

REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA: CIRURGIA ORTOGNÁTICA E NOVAS TÉCNICAS

ADVANCES IN ORTHOGNATHIC SURGERY: AN INTEGRATIVE REVIEW OF NEW TECHNIQUES AND DIGITAL TECHNOLOGIES

REVISIÓN DE LA LITERATURA INTEGRADORA: CIRUGÍA ORTOGNÁTICA Y NUEVAS TÉCNICAS



10.56238/MedCientifica-085

Alexandre dos Santos Vasques

Graduado em Medicina

Instituição: Universidade Federal de Rondonópolis

E-mail: vasquessalexandre@gmail.com

RESUMO

Introdução: A cirurgia ortognática passou por uma significativa evolução tecnológica. Ferramentas digitais como o planejamento cirúrgico virtual (PCV), a impressão tridimensional (3D) e o desenho/manufatura assistidos por computador (CAD/CAM) tornaram-se centrais na especialidade, prometendo maior precisão e previsibilidade. **Objetivo:** Sintetizar as evidências científicas sobre as novas técnicas em cirurgia ortognática, avaliando suas metodologias, desfechos clínicos, acurácia e limitações. **Métodos:** Foi realizada uma revisão integrativa da literatura nas bases de dados PubMed/MEDLINE, ScienceDirect e PMC. A busca incluiu artigos publicados nos últimos 20 anos com os descritores "orthognathic surgery", "virtual surgical planning", "3D printing", "computer-aided surgery" e "surgery-first approach". Foram selecionados 22 artigos, entre revisões, estudos prospectivos e revisões sistemáticas. A análise focou na descrição das novas técnicas, desfechos clínicos e qualidade metodológica, com uma avaliação qualitativa do nível de evidência. **Resultados:** As principais inovações identificadas foram o PCV, guias cirúrgicos e placas customizadas impressas em 3D, a abordagem surgery-first, a piezocirurgia e a navegação intraoperatória. As evidências indicam que essas tecnologias aumentam a acurácia cirúrgica, reduzem o tempo operatório e permitem resultados previsíveis. O PCV apresenta desvios lineares médios de aproximadamente 1,0-1,5 mm. A abordagem surgery-first reduz o tempo total de tratamento. Contudo, persistem limitações como a curva de aprendizado, o alto custo e os desafios na predição de tecidos moles. **Conclusão:** As novas técnicas em cirurgia ortognática, especialmente as baseadas em fluxos de trabalho digitais, representam um avanço significativo sobre os métodos convencionais, oferecendo maior precisão e eficiência. Apesar dos resultados promissores, são necessários mais ensaios clínicos randomizados para estabelecer um maior nível de evidência e padronizar os protocolos.

Palavras-chave: Cirurgia Ortognática. Cirurgia Assistida por Computador. Impressão 3D. Planejamento Cirúrgico Virtual.

ABSTRACT

Background: Orthognathic surgery has undergone a significant technological evolution. Digital tools such as virtual surgical planning (VSP), three-dimensional (3D) printing, and computer-aided



design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) have become central to the specialty, promising greater precision and predictability. Objective: To synthesize the scientific evidence on new techniques in orthognathic surgery, evaluating their methodologies, clinical outcomes, accuracy, and limitations. Methods: An integrative literature review was conducted in the PubMed/MEDLINE, ScienceDirect, and PMC databases. The search included articles published in the last 20 years using descriptors such as "orthognathic surgery," "virtual surgical planning," "3D printing," "computer-aided surgery," and "surgery-first approach." A total of 22 articles, including reviews, prospective studies, and systematic reviews, were selected. The analysis focused on the description of new techniques, clinical outcomes, and methodological quality, with a qualitative assessment of the level of evidence. Results: The main innovations identified were VSP, 3D-printed surgical guides and custom plates, the surgery-first approach, piezosurgery, and intraoperative navigation. The evidence indicates that these technologies increase surgical accuracy, reduce operative time, and allow for predictable results. VSP shows mean linear deviations of approximately 1.0-1.5 mm. The surgery-first approach reduces total treatment time. However, limitations such as the learning curve, high cost, and challenges in soft tissue prediction persist. Conclusion: New techniques in orthognathic surgery, especially those based on digital workflows, represent a significant advance over conventional methods, offering greater accuracy and efficiency. Despite the promising results, there is a need for more randomized clinical trials to establish a higher level of evidence and standardize protocols.

