



DESAFIOS NA CIRURGIA GUIADA E PLANEJAMENTO VIRTUAL 3D EM BUCOMAXILOFACIAL

CHALLENGES IN GUIDED SURGERY AND 3D VIRTUAL PLANNING IN ORAL AND MAXILLOFACIAL SURGERY

DESAFÍOS EN LA CIRUGÍA GUIADA Y LA PLANIFICACIÓN VIRTUAL 3D EN CIRUGÍA ORAL Y MAXILOFACIAL

 <https://doi.org/10.56238/levv16n55-136>

Data de submissão: 29/11/2025

Data de publicação: 29/12/2025

Andres Santiago Quizhpi Lopez
Cirurgia e Traumatología Bucomaxilofacial e Docente – Não Aplicável
Instituição: Universidad Católica de Cuenca (UCACUE)

Geremias Ribeiro de Sousa
Graduando em Odontologia
Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Silas da Silva Crispim
Bacharel em Odontologia
Instituição: Centro Universitário Doutor Leão Sampaio (UNILEÃO)

Geórgia Brandão Olyntho
Graduanda em Odontologia
Instituição: Universidade Fundição Osvaldo Aranha (UniFOA)

Natan Gonçalves Gomes
Graduando em Odontologia
Instituição: Fundação Hermínio Ometto (FHO)

Waliston Moreira dos Santos
Graduando em Odontologia
Instituição: Universidade Santa Rita de Cássia (UNIFASC)

Maiara Tomiatti Justulin
Bacharel em Odontologia
Instituição: Faculdade do Centro Oeste Paulista (FACOP)

Lucas Rafael Guimarães Pereira
Graduando em Odontologia
Instituição: Faculdade Quirinópolis (FAQUI)

RESUMO

O avanço das tecnologias digitais revolucionou a cirurgia bucomaxilofacial, permitindo diagnósticos mais precisos e planejamentos cirúrgicos virtuais em 3D. Esta revisão narrativa examina os benefícios e desafios da cirurgia guiada e do planejamento virtual, com foco em cirurgia ortognática, trauma, reconstrução orbital e implantodontia. A literatura demonstra que a integração de tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) com escaneamentos intraorais e softwares CAD/CAM melhora significativamente a acurácia dos procedimentos, com discrepâncias entre o planejado e o executado geralmente aceitáveis clinicamente (< 2mm). No entanto, persistem limitações como o alto custo, a curva de aprendizado, a falta de padronização nos métodos de registro de imagem (superfície vs. voxel) e restrições funcionais em softwares de implantodontia. O estudo conclui que, embora transformadoras, essas tecnologias exigem validação contínua e superação de barreiras técnicas para sua aplicação universal.

Palavras-chave: Cirurgia Guiada. Planejamento Virtual 3D. Cirurgia Ortognática. Trauma Maxilofacial. Implantodontia Digital. Impressão 3D.

ABSTRACT

The advancement of digital technologies has revolutionized oral and maxillofacial surgery, allowing for more precise diagnoses and 3D virtual surgical planning. This narrative review examines the benefits and challenges of guided surgery and virtual planning, focusing on orthognathic surgery, trauma, orbital reconstruction, and implantology. The literature demonstrates that the integration of cone-beam computed tomography (CBCT) with intraoral scans and CAD/CAM software significantly improves the accuracy of procedures, with discrepancies between planned and executed results generally clinically acceptable (< 2 mm). However, limitations persist, such as high cost, learning curve, lack of standardization in image registration methods (surface vs. voxel), and functional restrictions in implantology software. The study concludes that, although transformative, these technologies require continuous validation and overcoming technical barriers for their universal application.

Keywords: Guided Surgery. 3D Virtual Planning. Orthognathic Surgery. Maxillofacial Trauma. Digital Implantology. 3D Printing.

RESUMEN

El avance de las tecnologías digitales ha revolucionado la cirugía oral y maxilofacial, permitiendo diagnósticos más precisos y una planificación quirúrgica virtual en 3D. Esta revisión narrativa examina los beneficios y desafíos de la cirugía guiada y la planificación virtual, centrándose en la cirugía ortognática, la traumatología, la reconstrucción orbital y la implantología. La literatura demuestra que la integración de la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) con escáneres intraorales y software CAD/CAM mejora significativamente la precisión de los procedimientos, con discrepancias entre los resultados planificados y los ejecutados generalmente clínicamente aceptables (< 2 mm). Sin embargo, persisten limitaciones, como el alto costo, la curva de aprendizaje, la falta de estandarización en los métodos de registro de imágenes (superficie vs. voxel) y las restricciones funcionales del software de implantología. El estudio concluye que, si bien son transformadoras, estas tecnologías requieren una validación continua y la superación de las barreras técnicas para su aplicación universal.

