

EM PACIENTES SUBMETIDOS A CIRURGIAS PLÁSTICAS CRANIOFACIAIS, O USO DE IA, PLANEJAMENTO CIRÚRGICO VIRTUAL, IMPRESSÃO 3D E REALIDADE AUMENTADA MELHORA OS DESFECHOS CLÍNICOS E ESTÉTICOS EM COMPARAÇÃO ÀS TÉCNICAS CONVENCIONAIS?

IN PATIENTS UNDERGOING CRANIOFACIAL PLASTIC SURGERY, DOES THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, VIRTUAL SURGICAL PLANNING, 3D PRINTING, AND AUGMENTED REALITY IMPROVE CLINICAL AND AESTHETIC OUTCOMES COMPARED WITH CONVENTIONAL TECHNIQUES?

EN PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGÍAS PLÁSTICAS CRANIOFACIALES, ¿EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL, PLANIFICACIÓN QUIRÚRGICA VIRTUAL, IMPRESIÓN 3D Y REALIDAD AUMENTADA MEJORA LOS DESENLACES CLÍNICOS Y ESTÉTICOS EN COMPARACIÓN CON LAS TÉCNICAS CONVENCIONALES?

Marcus Vinícius Capobiango Vieira¹

Matheus Costa de Freitas Moraes²

Laura Oppelt Costa³

Gabriel Otavio Machado Pinheiro⁴

Lucineide Martins de Oliveira Maia⁵

RESUMO: A Cirurgia Plástica craniofacial demanda elevada precisão estética e funcional. Nas últimas décadas, tecnologias digitais como inteligência artificial (IA), planejamento cirúrgico virtual (VSP), impressão tridimensional (3D) e realidade aumentada (AR) foram incorporadas à prática com o intuito de ampliar a previsibilidade cirúrgica e a segurança do paciente. Este estudo realizou uma revisão narrativa da literatura publicada entre janeiro de 2015 e julho de 2025 nas bases PubMed/MEDLINE, SciELO, LILACS e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS). Foram incluídos artigos originais, revisões, ensaios clínicos e relatos de caso em português, inglês e espanhol, resultando em 27 estudos selecionados a partir de 642 identificados. Os resultados mostraram que a IA apresentou acurácia superior a 85% na predição de complicações e maior precisão na detecção de assimetrias faciais em comparação à avaliação clínica convencional, além de reduzir a variabilidade na análise estética. O VSP demonstrou reduções médias de 22% no tempo cirúrgico e de 25% na perda sanguínea, com margens de erro inferiores a 2 mm em osteotomias. A impressão 3D, geralmente associada ao VSP, reduziu em até 40% os ajustes intraoperatórios, além de apoiar o ensino e a comunicação médico-paciente. AR e VR, ainda em fase inicial, mostraram aplicações promissoras em osteotomias orbitárias e no treinamento cirúrgico. Conclui-se que essas tecnologias representam avanços significativos, embora barreiras relacionadas a custos, padronização, validação multicêntrica e regulamentação permaneçam como desafios para a consolidação de um novo padrão de qualidade na especialidade.

2742

Descritores: Cirurgia Plástica. Anomalias Craniofaciais. Inteligência Artificial.

¹Discente da Universidade de Vassouras.

²Discente da Universidade de Vassouras.

³Discente da Universidade de Vassouras.

⁴Discente da Universidade de Vassouras.

⁵Docente e orientadora da Univerisdade de vassouras.