Keywords: Orthognathic Surgery. Computer-Aided Surgery. 3D Printing. Virtual Surgical Planning.

RESUMEN

Introducción: La cirugía ortognática ha experimentado una importante evolución tecnológica. Herramientas digitales como la planificación quirúrgica virtual (PVV), la impresión tridimensional (3D) y el diseño/fabricación asistidos por computadora (CAD/CAM) se han convertido en un elemento central de la especialidad, prometiendo mayor precisión y previsibilidad. Objetivo: Sintetizar la evidencia científica sobre nuevas técnicas en cirugía ortognática, evaluando sus metodologías, resultados clínicos, precisión y limitaciones. Métodos: Se realizó una revisión bibliográfica integradora en las bases de datos PubMed/MEDLINE, ScienceDirect y PMC. La búsqueda incluyó artículos publicados en los últimos 20 años con los descriptores "cirugía ortognática", "planificación quirúrgica virtual", "impresión 3D", "cirugía asistida por computadora" y "enfoque quirúrgico prioritario". Se seleccionaron veintidós artículos, incluyendo revisiones, estudios prospectivos y revisiones sistemáticas. El análisis se centró en la descripción de nuevas técnicas, resultados clínicos y calidad metodológica, con una evaluación cualitativa del nivel de evidencia. Resultados: Las principales innovaciones identificadas fueron la PCV, las guías quirúrgicas y las placas personalizadas impresas en 3D, el abordaje quirúrgico, la piezocirugía y la navegación intraoperatoria. La evidencia indica que estas tecnologías aumentan la precisión quirúrgica, reducen el tiempo operatorio y permiten obtener resultados predecibles. La PCV presenta desviaciones lineales promedio de aproximadamente 1,0-1,5 mm. El abordaje quirúrgico reduce el tiempo total de tratamiento. Sin embargo, persisten limitaciones, como la curva de aprendizaje, el alto costo y los desafíos en la predicción de tejidos blandos. Conclusión: Las nuevas técnicas en cirugía ortognática, especialmente aquellas basadas en flujos de trabajo digitales, representan un avance significativo con respecto a los métodos convencionales, ofreciendo mayor precisión y eficiencia. A pesar de los prometedores resultados, se necesitan más ensayos clínicos aleatorizados para establecer un mayor nivel de evidencia y estandarizar los protocolos.

Palabras clave: Cirugía Ortognática. Cirugía Asistida por Computadora. Impresión 3D. Planificación Quirúrgica Virtual.



1 INTRODUÇÃO

A cirurgia ortognática é um procedimento consolidado para a correção de uma ampla gama de deformidades dentofaciais, que afetam tanto a função mastigatória e fonética quanto a harmonia estética facial 15. Historicamente, o planejamento cirúrgico baseava-se em análises cefalométricas bidimensionais (2D) e cirurgia de modelo em gesso, métodos que, apesar de sua eficácia por décadas, apresentavam limitações inerentes, como erros de projeção, magnificação e dificuldades na representação de assimetrias complexas 21. A evolução da cirurgia ortognática tem sido marcada pela busca incessante por maior precisão, previsibilidade e segurança, impulsionando a transição de métodos analógicos para fluxos de trabalho digitais.

Nas últimas duas décadas, a especialidade testemunhou uma revolução tecnológica com a incorporação de ferramentas como a tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT), o planejamento cirúrgico virtual (PCV) e a manufatura aditiva (impressão 3D) 8,22.

Essas tecnologias permitem uma visualização tridimensional (3D) detalhada da anatomia craniofacial, possibilitando a simulação de osteotomias, a avaliação precisa de movimentos ósseos e a antecipação de resultados estéticos e funcionais com um nível de detalhe sem precedentes 1,9. O PCV, em particular, integra dados esqueléticos e dentários em uma única plataforma, melhorando o reconhecimento diagnóstico e permitindo a correção precisa de desvios nos planos de inclinação, rotação e translação 1.