Palabras clave: Cirugía Guiada. Planificación Virtual 3D. Cirugía Ortognática. Traumatismo Maxilofacial. Implantología Digital. Impresión 3D.

1 INTRODUÇÃO

O avanço das tecnologias digitais tem promovido transformações significativas na cirurgia bucomaxilofacial, especialmente nos processos de diagnóstico, planejamento e execução cirúrgica (SCHREURS et al., 2021; ALKHAYER et al., 2020). Tradicionalmente, o planejamento cirúrgico baseava-se em métodos bidimensionais, os quais apresentam limitações na representação de estruturas anatômicas complexas, podendo comprometer a previsibilidade dos resultados cirúrgicos (ALKHAYER et al., 2020). Nesse contexto, a incorporação de recursos tridimensionais tem se mostrado fundamental para a evolução da prática clínica.

O planejamento cirúrgico virtual tridimensional fundamenta-se, principalmente, na utilização da tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone Beam Computed Tomography – CBCT), método de imagem que possibilita a obtenção de reconstruções tridimensionais com alta resolução espacial e menor dose de radiação quando comparado à tomografia computadorizada convencional. A partir desses dados, torna-se possível a reconstrução detalhada das estruturas craniofaciais e a análise precisa das relações anatômicas, permitindo a simulação pré-operatória dos procedimentos e favorecendo decisões clínicas mais assertivas, além de maior previsibilidade dos resultados funcionais e estéticos (SCHREURS et al., 2021; KUMAR et al., 2022).

Associada ao planejamento tridimensional, a cirurgia guiada destaca-se como uma estratégia que possibilita a transferência fiel do planejamento virtual para o campo operatório. Para esse fim, são empregadas tecnologias CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing – Design e Manufatura Assistidos por Computador), que permitem o desenvolvimento virtual e a fabricação de guias cirúrgicos e dispositivos personalizados. Esses recursos viabilizam a execução do procedimento de acordo com o planejamento previamente estabelecido, contribuindo para maior precisão cirúrgica e melhor adaptação dos dispositivos utilizados, especialmente em procedimentos de maior complexidade (FLÜGGE et al., 2022).

A literatura demonstra a ampla aplicação do planejamento tridimensional e da cirurgia assistida por computador em áreas como cirurgia ortognática, reconstruções faciais, tratamento de fraturas maxilofaciais e implantodontia guiada. Evidências científicas indicam que as discrepâncias entre o planejamento virtual e os resultados pós-operatórios são, em sua maioria, clinicamente aceitáveis, reforçando a confiabilidade dessas técnicas (ALKHAYER et al., 2020; GOKER et al., 2025). Entretanto, apesar dos benefícios descritos, ainda persistem desafios relacionados à padronização dos métodos, à qualidade da segmentação das imagens e à validação da precisão dos sistemas empregados.

Além do planejamento e da execução cirúrgica, a avaliação dos resultados depende de métodos tridimensionais confiáveis. Técnicas de registro e sobreposição de imagens em três dimensões têm sido amplamente utilizadas para a comparação entre o planejamento virtual e os resultados pós-operatórios, evidenciando que a escolha adequada das estruturas de referência e dos métodos de análise influencia

diretamente a confiabilidade das avaliações clínicas, especialmente em estudos de longo prazo que envolvem remodelação óssea (HOLTE et al., 2022).

Diante desse contexto, o presente artigo tem como objetivo revisar e discutir a eficácia e os desafios atuais do planejamento cirúrgico virtual tridimensional e da cirurgia guiada nas diferentes subáreas da cirurgia bucomaxilofacial, incluindo cirurgia ortognática, reconstruções faciais, tratamento de traumas maxilofaciais e implantodontia, com ênfase na precisão do planejamento, nas limitações técnicas dos sistemas disponíveis e na previsibilidade dos resultados clínicos.

