

ENXERTOS ÓSSEOS AUTÓGENOS DA CALVÁRIA NA RECONSTRUÇÃO MAXILOFACIAL: COMPLICAÇÕES, FATORES DE RISCO E ESTRATÉGIAS PREVENTIVAS

AUTOGENOUS CALVARIAL BONE GRAFTS IN MAXILLOFACIAL RECONSTRUCTION:
COMPLICATIONS, RISK FACTORS, AND PREVENTIVE STRATEGIES

INJERTOS ÓSEOS AUTÓLOGOS DE CALVARIA EN LA RECONSTRUCCIÓN
MAXILOFACIAL: COMPLICACIONES, FACTORES DE RIESGO Y ESTRATEGIAS
PREVENTIVAS

Carla Regina Massaro¹

Alexandre Vitor Soares²

Mariana Dronov Murgi³

Maiara Schaedler Vagner⁴

João Henrique Rolde⁵

Roque Luis Mendes Neto⁶

Sandra Raquel Medeiros Saito⁷

Nathalia Cardoso Nascimento⁸

RESUMO: Os enxertos ósseos autógenos da calota craniana são amplamente utilizados em reconstruções bucomaxilofaciais complexas devido à sua biocompatibilidade, estabilidade volumétrica, baixa reabsorção e reduzida morbidade do sítio doador. Nas últimas décadas, o planejamento cirúrgico virtual, a impressão tridimensional e o uso de guias cirúrgicos personalizados aumentaram significativamente a precisão e a previsibilidade dos resultados reconstrutivos, favorecendo melhor adaptação dos enxertos e desfechos funcionais e estéticos mais satisfatórios. Apesar desses avanços, complicações como infecção, osteomielite, deiscência, exposição do enxerto e falha de incorporação óssea ainda representam desafios clínicos relevantes. Este estudo teve como objetivo revisar criticamente a literatura sobre o uso de enxertos autógenos da calota craniana na reconstrução bucomaxilofacial, abordando indicações, vantagens, complicações, fatores de risco, inovações tecnológicas e estratégias preventivas. Foi realizada uma revisão narrativa nas bases PubMed/MEDLINE, Scopus e Google Scholar, incluindo estudos publicados preferencialmente entre 2014 e 2026, além de artigos clássicos. Os achados indicam que a calota craniana permanece uma opção segura e previsível quando associada a planejamento adequado e seleção criteriosa de pacientes. Identificou-se, contudo, uma lacuna importante quanto à influência de traumatismos cranianos prévios e alterações da díploe na segurança do sítio doador. Conclui-se que estudos prospectivos são necessários para elucidar essa relação e aprimorar protocolos clínicos baseados em evidências.

Palavras-chave: Calota craniana. Traumatologia. Enxerto ósseo. Infecção.

¹ Mestre em Odontologia pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

² Cirurgião Dentista pela Universidade Paulista.

³ Discente do curso de Odontologia na UNIGRAN.

⁴ Discente do curso de Odontologia na Universidade Paranaense.

⁵ Discente do curso de Odontologia na Universidade Paranaense.

⁶ Cirurgião-Dentista pela Centro Universitário Maurício de Nassau.

⁷ Discente do curso de Odontologia na Faculdade Centro de Treinamento Acadêmico.

⁸ Cirurgião-Dentista pelo Centro Universitário Fibra.

ABSTRACT: Autogenous cranial vault bone grafts are widely used in complex oral and maxillofacial reconstructions due to their biocompatibility, volumetric stability, low resorption rates, and reduced donor-site morbidity. In recent decades, virtual surgical planning, three-dimensional printing, and the use of custom surgical guides have significantly enhanced the precision and predictability of reconstructive outcomes, facilitating better graft adaptation and more satisfactory functional and aesthetic results. Despite these advances, complications such as infection, osteomyelitis, dehiscence, graft exposure, and failure of bone incorporation remain significant clinical challenges. This study aimed to critically review the literature on the use of autogenous cranial vault grafts in oral and maxillofacial reconstruction, addressing indications, advantages, complications, risk factors, technological innovations, and preventive strategies. A narrative review was conducted using the PubMed/MEDLINE, Scopus, and Google Scholar databases, primarily including studies published between 2014 and 2026, alongside classic articles. The findings indicate that the cranial vault remains a safe and predictable option when combined with appropriate planning and careful patient selection. However, a significant gap was identified regarding the influence of prior head trauma and diploic alterations on donor-site safety. It is concluded that prospective studies are needed to elucidate this relationship and refine evidence-based clinical protocols.