Associada ao PCV, a impressão 3D materializa o planejamento digital através da fabricação de guias cirúrgicos personalizados para osteotomias e posicionamento, além de placas de fixação específicas para cada paciente 2,5. Essa abordagem customizada visa transferir o plano virtual para o campo operatório com máxima fidelidade, minimizando a necessidade de ajustes intraoperatórios e potencialmente reduzindo o tempo cirúrgico 5,13. Outras inovações, como a abordagem surgery-first, que inverte a sequência tradicional ao realizar a cirurgia antes do tratamento ortodôntico, e a piezocirurgia, que utiliza microvibrações ultrassônicas para osteotomias precisas com menor dano aos tecidos moles, também têm ganhado destaque 7.

Apesar do entusiasmo com essas novas técnicas, é fundamental uma análise crítica de suas evidências, limitações e complicações. Questões como a acurácia real do planejamento virtual em comparação com o resultado clínico, a estabilidade a longo prazo dos procedimentos, a curva de aprendizado e os custos associados ainda são objeto de intenso debate na comunidade científica 6,10. A previsibilidade das alterações em tecidos moles, por exemplo, continua sendo um dos maiores desafios, mesmo com os mais avançados softwares de simulação 9.

Diante desse cenário de rápida evolução tecnológica, torna-se clinicamente e cientificamente relevante sintetizar o conhecimento atual sobre as novas fronteiras da cirurgia ortognática. Esta revisão integrativa visa consolidar as evidências disponíveis sobre as técnicas inovadoras, oferecendo uma



análise crítica de suas aplicações, vantagens e desvantagens, para orientar a prática clínica e futuras pesquisas.

O objetivo desta revisão integrativa da literatura é identificar, analisar e sintetizar os estudos científicos sobre as novas técnicas em cirurgia ortognática, com foco no planejamento cirúrgico virtual, impressão 3D, abordagem surgery-first e outras tecnologias emergentes, avaliando seus fundamentos metodológicos, desfechos clínicos, acurácia e limitações.

2 METODOLOGIA

2.1 TIPO DE ESTUDO

Este estudo caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, um método que permite a síntese e análise de conhecimentos provenientes de diferentes tipos de estudos (experimentais e não experimentais) sobre um determinado tema. O objetivo é obter uma compreensão abrangente e aprofundada do estado da arte das novas técnicas em cirurgia ortognática, identificando tendências, lacunas e direções para futuras pesquisas.

2.2 ESTRATÉGIA DE BUSCA

Foi realizada uma busca sistemática por artigos científicos nas seguintes bases de dados eletrônicas: PubMed/MEDLINE, ScienceDirect e PMC (PubMed Central). O período da busca foi definido para os últimos 20 anos (janeiro de 2005 a dezembro de 2025), a fim de capturar a evolução das técnicas digitais na cirurgia ortognática.

Os descritores utilizados foram selecionados a partir do MeSH (Medical Subject Headings) e do DeCS (Descritores em Ciências da Saúde), combinados com operadores booleanos (AND, OR). As estratégias de busca foram adaptadas para cada base de dados, utilizando as seguintes combinações de termos em inglês e português:

- ("Orthognathic Surgery"(Mesh) OR "Cirurgia Ortognática"(DeCS)) AND ("Virtual Surgical Planning" OR "Computer-Aided Surgery" OR "3D Printing" OR "Surgery-First Approach" OR "Piezosurgery")
- ("Orthognathic Surgery") AND ("new techniques" OR "advances" OR "digital workflow")
- ("Maxillofacial Surgery") AND ("virtual planning" OR "custom plates" OR "surgical guides")

2.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão para a seleção dos artigos:

- Tipo de estudo: Ensaios clínicos, estudos observacionais (prospectivos e retrospectivos), revisões sistemáticas, meta-análises e revisões de literatura que abordassem o tema das novas técnicas em cirurgia ortognática.



- Idiomas: Artigos publicados em inglês e português.
- Período de publicação: Entre 2005 e 2025.

Foram excluídos os seguintes tipos de publicações:

- Relatos de caso únicos (exceto quando apresentavam uma técnica inovadora de forma detalhada).
- Cartas ao editor, editoriais e resumos de conferências.
- Estudos em animais ou laboratoriais que não apresentassem aplicação clínica direta.
- Artigos cujo foco principal não estivesse alinhado com as técnicas de cirurgia ortognática (ex: foco exclusivo em ortodontia ou implantodontia).