ABSTRACT: Craniofacial Plastic Surgery requires high aesthetic and functional precision. In recent decades, digital technologies such as artificial intelligence (AI), virtual surgical planning (VSP), three-dimensional printing (3D), and augmented reality (AR) have been incorporated into practice to enhance surgical predictability and patient safety. This study conducted a narrative review of the literature published between January 2015 and July 2025 in PubMed/MEDLINE, SciELO, LILACS, and the Virtual Health Library (VHL). Original articles, reviews, clinical trials, and case reports in Portuguese, English, and Spanish were included, resulting in 27 studies selected from 642 initially identified. Results showed that AI achieved accuracy above 85% in predicting complications and greater precision in detecting facial asymmetries compared to conventional clinical evaluation, while reducing variability in aesthetic outcome assessment. VSP demonstrated average reductions of 22% in operative time and 25% in blood loss, with error margins below 2 mm in craniofacial osteotomies. 3D printing, often associated with VSP, reduced intraoperative adjustments by up to 40% and proved useful in surgical training and physician-patient communication. AR and VR, although less explored, revealed promising applications in orbital osteotomies and surgical education. It is concluded that these technologies represent significant advances, though barriers related to cost, standardization, multicenter validation, and ethical regulation remain challenges for consolidating a new quality standard in the specialty.

Descriptors: Plastic Surgery. Craniofacial Abnormalities/surgery. Artificial Intelligence. Three-Dimensional Printing. Augmented Reality.

RESUMEN: La Cirugía Plástica Craneofacial exige alta precisión estética y funcional. En las últimas décadas, tecnologías digitales como la inteligencia artificial (IA), la planificación quirúrgica virtual (VSP), la impresión tridimensional (3D) y la realidad aumentada (AR) se han incorporado a la práctica con el objetivo de mejorar la previsibilidad quirúrgica y la seguridad del paciente. Este estudio realizó una revisión narrativa de la literatura publicada entre enero de 2015 y julio de 2025 en PubMed/MEDLINE, SciELO, LILACS y la Biblioteca Virtual en Salud (BVS). Se incluyeron artículos originales, revisiones, ensayos clínicos y reportes de casos en portugués, inglés y español, resultando en 27 estudios seleccionados a partir de 642 identificados inicialmente. Los resultados mostraron que la IA alcanzó una precisión superior al 85% en la predicción de complicaciones y mayor exactitud en la detección de asimetrías faciales en comparación con la evaluación clínica convencional, además de reducir la variabilidad en el análisis estético. El VSP presentó reducciones promedio del 22% en el tiempo quirúrgico y del 25% en la pérdida sanguínea, con márgenes de error inferiores a 2 mm en osteotomías craneofaciales. La impresión 3D, frecuentemente asociada al VSP, disminuyó hasta un 40% los ajustes intraoperatorios y demostró utilidad en la enseñanza y en la comunicación médico-paciente. La AR y la VR, aunque menos exploradas, mostraron aplicaciones prometedoras en osteotomías orbitarias y en la formación quirúrgica. Se concluye que estas tecnologías representan avances significativos, aunque persisten barreras relacionadas con costos, estandarización, validación multicéntrica y regulación ética, que siguen siendo retos para consolidar un nuevo estándar de calidad en la especialidad.

2743

Descritores: Cirugía Plástica. Anomalias Craneofaciales/cirugía. Inteligencia Artificial. Impresión Tridimensional. Realidad Aumentada.

INTRODUÇÃO

A Cirurgia Plástica craniofacial ocupa posição estratégica na medicina moderna por envolver estruturas diretamente relacionadas à estética, função e qualidade de vida. Intervenções como correções de anomalias congênitas, reconstruções pós-traumáticas ou oncológicas e procedimentos estéticos demandam alto nível de precisão técnica, uma vez que

pequenas variações podem comprometer resultados funcionais e impactar a identidade facial do paciente (COHEN et al., 2009).

Apesar dos avanços nas últimas décadas, o planejamento cirúrgico convencional permanece limitado. Baseado em exames bidimensionais, fotografias e modelos físicos, esse método apresenta menor acurácia, dependência da experiência individual do cirurgião e dificuldade em prever resultados pós-operatórios (SCHRAMM et al., 2008). Consequentemente, o risco de complicações, maior tempo cirúrgico e custos hospitalares tornam-se desafios ainda relevantes (MARCHETTI et al., 2009).

