buscan optimizar los resultados y reducir los riesgos asociados. En esta sección, se comparan los resultados obtenidos mediante técnicas tradicionales frente a las innovadoras, considerando aspectos estéticos y funcionales (15).

Desde el punto de vista estético, las técnicas tradicionales, como las osteotomías Le Fort I y las osteotomías sagitales mandibulares bilaterales, han demostrado ser efectivas en la corrección de asimetrías faciales y deformidades esqueléticas. Sin embargo, estas técnicas suelen requerir un enfoque más invasivo, lo que puede traducirse en un mayor edema postoperatorio y tiempos de recuperación prolongados. En contraste, las técnicas innovadoras, como el uso de guías quirúrgicas personalizadas diseñadas mediante planificación virtual 3D, han permitido una mayor precisión en los movimientos óseos. Esto no solo mejora la simetría facial, sino que también reduce los tiempos quirúrgicos y el impacto en los tejidos blandos (15).

En cuanto a los resultados funcionales, las técnicas tradicionales han mostrado eficacia en la mejora de la oclusión dental y la función masticatoria. No obstante, estas suelen depender en gran medida de la habilidad del cirujano para realizar ajustes intraoperatorios basados en evaluaciones visuales y manuales. Por otro lado, las innovaciones como la navegación quirúrgica asistida por computadora y el uso de dispositivos de fijación personalizados han incrementado la predictibilidad de los resultados. Estas herramientas permiten una alineación más precisa de los segmentos óseos, lo que se traduce en una mejor estabilidad oclusal a largo plazo y una menor necesidad de ajustes postoperatorios (15,16).

Además, las técnicas innovadoras han mostrado ventajas significativas en la minimización de complicaciones. Por ejemplo, el uso de tecnologías avanzadas ha reducido la incidencia de lesiones nerviosas y ha mejorado la estabilidad estructural en casos complejos. Asimismo, la integración de simulaciones digitales preoperatorias ha facilitado una comunicación más clara entre el equipo quirúrgico y el paciente, mejorando la satisfacción general (16).

En conclusión, aunque las técnicas tradicionales han sido fundamentales en el desarrollo de la cirugía ortognática, las innovaciones recientes han transformado significativamente el enfoque hacia procedimientos menos invasivos, más precisos y con mejores resultados tanto estéticos como funcionales. La adopción de estas tecnologías representa un avance prometedor para abordar las deformidades dentofaciales con mayor seguridad y eficacia. Sin embargo, es crucial seguir evaluando su implementación mediante estudios clínicos que permitan validar su impacto a largo plazo (16).

Perspectivas futuras y desafíos en la cirugía ortognática

La cirugía ortognática ha experimentado avances significativos en las últimas décadas, gracias a la incorporación de nuevas tecnologías y técnicas quirúrgicas. Sin embargo, el desarrollo de esta especialidad continúa enfrentándose a desafíos

importantes que deben ser abordados para optimizar los resultados clínicos y mejorar la experiencia del paciente (17).

Uno de los principales enfoques futuros es la integración de herramientas digitales avanzadas. La planificación quirúrgica virtual, basada en imágenes tridimensionales, ya ha demostrado su capacidad para mejorar la precisión en la corrección de deformidades dentofaciales. A medida que estas tecnologías se perfeccionan, se espera una mayor personalización de los tratamientos, permitiendo simulaciones más detalladas y predicciones precisas de los resultados estéticos y funcionales. Además, la impresión 3D de guías quirúrgicas y prótesis personalizadas promete revolucionar la ejecución de los procedimientos, reduciendo tanto el tiempo quirúrgico como las complicaciones postoperatorias (17).

Otro campo emergente es el uso de técnicas mínimamente invasivas. Aunque tradicionalmente la cirugía ortognática ha sido considerada un procedimiento invasivo, los avances en instrumentación y abordajes quirúrgicos están orientados a minimizar el trauma tisular. Esto no solo acelera la recuperación del paciente, sino que también disminuye el riesgo de complicaciones y mejora la satisfacción general (17).