2.4 PROCESSO DE SELEÇÃO DOS ESTUDOS

O processo de seleção dos estudos seguiu as recomendações do PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), embora um fluxograma não seja ilustrado neste manuscrito. O processo ocorreu em duas fases:

1. Triagem inicial: Leitura dos títulos e resumos de todos os artigos identificados na busca inicial para verificar sua relevância para o tema. Artigos que não atendiam aos critérios de inclusão foram descartados.
2. Análise completa: Leitura na íntegra dos artigos selecionados na fase de triagem para confirmação da elegibilidade e extração dos dados. A lista de referências dos artigos selecionados também foi verificada para identificar estudos adicionais relevantes (busca manual).

Após a aplicação dos critérios, 22 artigos foram incluídos nesta revisão integrativa.

2.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE METODOLÓGICA

Para a análise crítica dos estudos incluídos, a qualidade da evidência foi classificada de forma qualitativa, inspirada nos princípios do sistema GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation). O sistema GRADE classifica a qualidade da evidência em quatro níveis: alta, moderada, baixa ou muito baixa, com base no desenho do estudo, risco de viés, inconsistência, evidência indireta e imprecisão.

- Alta: Ensaios clínicos randomizados bem conduzidos.
- Moderada: Ensaios clínicos randomizados com limitações ou estudos observacionais robustos.
- Baixa: Estudos observacionais com limitações significativas.
- Muito baixa: Relatos de caso ou opinião de especialistas.



Esta classificação foi utilizada para ponderar a força das conclusões apresentadas na seção de discussão, conferindo maior peso aos estudos com maior rigor metodológico.

3 RESULTADOS

A busca nas bases de dados resultou na seleção de 22 artigos que atenderam aos critérios de inclusão. A amostra final é composta por uma variedade de desenhos de estudo, incluindo 10 revisões de literatura (sendo 4 sistemáticas), 6 estudos prospectivos, 2 estudos retrospectivos, 2 estudos de desenvolvimento de modelo e 2 revisões narrativas. Essa diversidade metodológica permitiu uma análise abrangente das novas técnicas em cirurgia ortognática sob diferentes perspectivas.

3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS ESTUDOS

A Tabela 1 detalha as características dos 22 estudos incluídos nesta revisão, apresentando autores, ano de publicação, tipo de estudo, tamanho da amostra (quando aplicável) e a base de dados de origem. A maioria dos estudos foi publicada nos últimos 10 anos, refletindo a rápida evolução do campo. As bases de dados PubMed/PMC e ScienceDirect foram as fontes predominantes, garantindo a inclusão de literatura de alto impacto e revisada por pares.

Tabela 1 – Características gerais dos estudos incluídos

Autor(es) e Ano	Tipo de Estudo	Base de Dados
Roy & Steinbacher, 2022 1	Revisão de Literatura	PubMed/PMC
Lin et al., 2018 2	Revisão de Literatura	ScienceDirect/PubMed
Hsu et al., 2013 3	Estudo Prospectivo Multicêntrico	PubMed/PMC
Bell, 2011 4	Revisão de Literatura	PubMed
Kim et al., 2023 5	Estudo Prospectivo	PubMed/PMC
Efanov et al., 2018 6	Análise Retrospectiva	PubMed/PMC
Choi & Lee, 2021 7	Revisão de Literatura	PubMed/PMC
Weiss & Read-Fuller, 2019 8	Revisão Baseada em Evidências	PubMed/PMC
Ruggiero et al., 2023 9	Desenvolvimento de Modelo Numérico	PubMed/PMC
Proffit et al., 2007 10	Revisão de Literatura	PubMed/PMC
Verhelst et al., 2020 11	Análise Retrospectiva	ScienceDirect/PubMed
Liao et al., 2019 12	Estudo Prospectivo	PubMed
Liebregts et al., 2019 13	Estudo Comparativo	Nature/PubMed
Abel et al., 2022 14	Estudo de Acurácia	PubMed
Knoedler et al., 2023 15	Análise de Banco de Dados	MDPI/PubMed
Moorhead et al., 2024 16	Revisão Narrativa (StatPearls)	NCBI Bookshelf
Borba et al., 2016 17	Revisão Sistemática	ScienceDirect/PubMed



Autor(es) e Ano	Tipo de Estudo	Base de Dados
Lee et al., 2021 18	Estudo de Desenvolvimento	PubMed/PMC
Kim, 2017 19	Revisão de Literatura	PubMed/PMC
Jędrzejewski et al., 2015 20	Revisão Sistemática	PubMed/PMC
Quast et al., 2021 21	Estudo Prospectivo	PubMed/PMC
Elnagar et al., 2020 22	Revisão de Literatura	ScienceDirect/PubMed

Fonte: (Autoria própria, 2025).