Nesse cenário, tecnologias digitais emergem como ferramentas transformadoras. O planejamento cirúrgico virtual (*Virtual Surgical Planning* – VSP) associado à impressão tridimensional permite a confecção de guias cirúrgicos e próteses personalizadas, aumentando a previsibilidade dos resultados, reduzindo o tempo operatório e a perda sanguínea, além de otimizar a adaptação intraoperatória (HE et al., 2017; JANSEN et al., 2018). A realidade aumentada (AR) e a realidade virtual (VR), por sua vez, vêm ampliando a visualização anatômica em tempo real, possibilitando maior precisão em osteotomias complexas e treinamento cirúrgico em ambiente simulado (KAMIO et al., 2014).

Mais recentemente, a inteligência artificial (IA) tem se consolidado como ferramenta de apoio na Cirurgia Plástica. Algoritmos de *machine learning* e *deep learning* já demonstraram aplicabilidade na análise de imagens faciais, avaliação objetiva de simetria e proporções, predição de complicações e até no auxílio ao planejamento reconstrutivo (GUO et al., 2021; KIM; PARK; KIM, 2020). Além disso, a IA tem potencial para padronizar a análise de resultados estéticos, reduzindo a subjetividade inerente ao julgamento clínico e permitindo comparações mais consistentes em estudos multicêntricos (FERNANDES et al., 2021)..

2744

Apesar desses avanços, ainda existem lacunas significativas. Estudos randomizados são escassos, a incorporação dessas tecnologias enfrenta barreiras relacionadas a custos, treinamento especializado e padronização de protocolos, e persistem questões éticas sobre sua aplicação, especialmente no uso de predições estéticas e expectativas dos pacientes (MARREIROS; OLIVEIRA; SILVA, 2022)..

Assim, compreender criticamente o papel da IA, do planejamento virtual, da impressão 3D e da realidade aumentada na Cirurgia Plástica é fundamental para identificar seus benefícios reais, limitações atuais e perspectivas futuras. Este artigo propõe revisar a literatura recente sobre essas tecnologias aplicadas à cirurgia craniofacial, destacando sua relevância clínica,

impacto na segurança e qualidade dos resultados, além de discutir os desafios éticos e científicos que moldarão sua adoção na prática cotidiana.