Keywords: Cranial vault. Traumatology. Bone graft. Infection.

RESUMEN: Los injertos óseos autólogos de la bóveda craneal se utilizan ampliamente en reconstrucciones maxilofaciales complejas debido a su biocompatibilidad, estabilidad volumétrica, baja reabsorción y menor morbilidad en el sitio donante. En las últimas décadas, la planificación quirúrgica virtual, la impresión tridimensional y el uso de guías quirúrgicas personalizadas han aumentado significativamente la precisión y la predictibilidad de los resultados reconstructivos, favoreciendo una mejor adaptación del injerto y resultados funcionales y estéticos más satisfactorios. A pesar de estos avances, las complicaciones como la infección, la osteomielitis, la dehiscencia, la exposición del injerto y el fracaso de la incorporación ósea siguen representando importantes desafíos clínicos. Este estudio tuvo como objetivo revisar críticamente la literatura sobre el uso de injertos autólogos de la bóveda craneal en la reconstrucción maxilofacial, abordando las indicaciones, ventajas, complicaciones, factores de riesgo, innovaciones tecnológicas y estrategias preventivas. Se realizó una revisión narrativa utilizando las bases de datos PubMed/MEDLINE, Scopus y Google Scholar, incluyendo estudios publicados principalmente entre 2014 y 2026, así como artículos clásicos. Los resultados indican que la bóveda craneal sigue siendo una opción segura y predecible cuando se combina con una planificación adecuada y una cuidadosa selección de pacientes. Sin embargo, se identificó una importante laguna con respecto a la influencia de los traumatismos craneales previos y las alteraciones del diploe en la seguridad del sitio donante. Se concluye que se necesitan estudios prospectivos para dilucidar esta relación y mejorar los protocolos clínicos basados en la evidencia.

Palabras clave: Cráneo. Traumatología. Injerto óseo. Infección.

INTRODUÇÃO

A reconstrução de defeitos ósseos craniofaciais representa um dos maiores desafios da Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial (CTBMF), especialmente em pacientes acometidos por traumatismos complexos, ressecções tumorais, malformações congênicas ou sequelas de processos infecciosos. Nesses casos, a restauração da anatomia facial exige técnicas

capazes de promover estabilidade estrutural, recuperação funcional e resultados estéticos previsíveis. Entre as diversas alternativas disponíveis, os enxertos ósseos autógenos permanecem considerados o padrão-ouro para reconstruções craniofaciais devido às suas propriedades osteogênicas, osteoindutoras e osteocondutoras, além da elevada capacidade de integração ao leito receptor e da ausência de resposta imunológica. (Wesley, 1992; Zhu; Stevens; Wu, 2001; Lazar; Brookes, 2021).

Dentre os diferentes sítios doadores, a calota craniana destaca-se como uma das principais opções para reconstruções bucomaxilofaciais de média e grande complexidade. O osso membranoso da calota apresenta reduzida taxa de reabsorção, excelente estabilidade volumétrica e elevada resistência mecânica, características que favorecem sua utilização em reconstruções orbitárias, frontomaxilares, alveolares e craniofaciais. Além disso, a proximidade anatômica entre a área doadora e o sítio receptor, associada à baixa morbidade pós-operatória e à possibilidade de obtenção de enxertos de espessura variável, consolidou esse sítio doador como uma alternativa amplamente empregada na prática clínica. (Wesley, 1992; Zhu; Stevens; Wu, 2001; Khader et al., 2014; Lazar; Brookes, 2021).

Nas últimas décadas, os avanços tecnológicos, particularmente o planejamento cirúrgico virtual (Virtual Surgical Planning – VSP), a impressão tridimensional e a confecção de guias cirúrgicos personalizados modificaram significativamente a forma como as reconstruções craniofaciais são planejadas e executadas. Essas ferramentas aumentaram a precisão das osteotomias, melhoraram a adaptação dos enxertos e contribuíram para a redução do tempo operatório e das complicações cirúrgicas, ampliando a previsibilidade dos procedimentos reconstrutivos. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Lazar; Brookes, 2021).