3.2 TÉCNICAS ORTOGNÁTICAS INOVADORAS

As principais inovações tecnológicas identificadas nos estudos foram agrupadas e estão descritas na Tabela 2. O fluxo de trabalho digital, englobando o planejamento cirúrgico virtual (PCV) e a impressão 3D, constitui a mais significativa mudança de paradigma. O PCV permite a simulação precisa dos movimentos esqueléticos, enquanto a impressão 3D materializa o plano em guias de corte e posicionamento e placas de fixação customizadas. Outras técnicas, como a abordagem surgery-first e a piezocirurgia, focam na otimização do tempo de tratamento e na minimização da morbidade cirúrgica, respectivamente.

Tabela 2 – Técnicas ortognáticas inovadoras identificadas

Técnica Inovadora	Descrição	Vantagens Apontadas	Artigos de Referência
Planejamento Cirúrgico Virtual (PCV)	Utilização de software para simular a cirurgia em um modelo 3D do paciente, a partir de dados de CBCT.	Maior acurácia, previsibilidade, avaliação de tecidos moles, simulação de múltiplos planos.	1, 3, 4, 6, 18
Impressão 3D (Guias e Placas)	Manufatura aditiva de guias de corte/posicionamento e placas de fixação customizadas.	Transferência precisa do plano virtual, redução do tempo cirúrgico, melhor adaptação, estabilidade.	2, 5, 13
Abordagem Surgery-First (SFA)	Realização da cirurgia ortognática antes do tratamento ortodôntico de descompensação.	Redução drástica do tempo total de tratamento, melhora estética e funcional imediata.	7, 12, 13
Piezocirurgia	Uso de instrumento ultrassônico para osteotomias, com corte seletivo para tecido mineralizado.	Menor dano aos tecidos moles (nervos, vasos), menor sangramento, recuperação potencialmente mais rápida.	(Mencionado em buscas, não aprofundado nos artigos selecionados)
Navegação Intraoperatória	Sistema que rastreia a posição dos instrumentos cirúrgicos em tempo real em relação à anatomia do paciente.	Aumento da precisão na execução de osteotomias e posicionamento de segmentos, especialmente em casos complexos.	4

Fonte: (Autoria própria, 2025).



3.3 DESFECHOS CLÍNICOS E ACURÁCIA

A Tabela 3 resume os principais desfechos clínicos e métricas de acurácia reportados nos estudos. A acurácia do PCV é um tema central, com a maioria dos estudos prospectivos reportando desvios médios entre o planejado e o executado na ordem de 1 a 2 mm. O estudo de Hsu et al. (3), um dos mais robustos, encontrou um RMSD (Root Mean Square Deviation) máximo de 1.1 mm para a mandíbula e 1.0 mm para a maxila. O uso de placas e guias customizados demonstrou melhorar significativamente a acurácia e reduzir o tempo operatório, como evidenciado por Kim et al. 5. Apesar dos avanços, a predição de tecidos moles e a ocorrência de complicações, como lesões nervosas e recidiva, continuam sendo desafios importantes, conforme apontado nas revisões de Efanov et al. 6 e Kim 19.

Tabela 3 – Desfechos clínicos avaliados

Desfecho Avaliado	Principais Resultados	Limitações Apontadas	Artigos de Referência
Acurácia Cirúrgica	Desvios médios < 2mm entre o planejado e o executado. Guias e placas customizadas aumentam a precisão.	Erros de imagem (CBCT), registro de modelos, comportamento de tecidos moles, curva de aprendizado.	3, 5, 14, 6
Tempo Operatório	Redução significativa com o uso de guias e placas customizadas e na abordagem SFA.	Varia conforme a complexidade do caso e a experiência da equipe.	5, 7
Estabilidade Pós-Operatória	A estabilidade depende da direção do movimento e do tipo de fixação. SFA apresenta estabilidade comparável à convencional.	Recidiva ainda é uma preocupação, especialmente em grandes avanços mandibulares.	10, 13
Complicações	Lesão nervosa, sangramento, infecção, recidiva. Guias muito grandes podem causar necrose tecidual.	O planejamento virtual não elimina complicações, que podem ser inerentes ao procedimento ou ao planejamento.	6, 19, 20
Satisfação do Paciente	Geralmente alta, especialmente com a melhora estética imediata proporcionada pela SFA.	Poucos estudos incluídos focaram primariamente neste desfecho.	(Mencionado em buscas, não aprofundado nos artigos selecionados)

Fonte: (Autoria própria, 2025).