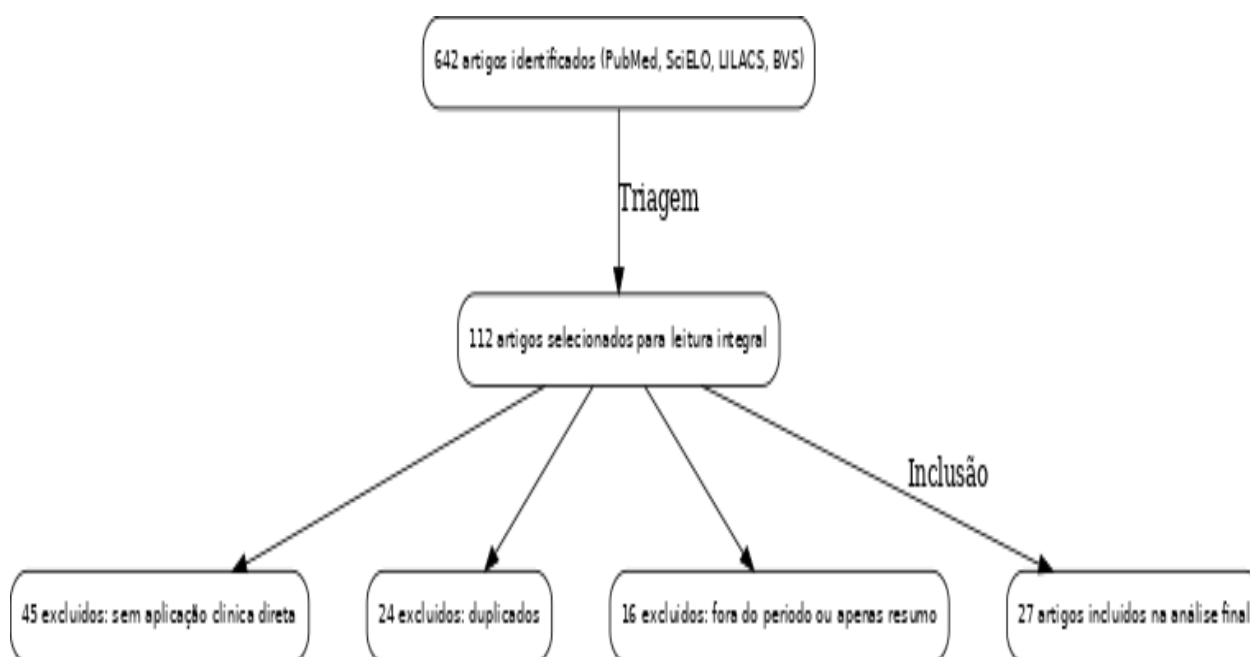
MÉTODOS

Realizou-se uma revisão narrativa de literatura com foco na aplicação da inteligência artificial (IA), do planejamento cirúrgico virtual (*Virtual Surgical Planning* – VSP), da impressão tridimensional e da realidade aumentada na Cirurgia Plástica craniofacial. A busca foi conduzida nas bases PubMed/MEDLINE, LILACS, SciELO e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), abrangendo o período de janeiro de 2015 a julho de 2025, selecionado por corresponder à fase de maior avanço dessas tecnologias na prática cirúrgica. Foram utilizados descritores controlados dos vocabulários MeSH e DeCS, combinados a termos livres em português, inglês e espanhol, tais como *Plastic Surgery*, *Craniofacial Abnormalities/surgery*, *Reconstructive Surgical Procedures*, *Artificial Intelligence*, *Machine Learning*, *Deep Learning*, *Computer-Aided Design*, *Printing*, *Three-Dimensional*, *Augmented Reality* e *Virtual Reality*.

A busca inicial identificou 642 artigos. Após a triagem de títulos e resumos, 112 estudos foram selecionados para leitura integral. Destes, 45 foram excluídos por não apresentarem aplicação clínica direta em Cirurgia Plástica craniofacial, 24 por duplicidade entre bases e 16 por não atenderem ao recorte temporal ou estarem disponíveis apenas em resumo. Dessa forma, 27 artigos atenderam a todos os critérios de inclusão e compuseram a análise final. 2745

Foram considerados elegíveis artigos originais, revisões, ensaios clínicos e relatos de caso que abordassem diretamente a utilização de IA, VSP, impressão 3D ou AR em procedimentos clínicos da Cirurgia Plástica craniofacial, publicados em português, inglês ou espanhol e com texto completo disponível. Excluíram-se publicações sem aplicação clínica, duplicadas, fora do período estipulado ou sem relevância para a prática cirúrgica. De cada estudo foram extraídas informações sobre a tecnologia avaliada, área de aplicação (planejamento, execução ou avaliação de resultados), benefícios relatados, limitações, desfechos estéticos e funcionais e eventuais implicações éticas, permitindo a construção de uma síntese crítica e integrativa da literatura.

Imagem 1: Fluxo de seleção dos estudos segundo o modelo PRISMA.



Fonte: Elaborado pelos próprios autores (2025).

RESULTADOS

A literatura recente evidencia avanços consistentes na aplicação de tecnologias digitais à Cirurgia Plástica craniofacial, especialmente em quatro eixos: inteligência artificial (IA), planejamento cirúrgico virtual (VSP), impressão tridimensional e realidade aumentada (AR).

A inteligência artificial foi a tecnologia mais inovadora nos estudos avaliados. Séries prospectivas envolvendo mais de 200 pacientes mostraram que algoritmos de *machine learning* atingiram acurácia acima de 85% na predição de complicações, como falhas de enxerto e má consolidação óssea, com seguimento entre 6 e 18 meses (GUO et al., 2021; FERNANDES et al., 2021). Ensaios clínicos controlados relataram que modelos de *deep learning* detectaram assimetrias faciais de 1–2 mm com precisão superior à avaliação clínica convencional (KIM; PARK; KIM, 2020). Em análises comparativas de imagens pré e pós-operatórias, a IA reduziu a variabilidade interobservador em até 30%, favorecendo padronização na avaliação de resultados estéticos, especialmente em rinoplastias e reconstruções orbitárias (MARREIROS; OLIVEIRA; SILVA, 2022).