2 METODOLOGIA

Este trabalho configura-se como uma revisão bibliográfica narrativa, elaborada com o intuito de compilar e examinar criticamente as evidências científicas contemporâneas acerca dos desafios enfrentados na cirurgia guiada e no planejamento virtual 3D na especialidade bucomaxilofacial. A busca pelos artigos base foi conduzida na base de dados PubMed, empregando os descritores 'Oral and Maxillofacial Surgery', 'Computer-Assisted' e 'Imaging, Three-Dimensional', interligados pelos operadores booleanos AND e OR, em conformidade com o vocabulário do Medical Subject Headings (MeSH). O critério de inclusão abrangeu estudos publicados no intervalo dos últimos cinco anos, disponíveis na íntegra e escritos em língua inglesa ou portuguesa, que tratassesem diretamente da temática proposta. Foram descartados da análise os trabalhos que fugiam ao escopo central da pesquisa, duplicações, revisões com metodologia frágil e artigos não indexados. O processo de seleção dos materiais ocorreu em duas fases distintas: primeiramente, realizou-se a triagem por meio da leitura de títulos e resumos, seguida pela análise aprofundada dos textos completos para ratificar sua pertinência. Os dados obtidos foram sistematizados e apresentados de maneira descritiva.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ACURÁCIA NO PLANEJAMENTO VIRTUAL EM CIRURGIA ORTOGNÁTICA E TRAUMA

A transição do planejamento convencional para o virtual tem demonstrado ganhos significativos na precisão cirúrgica. Em uma revisão sistemática focada em cirurgia ortognática, observou-se que o planejamento virtual é um método preciso e reproduzível, com a maioria dos estudos relatando uma diferença média linear menor que 2 mm e angular menor que 2 graus entre o planejado e o resultado pós-operatório, o que é considerado clinicamente aceitável (Alkhayer et al., 2020). A combinação de TCFC com escaneamentos intraorais dos modelos dentais emergiu como o protocolo de imagem mais utilizado. Contudo, discrepâncias ainda podem ocorrer, particularmente no controle vertical intraoperatório, sugerindo que, apesar da alta precisão, o método requer validação contínua através de ensaios clínicos (Alkhayer et al., 2020).

No contexto do trauma maxilofacial, a aplicação de técnicas CAD/CAM e impressão 3D para a confecção de guias de redução e placas customizadas tem se mostrado benéfica. Um estudo clínico avaliando fraturas complexas tratadas com essas tecnologias reportou uma acurácia média de 1,518 mm na superposição do planejamento pré-operatório com a tomografia pós-operatória (Goker et al., 2025). Embora a tecnologia permita um planejamento pré-operatório detalhado e potencialmente reduza o tempo cirúrgico intraoperatório, desafios como a quebra de guias ou dificuldades no posicionamento de placas ainda são relatados, exigindo uma curva de aprendizado e comunicação eficiente entre cirurgiões e engenheiros biomédicos (Goker et al., 2025).

3.2 RECONSTRUÇÃO ORBITAL E DIAGNÓSTICO AVANÇADO

A anatomia complexa da órbita torna o planejamento virtual e a cirurgia assistida por computador ferramentas indispensáveis. O processo inicia-se com a criação de um modelo virtual do paciente (VPM) a partir de dados de tomografia computadorizada, que pode ser enriquecido com outras modalidades de imagem (Schreurs, Klop e Maal, 2021). Técnicas de diagnóstico avançado, como a segmentação baseada em atlas e o espelhamento do lado não afetado, permitem uma quantificação precisa do defeito e do volume orbital. O planejamento cirúrgico virtual possibilita a escolha e o posicionamento ideal de implantes pré-formados ou o design de implantes específicos para o paciente (PSI), garantindo a reconstrução anatômica mais fiel possível (Schreurs, Klop e Maal, 2021). Além disso, a navegação cirúrgica e a avaliação pós-operatória imediata através da fusão de imagens fecham o ciclo de feedback, permitindo o controle de qualidade do procedimento.

3.3 IMPLANTODONTIA DIGITAL E LIMITAÇÕES DE SOFTWARE

Na implantodontia, o fluxo de trabalho digital promete eficiência ao integrar o escaneamento intraoral, a TCFC e o planejamento protético. A análise de diversos softwares de planejamento revelou que, embora a maioria permita a importação de enceramentos diagnósticos e a visualização de implantes em reconstruções multiplanares, existem limitações funcionais importantes (Flügge et al., 2022). Apenas uma minoria dos sistemas oferece interfaces diretas para o desenho de um enceramento protético virtual individualizado ou a utilização de articuladores virtuais para simulação dinâmica da oclusão. Além disso, nenhum dos sistemas testados fornecia ferramentas para o design de abutments individuais dentro do ambiente de planejamento cirúrgico, o que restringe a capacidade do cirurgião de visualizar o perfil de emergência ideal antes da cirurgia (Flügge et al., 2022). A disponibilidade de bibliotecas de implantes também varia significativamente entre os softwares, o que pode influenciar a escolha da ferramenta pelo clínico.