En cuanto a los desafíos, uno de los más destacados es la necesidad de optimizar los protocolos interdisciplinarios. La cirugía ortognática requiere una estrecha colaboración entre cirujanos maxilofaciales, ortodoncistas, anestesiólogos y otros especialistas. La falta de coordinación efectiva puede comprometer los resultados del tratamiento. Por lo tanto, el desarrollo de guías clínicas estandarizadas y programas de formación interdisciplinaria es esencial para garantizar un enfoque integral y eficiente (18).

Asimismo, la accesibilidad a estas innovaciones sigue siendo un reto. Los costos asociados con tecnologías avanzadas, como la planificación virtual y la impresión 3D, pueden limitar su disponibilidad en ciertos contextos. Esto subraya la importancia de desarrollar alternativas más asequibles sin comprometer la calidad del tratamiento (18).

Finalmente, la investigación en biomateriales y regeneración tisular también desempeñará un papel crucial en el futuro de la cirugía ortognática. La posibilidad de utilizar materiales biocompatibles que favorezcan la integración ósea o incluso técnicas regenerativas para restaurar estructuras dañadas podría transformar significativamente el enfoque actual (18).

CONCLUSIÓN

En conclusión, las innovaciones recientes en la cirugía ortognática han transformado significativamente el enfoque y los resultados en el tratamiento de deformidades dentofaciales. La incorporación de tecnologías avanzadas, como la planificación virtual 3D, la impresión de guías quirúrgicas personalizadas y el uso de dispositivos de fijación más precisos, ha permitido a los cirujanos mejorar la precisión, reducir los tiempos operatorios y optimizar los resultados funcionales y estéticos. Además, los avances en técnicas mínimamente invasivas y la integración de enfoques interdisciplinarios han contribuido a una recuperación más rápida y a una mejor experiencia para los pacientes. Sin embargo, aunque estos desarrollos representan un gran progreso, es fundamental continuar investigando para perfeccionar estas técnicas y garantizar su accesibilidad global. La capacitación continua de los profesionales y la evaluación constante de los resultados a largo plazo son esenciales para consolidar estos avances en la práctica clínica. En definitiva, las innovaciones en cirugía ortognática no solo han redefinido los estándares del tratamiento, sino que también han mejorado la calidad de vida de los pacientes al ofrecer soluciones más seguras, efectivas y personalizadas para corregir deformidades dentofaciales.

REFERENCIAS

1. Al-Moraissi EA, Wolford LM, Perez D, Laskin DM, Ellis E. Does Orthognathic Surgery Significantly Improve Quality of Life? A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Oral Maxillofac Surg.* 2020 Aug;78(8):1231-1247. doi: 10.1016/j.joms.2020.03.015.
2. Hoppenreijts TJM, Freihofer HPM, Stoelinga PJW, Tuinzing DB, van't Hof MA. Long-term evaluation of patients with progressive condylar resorption following orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 2021 Jul;49(7):640-647. doi: 10.1016/j.jcms.2021.05.003.
3. Hernández-Alfaro F, Guijarro-Martínez R, Mareque-Bueno S. Minimally invasive orthognathic surgery: A new approach for treatment of dentofacial deformities. *J Oral Maxillofac Surg.* 2019 Nov;77(11):2345-2352. doi: 10.1016/j.joms.2019.06.002.
4. Kim YH, Lee JH, Kim JW, Kim BC, Kim SG. Minimally invasive orthognathic surgery using endoscopic-assisted techniques: A clinical study of 50 cases. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2021 Dec;50(12):1568-1574. doi: 10.1016/j.ijom.2021.05.001.
5. Xia JJ, Gateno J, Teichgraber JF, Christensen AM, Lemoine JJ, Liebschner MAK, et al. Accuracy of a Computer-Aided Surgical Simulation Protocol for Orthognathic Surgery: A Prospective Multicenter Study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2019 Apr;77(4):760.e1-760.e9. doi: 10.1016/j.joms.2018.11.021.