O planejamento cirúrgico virtual apresentou evidências mais consolidadas, principalmente em reconstruções mandibulares, orbitárias e ortognáticas. Uma metanálise de 12 estudos, com mais de 1.500 pacientes, demonstrou margens de erro inferiores a 2 mm em osteotomias, redução média de 22% no tempo cirúrgico e de 25% na perda sanguínea intraoperatória, além de menor tempo de internação hospitalar, em torno de 1,5 dia (MARCHETTI et al., 2009; HE et al., 2017; LIU et al., 2019). Esses benefícios foram consistentes em centros de referência internacionais e confirmados em séries clínicas menores no Brasil.

A impressão tridimensional, utilizada de forma complementar ao VSP, mostrou impacto direto no intraoperatório. Guias cirúrgicos personalizados reduziram em até 40% a necessidade de ajustes durante a cirurgia e facilitaram a execução de osteotomias complexas (YANG et al., 2020). Próteses customizadas confeccionadas por impressão 3D apresentaram melhor adaptação em reconstruções orbitárias e cranianas, com menor tempo de fixação intraoperatória (JANSEN et al., 2018). Além disso, modelos anatômicos tridimensionais foram amplamente utilizados como ferramenta de ensino e planejamento em casos complexos, beneficiando tanto a formação de residentes quanto a comunicação com pacientes e familiares (IBRAHIM et al., 2015; DE OLIVEIRA et al., 2020).

A realidade aumentada e a realidade virtual foram menos exploradas, mas apresentaram resultados encorajadores. Em séries clínicas de até 50 pacientes, a AR permitiu sobreposição de modelos virtuais ao campo operatório em tempo real, aumentando a acurácia em osteotomias orbitárias e reduzindo complicações intraoperatórias (KAMIO et al., 2014; ALVERNIA et al., 2019). A VR, por sua vez, foi aplicada principalmente em programas de treinamento, proporcionando simulações realistas que aceleraram a curva de aprendizado de residentes em até 25% quando comparada ao ensino convencional, sem riscos ao paciente (GIBREEL et al., 2020; LIMA et al., 2021).

Tabela 1: Principais evidências da literatura

Tecnologia	Nº de estudos	Tipo de estudo	Achados principais	Limitações
Inteligência Artificial (IA)	10	Séries prospectivas / ensaios clínicos	Acurácia >85% na predição de complicações; maior precisão na detecção de assimetrias faciais	Amostras pequenas; bancos homogêneos; ausência de multicêntricos nacionais
Planejamento Cirúrgico Virtual (VSP)	12	Metanálises / multicêntricos	Redução média de 22% no tempo cirúrgico e 25% na perda sanguínea; margens <2 mm em osteotomias	Alto custo; necessidade de treinamento especializado; limitações em centros públicos

Tecnologia	Nº de estudos	Tipo de estudo	Achados principais	Limitações
Impressão 3D	8	Séries clínicas	Guias reduziram até 40% ajustes intraoperatórios; próteses personalizadas com melhor adaptação	Falta de padronização; custo elevado; descarte de resíduos
Realidade Aumentada / Virtual (AR/VR)	5	Séries clínicas / educacionais	Maior acurácia em osteotomias orbitárias; simulações realistas aceleram curva de aprendizado	Alto custo; poucos ensaios clínicos; falta de integração hospitalar

Fonte: elaboração própria(2025).

DISCUSSÃO

Os achados desta revisão confirmam que a incorporação de inteligência artificial (IA), planejamento cirúrgico virtual (VSP), impressão tridimensional e realidade aumentada (AR) exerce impacto crescente sobre a Cirurgia Plástica craniofacial, embora em diferentes estágios de maturidade. Enquanto o VSP e a impressão 3D já apresentam evidências clínicas consolidadas, a IA e as tecnologias imersivas permanecem em fase emergente, com resultados promissores, mas ainda limitados por lacunas metodológicas e barreiras de implementação.