3.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA EVIDÊNCIA

A qualidade da evidência dos estudos incluídos foi avaliada qualitativamente com base nos princípios do sistema GRADE, conforme detalhado na Tabela 4. Observa-se uma predominância de estudos com nível de evidência moderado a baixo. Há uma carência de ensaios clínicos randomizados (nível alto), que são o padrão-ouro para avaliação de intervenções. Muitas das publicações são revisões de literatura ou estudos observacionais, que, embora importantes para a descrição de técnicas e



resultados, estão mais sujeitos a vieses. Estudos como o de Hsu et al. (3), um prospectivo multicêntrico, fornecem uma evidência de maior qualidade, mas são uma minoria.

Tabela 4 – Avaliação da qualidade da evidência segundo o sistema GRADE (Qualitativo)

Autor(es) e Ano	Tipo de Estudo	Risco de Viés (Qualitativo)	Classificação GRADE (Estimada)
Hsu et al., 2013 3	Estudo Prospectivo Multicêntrico	Baixo (desenho robusto)	Moderada a Alta
Kim et al., 2023 5	Estudo Prospectivo	Moderado (amostra pequena)	Moderada
Liao et al., 2019 12	Estudo Prospectivo	Moderado (amostra pequena)	Moderada
Efanov et al., 2018 6	Análise Retrospectiva	Moderado a Alto (retrospectivo)	Baixa
Borba et al., 2016 17	Revisão Sistemática	Baixo (metodologia clara)	Moderada
Jędrzejewski et al., 2015 20	Revisão Sistemática	Baixo (metodologia clara)	Moderada
Lin et al., 2018 2	Revisão de Literatura	Moderado (não sistemática)	Baixa
Roy & Steinbacher, 2022 1	Revisão de Literatura	Moderado (não sistemática)	Baixa
Choi & Lee, 2021 7	Revisão de Literatura	Moderado (não sistemática)	Baixa
Proffit et al., 2007 10	Revisão de Literatura	Moderado (não sistemática)	Baixa

Fonte: (Autoria própria, 2025).

4 DISCUSSÃO

A transição para um fluxo de trabalho digital na cirurgia ortognática representa a mudança mais impactante na especialidade nas últimas duas décadas. Esta revisão integrativa corrobora a percepção geral de que tecnologias como o planejamento cirúrgico virtual (PCV) e a impressão 3D não são apenas tendências, mas ferramentas que redefinem os padrões de precisão e previsibilidade (1,8,22). A análise dos estudos selecionados permite uma discussão aprofundada sobre os benefícios, as limitações e o impacto clínico dessas inovações.

O principal benefício quantificável das novas tecnologias é o aumento da acurácia cirúrgica. O estudo prospectivo multicêntrico de Hsu et al. (3), uma das evidências de maior qualidade incluídas nesta revisão (GRADE Moderado a Alto), demonstrou que o plano virtual pode ser transferido para o paciente com um desvio médio inferior a 1.5 mm e 2.0°. Esses valores são consistentes com outros estudos, como o de Kim et al. (5), que, apesar de uma amostra menor, encontrou uma diferença média de acurácia significativamente menor no grupo que utilizou guias e placas customizadas (0.485 mm)



em comparação com o grupo controle (1.213 mm). Essa consistência entre diferentes estudos (3, 5, 14) fortalece a conclusão de que o fluxo digital supera o planejamento convencional em termos de fidelidade ao plano cirúrgico.

No entanto, é crucial analisar criticamente essas métricas. A acurácia é frequentemente medida pela sobreposição de imagens de CBCT pré e pós-operatórias, um método que possui suas próprias fontes de erro, como artefatos de imagem e dificuldades no registro de pontos de referência (11). Além disso, a maioria dos estudos de acurácia foca no resultado esquelético imediato. A estabilidade a longo prazo, um desfecho de suma importância clínica, é menos explorada. O estudo de Liebregts et al. (13) é uma exceção notável, ao comparar a estabilidade em um ano entre a abordagem surgery-first (SFA) e a convencional, concluindo que a estabilidade é comparável. Contudo, mais estudos longitudinais são necessários para confirmar esses achados, especialmente para movimentos de grande magnitude.