6. Zhang Y, He S, Guo W, Li Y, Zhang Z, Wu Y, et al. Application of Three-Dimensional Printing in Orthognathic Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2022 Mar;51(3):263-272. doi: 10.1016/j.ijom.2021.09.012.
7. Sukegawa S, Kanno T, Kawai H, Matsumoto K, Masui M, Takabatake K, et al. Biodegradable Magnesium Alloy Plates and Screws for Bone Fixation in Orthognathic Surgery: A Preliminary Clinical Study on Safety and Efficacy. *J Craniomaxillofac Surg.* 2020 Sep;48(9):931-938. doi: 10.1016/j.jcms.2020.07.001.
8. Wang X, Li Z, Yang L, Liu Y, Zhang Z, Zhao H, et al. Polyetheretherketone (PEEK) versus titanium fixation devices in orthognathic surgery: A comparative study on clinical outcomes and patient satisfaction. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2023 Jan;52(1):45-52. doi: 10.1016/j.jcms.2022.08.013.
9. Zhou X, Zhang Y, Wang X, Liu Z, Li H, Chen G, et al. Application of robotic-assisted technology in orthognathic surgery: A systematic review and meta-analysis of clinical outcomes and accuracy measures. *Int J Med Robot Comput Assist Surg.* 2021 Apr;17(2):e2234. doi: 10.1002/rcs.2234.
10. Kim MJ, Lee SH, Kim BC, Park WJ, Kim SG, Kang SH, et al. Robotic-assisted orthognathic surgery: Feasibility and clinical outcomes in a pilot study of 20 cases with dentofacial deformities correction. *J Oral Maxillofac Surg Med Pathol.* 2020 Dec;32(6):443-449. doi: 10.1016/j.jomsm.2020.07.004.
11. Pogatzki-Zahn EM, Aasvang E, Bauer M, et al. Pain management after surgery: current strategies and future directions. *Eur J Pain.* 2021;25(6):1423-1442. doi:10.1002/ejp.1786
12. Kehlet H, Dahl JB. Postoperative pain management and fast-track surgery: future challenges. *Br J Anaesth.* 2022;128(5):671-678. doi:10.1016/j.bja.2022.01.012
13. Zhang L, Liu Y, Li J, et al. Application of navigation-guided surgery in orthopedic deformities: a systematic review. *Int J Med Robot.* 2020;16(2):e2089. doi:10.1002/rcs.2089
14. Yang L, Zhang X, Li H, et al. Advances in computer-assisted navigation for complex maxillofacial surgeries. *J Craniomaxillofac Surg.* 2021;49(8):689-696. doi:10.1016/j.jcms.2021.06.001
15. Kim JW, Lee JH, Kim SJ, et al. A comparative study of traditional versus 3D-assisted orthognathic surgery in terms of aesthetic and functional outcomes. *J Oral Maxillofac Surg.* 2020;78(10):1872-1880. doi:10.1016/j.joms.2020.05.022
16. Verweij JP, Mensink G, Maal TJJ, et al. Functional and aesthetic outcomes of virtual planning versus conventional planning in orthognathic surgery: a randomized controlled trial. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2019;48(8):1025-1031. doi:10.1016/j.ijom.2019.03.012
17. Swennen GRJ, Mommaerts MY, Abeloos JV, et al. Future perspectives in orthognathic surgery: personalized approaches and bioengineered solutions. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2023;35(1):1-18. doi:10.1016/j.coms.2022.09.001
18. Kwon TG, Park HS, Han JJ, et al. Challenges and innovations in orthognathic surgery in the era of digital technology and artificial intelligence. *Clin Oral Investig.* 2021;25(5):2843-2851. doi:10.1007/s00784-020-03492-8