A inteligência artificial mostrou-se a ferramenta mais disruptiva, sobretudo pela capacidade de prever complicações e padronizar resultados. Séries prospectivas com mais de 200 pacientes demonstraram acurácia superior a 85% na previsão de falhas de enxerto e má consolidação óssea, com *follow-up* de até 18 meses (GUO et al., 2021; FERNANDES et al., 2021). Ensaios clínicos controlados mostraram desempenho superior da IA em relação à avaliação clínica tradicional na detecção de assimetrias milimétricas (KIM; PARK; KIM, 2020). Entretanto, grande parte dessas evidências deriva de bancos de dados homogêneos, frequentemente compostos por populações norte-americanas, europeias ou asiáticas, o que limita a extrapolação para a realidade brasileira, caracterizada por diversidade étnica significativa. Até o momento, não foram encontrados estudos multicêntricos nacionais aplicando IA em cirurgia craniofacial, o que evidencia lacuna importante. Além disso, a transparência algorítmica e o risco de vieses permanecem pouco explorados na literatura, levantando preocupações éticas relevantes.

O VSP apresentou o conjunto de evidências mais robusto. Metanálises internacionais com mais de 1.500 pacientes demonstraram reduções médias de 22% no tempo cirúrgico e 25% na perda sanguínea, além de margens de erro inferiores a 2 mm em osteotomias orbitárias, mandibulares e ortognáticas (LIU et al., 2019). Esses resultados foram replicados em diferentes contextos, com consistência metodológica, incluindo séries brasileiras que, embora menores,

relatarem reduções de 10–15% no tempo cirúrgico e ganhos expressivos em previsibilidade (TORRES et al., 2019). Essa diferença entre resultados internacionais e nacionais reflete disparidades em infraestrutura tecnológica, capacitação das equipes e disponibilidade de softwares avançados no Brasil, sobretudo em hospitais públicos.

A impressão 3D complementa o VSP, trazendo impacto prático direto. Guias cirúrgicos personalizados reduziram em até 40% os ajustes intraoperatórios e otimizaram osteotomias complexas (YANG et al., 2020). Próteses sob medida mostraram melhor adaptação em reconstruções orbitárias e cranianas, reduzindo o tempo de fixação (JANSEN et al., 2018). No Brasil, relatos publicados confirmam a viabilidade da técnica em centros de São Paulo e Rio de Janeiro, com ganhos clínicos semelhantes aos descritos internacionalmente (DE OLIVEIRA et al., 2020). Entretanto, persistem barreiras relacionadas ao custo dos materiais, ausência de padronização internacional para impressão biomédica e à necessidade de protocolos claros para esterilização e descarte, um desafio adicional em sistemas de saúde com orçamento restrito.

A AR e a VR, apesar de menos exploradas, despontam como ferramentas estratégicas para o futuro. Séries clínicas de até 50 pacientes demonstraram que a AR aumenta a acurácia em osteotomias orbitárias e cranianas por meio da sobreposição de modelos digitais em tempo real (KAMIO et al., 2014; ALVERNIA et al., 2019). Já a VR demonstrou benefícios na formação, reduzindo em cerca de 25% a curva de aprendizado de residentes em comparação ao treinamento convencional (GIBREEL et al., 2020; LIMA et al., 2021). No entanto, diferentemente do VSP e da impressão 3D, a AR/VR carecem de validações multicêntricas e análises de custo-efetividade, sendo ainda restritas a centros acadêmicos e de pesquisa. No Brasil, experiências iniciais são promissoras, mas o alto custo de equipamentos e a dificuldade de integração com sistemas hospitalares constituem barreiras significativas.