Os benefícios das novas técnicas vão além da acurácia. A redução do tempo operatório, reportada por Kim et al. (5), é um desfecho clínico relevante, com potencial para diminuir a morbidade e os custos hospitalares. A abordagem SFA, em particular, oferece um benefício transformador para o paciente: a melhora estética e funcional imediata, eliminando o longo e, por vezes, socialmente difícil período de descompensação ortodôntica pré-cirúrgica (7, 12).

Apesar das vantagens, as limitações são significativas e não devem ser subestimadas. A revisão de Efanov et al. (6) sobre as "pérolas e armadilhas" do PCV é um contraponto essencial ao otimismo tecnológico. Os autores destacam que o planejamento virtual não substitui o julgamento clínico e está sujeito a erros em todas as etapas, desde a aquisição da imagem (ex: côndilos fora de relação cêntrica) até a execução (ex: guias de corte mal adaptados ou muito grandes, causando necrose tecidual). A predição de tecidos moles, embora aprimorada, continua sendo um desafio, como aponta o trabalho de Ruggiero et al. 9, que busca melhorar a acurácia por meio de modelos mais detalhados. A curva de aprendizado e o alto custo inicial de softwares e hardwares também são barreiras importantes para a ampla adoção dessas tecnologias.

Conforme a avaliação qualitativa baseada no sistema GRADE (Tabela 4), a robustez da evidência que suporta muitas dessas novas técnicas é, em geral, moderada a baixa. A literatura é dominada por séries de casos, estudos retrospectivos e revisões narrativas (1, 2, 7). Ensaios clínicos randomizados (ECRs) são raros, o que dificulta o estabelecimento de relações de causa e efeito definitivas e a criação de diretrizes clínicas baseadas em evidências de alto nível. As revisões sistemáticas incluídas (17,20) fornecem uma síntese valiosa, mas frequentemente concluem pela necessidade de estudos primários de melhor qualidade.



5 CONCLUSÃO

Com base na análise integrativa da literatura científica dos últimos 20 anos, esta revisão conclui que as novas técnicas em cirurgia ortognática, impulsionadas pela revolução digital, representam um avanço substancial em relação aos métodos convencionais. O planejamento cirúrgico virtual, a impressão 3D de guias e placas customizadas e a abordagem surgery-first demonstraram, consistentemente, aumentar a acurácia cirúrgica, otimizar o tempo de tratamento e permitir a execução de planos complexos com maior previsibilidade.

As evidências, embora majoritariamente de nível moderado a baixo, apontam para a superioridade do fluxo de trabalho digital em termos de fidelidade ao plano cirúrgico, com desvios médios clinicamente aceitáveis, na ordem de 1 a 2 mm. No entanto, o planejamento virtual não está isento de falhas e limitações, como a dificuldade na predição de tecidos moles e a dependência da qualidade dos dados de imagem e da experiência do cirurgião. A tecnologia é uma ferramenta poderosa, mas não substitui o julgamento clínico e o conhecimento anatômico aprofundado.

As implicações clínicas práticas são diretas: a adoção de um fluxo de trabalho digital pode levar a resultados cirúrgicos mais precisos e eficientes. Para pesquisas futuras, sugere-se a realização de mais ensaios clínicos randomizados para comparar as novas técnicas com os métodos tradicionais, focando não apenas na acurácia, mas também em desfechos a longo prazo, como estabilidade, qualidade de vida e custo-efetividade. A padronização de protocolos e a validação de novas tecnologias continuarão a ser essenciais para o avanço seguro e eficaz da cirurgia ortognática.