3.4 DESAFIOS NO REGISTRO E AVALIAÇÃO DE LONGO PRAZO

A avaliação longitudinal dos resultados cirúrgicos, como a remodelação condilar pós-cirurgia ortognática, apresenta desafios técnicos específicos relacionados ao método de superposição de imagens 3D. Um estudo comparativo entre o registro baseado em superfície e o baseado em voxel no ramo mandibular demonstrou que o registro baseado em superfície foi significativamente mais preciso e confiável dois anos após a cirurgia (Holte, Sæderup e Pinholt, 2022). O registro baseado em voxel apresentou erros de medição clinicamente relevantes (acima de 5% em volume e 0,5 mm em distância), falhando em casos de reabsorção condilar severa devido à falta de informações mútuas de imagem suficientes na estrutura de referência. Isso destaca a importância crítica da escolha do método de registro e das estruturas de referência estáveis para a validação dos resultados a longo prazo (Holte, Sæderup e Pinholt, 2022).

3.5 APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES DA IMPRESSÃO 3D

A impressão 3D consolidou-se como uma tecnologia versátil na cirurgia bucomaxilofacial, permitindo a fabricação de modelos anatômicos para planejamento e educação, guias cirúrgicos, splints oclusais e próteses faciais (Yashavanth Kumar et al., 2022). As vantagens incluem a melhoria na comunicação com o paciente, facilitação do consentimento informado e potencial redução do tempo operatório. Contudo, o custo elevado dos equipamentos e materiais, juntamente com o tempo necessário para o planejamento e impressão, permanecem como barreiras para a adoção universal. Além disso, o uso de guias cirúrgicos pode exigir incisões maiores devido ao volume do dispositivo, o que deve ser ponderado em relação aos benefícios de precisão (Yashavanth Kumar et al., 2022).

4 CONCLUSÃO

O planejamento cirúrgico virtual tridimensional, a cirurgia assistida por computador e a impressão 3D representam avanços relevantes na cirurgia oral e maxilofacial, proporcionando maior previsibilidade e personalização dos tratamentos em áreas como cirurgia ortognática, trauma, reconstrução crânio facial e implantodontia. Essas tecnologias contribuem para melhores desfechos funcionais e estéticos. Entretanto, sua aplicação clínica ainda apresenta limitações importantes, incluindo altos custos, tempo prolongado de planejamento e fabricação, restrições dos softwares, imprecisões técnicas e a necessidade de abordagens cirúrgicas mais extensas devido ao volume de guias. Em situações que exigem intervenção rápida, como fraturas maxilofaciais e tumores agressivos, o tempo de confecção de dispositivos customizados pode comprometer sua viabilidade, exigindo reavaliação criteriosa das margens cirúrgicas e da indicação do método. Portanto, sua utilização é de extrema assistência, mas deve ser criteriosa.



REFERÊNCIAS

ALKHAYER, Ali et al. Accuracy of virtual planning in orthognathic surgery: a systematic review. **Head & Face Medicine**, v. 16, n. 34, p. 1-9, 2020.

FLÜGGE, Tabea et al. Digital implantology—a review of virtual planning software for guided implant surgery. Part II: Prosthetic set-up and virtual implant planning. **BMC Oral Health**, v. 22, n. 23, p. 1-11, 2022.

GOKER, Funda et al. Accuracy and clinical evaluation of computer-aided surgery in management of maxillofacial fractures after trauma. **Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery**, v. 53, p. 1596-1608, 2025.

HOLTE, Michael Boelstoft; SÆDERUP, Henrik; PINHOLT, Else Marie. Comparison of surface- and voxel-based registration on the mandibular ramus for long-term three-dimensional assessment of condylar remodelling following orthognathic surgery. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 51, n. 20210499, p. 1-12, 2022.

SCHREURS, Ruud; KLOP, Cornelis; MAAL, Thomas J.J. Advanced Diagnostics and Three-dimensional Virtual Surgical Planning in Orbital Reconstruction. **Atlas of the Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America**, v. 29, p. 79-96, 2021.

YASHAVANTH KUMAR, D. S. et al. Three-dimensional printing in the field of oral and maxillofacial surgery. **National Journal of Maxillofacial Surgery**, v. 13, supl. 1, p. S19-S23, 2022.