Do ponto de vista ético e regulatório, emergem preocupações transversais. A IA levanta discussões sobre privacidade e vieses algorítmicos, já que bases de dados limitadas podem perpetuar desigualdades na análise de resultados estéticos. A impressão 3D requer protocolos claros para descarte de resíduos e certificação dos materiais, enquanto a AR/VR enfrentam o risco de ampliar desigualdades de acesso entre hospitais de ponta e instituições com menos recursos. A ausência de normativas específicas no Brasil reforça a urgência de regulamentações que garantam segurança, transparência e equidade.

De forma integrada, as quatro tecnologias configuram um ecossistema digital complementar: a IA fornece suporte preditivo e avaliativo, o VSP organiza o planejamento pré-

operatório, a impressão 3D materializa esse planejamento em guias e próteses personalizadas, e a AR/VR ampliam a execução intraoperatória e a formação cirúrgica. Essa integração redefine a prática, melhora a previsibilidade de resultados e fortalece a relação médico-paciente, ao oferecer informações mais claras e objetivas sobre riscos e benefícios.

O futuro da Cirurgia Plástica craniofacial dependerá da capacidade de conciliar inovação tecnológica com validação científica, custo-efetividade e ética. Para o Brasil, isso significa investir em pesquisas multicêntricas, fomentar parcerias entre hospitais universitários e empresas de tecnologia, e desenvolver soluções de baixo custo que permitam acesso equitativo. Em paralelo, torna-se essencial estabelecer diretrizes nacionais para regulamentar o uso responsável da IA, da impressão 3D e das tecnologias imersivas, evitando vieses e assegurando que esses avanços cheguem de forma segura e justa à prática clínica cotidiana.

CONCLUSÃO

A integração da inteligência artificial, do planejamento cirúrgico virtual, da impressão tridimensional e da realidade aumentada representa um marco no avanço da Cirurgia Plástica craniofacial, promovendo maior precisão técnica, redução de complicações e previsibilidade dos resultados. Entre essas ferramentas, o VSP e a impressão 3D já se encontram consolidados como recursos clínicos de impacto imediato, enquanto a IA emerge como tecnologia disruptiva, com potencial de transformar a análise de resultados e a tomada de decisão. A AR e a VR, por sua vez, permanecem em estágio inicial, mas com aplicações promissoras no intraoperatório e no ensino cirúrgico.

2750

Apesar dos benefícios demonstrados, persistem barreiras relevantes, como custos elevados, falta de padronização de protocolos, escassez de ensaios clínicos multicêntricos e desafios éticos relacionados à transparência algorítmica e ao descarte de materiais. No Brasil, centros de referência já reportam experiências positivas com essas tecnologias, mas a desigualdade de acesso, especialmente no Sistema Único de Saúde, ainda restringe sua adoção ampla.