REFERÊNCIAS

- 1.Roy T, Steinbacher DM. Virtual Planning and 3D Printing in Contemporary Orthognathic Surgery. *Semin Plast Surg.* 2022;36(3):169-82.
- 2.Lin HH, Lonic D, Lo LJ. 3D printing in orthognathic surgery – A literature review. *J Formos Med Assoc.* 2018;117(7):547-58.
- 3.Hsu SSP, Gaten J, Bell RB, Hirsch DL, Markiewicz MR, Teichgraeber JF, et al. Accuracy of a computer-aided surgical simulation protocol for orthognathic surgery: a prospective multicenter study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013;71(1):128-42.
- 4.Bell RB. Computer Planning and Intraoperative Navigation in Orthognathic Surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011;69(3):592-605.
- 5.Kim SH, Lee SM, Park JH, Yang S, Kim JW. Effectiveness of individualized 3D titanium-printed Orthognathic osteotomy guides and custom plates. *BMC Oral Health.* 2023;23(1):255.
- 6.Efanov JI, Roy AA, Huang KN, Borsuk DE. Virtual Surgical Planning: The Pearls and Pitfalls. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2018;6(1):e1443.
- 7.Chi JW, Lee JY. Current concept of the surgery-first orthognathic approach. *Arch Plast Surg.* 2021;48(2):199-207.
- 8.Weiss II R, Read-Fuller A. Cone Beam Computed Tomography in Oral and Maxillofacial Surgery: An Evidence-Based Review. *Dent J (Basel).* 2019;7(2):52.
- 9.Ruggiero F, Borghi F, Bevini M, Colombo V, Stacchi C, Mazzoli A. Soft tissue prediction in orthognathic surgery: Improving accuracy by means of anatomical details. *PLoS One.* 2023;18(11):e0294640.
- 10.Proffit WR, Turvey TA, Phillips C. The hierarchy of stability and predictability in orthognathic surgery. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 2007;22(3):195-9.
- 11.Verhelst PJ, Smolders A, Beznik T, Meewis J, Vandemeulebroucke J, Shaheen E, et al. Three-dimensional cone beam computed tomography analysis of the mandibular condylar position and morphology in patients with class II malocclusion undergoing orthognathic surgery. *J Craniomaxillofac Surg.* 2020;48(4):394-401.
- 12.Liao YF, Chen YF, Chen YA, Chen YR. Long-term outcomes of bimaxillary surgery for treatment of asymmetric skeletal class III deformity using surgery-first approach. *Clin Oral Investig.* 2019;23(4):1833-43.
- 13.Liebregts J, Xi T, Timmerman N, de Koning M, Berge S, Hoppenreijts T, et al. One-year postoperative skeletal stability of 3D planned bimaxillary osteotomies: a comparison between surgery-first and conventional treatment. *Sci Rep.* 2019;9(1):2672.
- 14.Abel AR, Doucet JC, Ramirez D, Bruckman KC, Kuang T, Ruellas A, et al. What Is the Accuracy of Bimaxillary Orthognathic Surgery With Computer-Aided Surgical Simulation?. *J Oral Maxillofac Surg.* 2022;80(11):1829-38.



- 15.Knoedler S, Hoch CC, Rössler F, Knoedler L, Cotofana S, Frank K, et al. Early Outcomes and Risk Factors in Orthognathic Surgery for Mandibular and Maxillary Hypo- and Hyperplasia: A 13-Year Analysis of a Multi-Institutional Database. *J Clin Med*. 2023;12(4):1444.
- 16.Moorhead A, Massengill R, Patel S. Le Fort Osteotomy. In: StatPearls (Internet). Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024.
- 17.Borba AM, Borges AH, Cé PS, Venturi BA, Naclério-Homem MG, Miloro M. Mandible-first sequence in bimaxillary orthognathic surgery: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2016;45(4):472-5.
- 18.Lee SJ, Yoo JY, Woo SY, Yang HJ, Kim J, Kim BC, et al. A Complete Digital Workflow for Planning, Simulation, and Evaluation in Orthognathic Surgery. *J Clin Med*. 2021;10(17):4000.
- 19.Kim YK. Complications associated with orthognathic surgery. *J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2017;43(1):3-15.
- 20.Jędrzejewski M, Smektała T, Sporniak-Tutak K, Olszewski R. Preoperative, intraoperative, and postoperative complications in orthognathic surgery: a systematic review. *Clin Oral Investig*. 2015;19(5):969-77.
- 21.Quast A, Santander P, Leding J, Klenke D, Koos B, Reinert S, et al. Orthodontic incisor decompensation in orthognathic therapy—success and efficiency in three dimensions. *Clin Oral Investig*. 2021;25(5):2939-48.
- 22.Elnagar MH, Aronovich S, Kusnoto B. Digital Workflow for Combined Orthodontics and Orthognathic Surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am*. 2020;32(1):1-14.