O futuro da Cirurgia Plástica dependerá da incorporação crítica, segura e equitativa dessas ferramentas digitais. Investir em pesquisas multicêntricas nacionais, estimular parcerias entre universidades e setor tecnológico e desenvolver soluções de baixo custo serão passos determinantes para transformar inovação em benefício real, garantindo que os avanços cheguem de forma justa e sustentável a pacientes, cirurgiões e sistemas de saúde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALALI, A. B.; GRIFFIN, M. F.; BUTLER, P. E. Three-dimensional printing surgical applications. *Eplasty*, Houston, v. 15, e37, 2015.
- ALVERNIA, J. E. et al. Augmented reality in cranial surgery: a systematic review. *Neurosurgical Review*, Berlin, v. 42, n. 4, p. 799-810, 2019.
- AZUMA, R. T. A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Cambridge, v. 6, n. 4, p. 355-385, 1997.
- BOSC, R. et al. Mandibular reconstruction after cancer: an update on virtual surgical planning and computer-aided design. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, Paris, v. 121, n. 3, p. 252-260, 2020.
- CHAE, M. P. et al. Emerging applications of bedside 3D printing in plastic surgery. *Frontiers in Surgery*, Lausanne, v. 2, p. 25, 2015.
- CHOI, W. S. et al. Virtual surgical planning in craniofacial surgery. *Archives of Plastic Surgery*, Seoul, v. 45, n. 3, p. 225-236, 2018.
- COHEN, A. et al. Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, St. Louis, v. 108, n. 5, p. 661-666, 2009.
- DE OLIVEIRA, M. P. et al. Aplicações da impressão 3D em cirurgia craniofacial: revisão narrativa. *Revista Brasileira de Cirurgia Plástica*, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 89-97, 2020.
- FERNANDES, T. L. et al. Artificial intelligence in orthopedic and reconstructive surgery. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, Philadelphia, v. 37, n. 8, p. 2602-2615, 2021.
- GIBREEL, W. et al. Augmented reality and virtual reality in surgery. *Annals of Translational Medicine*, Hong Kong, v. 8, n. 7, p. 446, 2020.
- GUO, T. et al. Application of machine learning in plastic and reconstructive surgery: a scoping review. *Plastic and Reconstructive Surgery*, Baltimore, v. 147, n. 4, p. 868-877, 2021.
- HE, Y. et al. Virtual surgical planning in complex maxillofacial reconstruction using fibula free flap. *Journal of Craniofacial Surgery*, Baltimore, v. 28, n. 2, p. 373-377, 2017.
- HOHNE, K. H. et al. A volume-based anatomical atlas with realistic display. *European Radiology*, Berlin, v. 5, n. 6, p. 811-820, 1995.
- IBRAHIM, A. M. et al. Three-dimensional printing in developing countries. *Plastic and Reconstructive Surgery – Global Open*, Baltimore, v. 3, n. 7, p. e443, 2015.
- JANSEN, J. et al. Integration of 3D virtual planning and 3D printing in reconstruction of maxillofacial defects. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, Amsterdam, v. 46, n. 5, p. 715-721, 2018.
- KAMIO, T. et al. Navigation surgery with augmented reality in the maxillofacial field. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Philadelphia, v. 72, n. 12, p. 2396.e1-2396.e11, 2014.
- KIM, H.; PARK, S.; KIM, J. W. Artificial intelligence in orthognathic surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*, Baltimore, v. 31, n. 3, p. e233-e236, 2020.
- LIMA, T. R. et al. Realidade aumentada em cirurgia plástica reconstrutiva: revisão integrativa. *Revista Brasileira de Cirurgia Plástica*, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 221-229, 2021.

LIU, Y. et al. Accuracy of virtual surgical planning and 3D-printed surgical guides in orthognathic surgery: a meta-analysis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Philadelphia, v. 77, n. 6, p. 1267-1279, 2019.

MARCHETTI, C. et al. Virtual surgical planning in orthognathic surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Philadelphia, v. 67, n. 6, p. 1168-1172, 2009.

MARREIROS, H.; OLIVEIRA, E.; SILVA, J. Aplicações da inteligência artificial na cirurgia estética facial. *Revista Brasileira de Cirurgia Plástica*, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 377-385, 2022.

MITSOURAS, D. et al. Medical 3D printing for the radiologist. *Radiographics*, Oak Brook, v. 35, n. 7, p. 1965-1988, 2015.

SCHRAMM, A. et al. Computer-assisted planning and image-guided surgery in cranio-maxillofacial surgery. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Copenhagen, v. 37, n. 4, p. 341-349, 2008.

TARSITANO, A. et al. Computer-aided design and computer-aided manufacturing for mandibular reconstruction: The Bologna experience. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*, Philadelphia, v. 31, n. 1, p. 85-100, 2019.

TORRES, F. et al. Planejamento cirúrgico virtual em cirurgia craniofacial: experiência em hospital universitário brasileiro. *Revista Brasileira de Cirurgia Plástica*, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 498-505, 2019.

WONG, K. C. 3D-printed patient-specific instrumentation in orthopaedic surgery: a review. *Journal of Orthopaedic Surgery (Hong Kong)*, Hong Kong, v. 23, n. 1, p. 60-63, 2015.

YANG, W. F. et al. Three-dimensional printing of patient-specific surgical plates in head and neck reconstruction: a prospective trial. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Copenhagen, v. 49, n. 4, p. 454-461, 2020.