Apesar dos elevados índices de sucesso descritos na literatura, a utilização dos enxertos da calota craniana não está isenta de complicações. Eventos como hematoma, deiscência da ferida operatória, exposição do enxerto, reabsorção óssea, infecção e osteomielite continuam representando desafios importantes para o cirurgião bucomaxilofacial. Embora a incidência dessas complicações seja relativamente baixa, seu impacto clínico pode comprometer a incorporação do enxerto, aumentar a morbidade do tratamento e demandar novas intervenções cirúrgicas. (Jing; Luce, 2019; Khader et al., 2014; Brown et al., 2026).

Outro aspecto que merece atenção refere-se à limitada quantidade de estudos que investigam as condições biológicas do sítio doador antes da obtenção do enxerto. A literatura concentra-se predominantemente na avaliação dos resultados reconstrutivos e das complicações

pós-operatórias, enquanto fatores como traumatismos cranianos prévios, fraturas da calota, procedimentos neurocirúrgicos anteriores e possíveis alterações da diploe permanecem pouco explorados. Considerando que pacientes vítimas de traumatismos craniofaciais frequentemente apresentam histórico de lesões cranianas associadas, torna-se pertinente discutir se essas condições podem interferir na qualidade biológica do osso utilizado como enxerto e influenciar os resultados reconstrutivos. (Khader et al., 2014; Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Marí-Roig et al., 2024).

Nesse contexto, a presente revisão tem como objetivo analisar criticamente as evidências disponíveis acerca da utilização dos enxertos autógenos da calota craniana na reconstrução bucomaxilofacial, abordando suas principais indicações, vantagens clínicas, avanços tecnológicos, complicações, fatores de risco e estratégias preventivas. Adicionalmente, busca discutir a possível influência de traumatismos cranianos prévios sobre a qualidade da diploe como uma potencial lacuna científica, destacando perspectivas para futuras pesquisas e para o aprimoramento dos protocolos clínicos na Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Jing; Luce, 2019; Khader et al., 2014).

MÉTODOS

4

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, de caráter descritivo e crítico, desenvolvida com o objetivo de analisar as evidências científicas relacionadas à utilização de enxertos autógenos da calota craniana em reconstruções bucomaxilofaciais, com ênfase nas indicações clínicas, complicações, fatores de risco, avanços tecnológicos e estratégias preventivas.

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados PubMed/MEDLINE, Scopus e Google Scholar, utilizando combinações dos descritores em inglês: *calvarial bone graft*, *split calvarial graft*, *cranial bone graft*, *craniofacial reconstruction*, *maxillofacial reconstruction*, *orbital reconstruction*, *donor site complications*, *bone graft infection*, *cranial osteomyelitis*, *diploic infection*, *frontal sinus fracture*, *virtual surgical planning*, *3D printing*, *computer-assisted surgery* e *maxillofacial surgery*, combinados pelos operadores booleanos AND e OR.

Foram incluídos artigos originais, revisões da literatura, revisões sistemáticas, metanálises, séries de casos e relatos de caso considerados relevantes para o tema, publicados preferencialmente entre 2014 e 2026, nos idiomas inglês, português e espanhol. Trabalhos clássicos anteriores a esse período também foram incluídos quando considerados referências

fundamentais para compreensão da evolução das técnicas reconstrutivas com enxertos da calota craniana e dos princípios biológicos envolvidos.

Os estudos foram selecionados após leitura dos títulos, resumos e, quando pertinente, do texto completo. Foram excluídos artigos duplicados, publicações sem relação direta com reconstruções craniofaciais utilizando enxertos da calota craniana, estudos experimentais exclusivamente laboratoriais sem aplicabilidade clínica e trabalhos com informações insuficientes para a discussão proposta.

As informações extraídas dos estudos incluídos foram organizadas de forma temática, contemplando as indicações dos enxertos da calota craniana, aplicações em reconstruções orbitárias e craniofaciais, evolução do planejamento cirúrgico virtual, impressão tridimensional, complicações do sítio doador e receptor, fatores de risco para infecção e osteomielite, bem como estratégias preventivas descritas na literatura. A análise foi conduzida de maneira crítica, buscando identificar convergências, divergências e lacunas do conhecimento, especialmente em relação à possível influência de traumatismos cranianos prévios e das alterações da diploe sobre a segurança da utilização da calota craniana como sítio doador em reconstruções bucomaxilofaciais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Aplicações clínicas dos enxertos da calota craniana na reconstrução bucomaxilofacial

A reconstrução de defeitos ósseos craniofaciais permanece um dos maiores desafios da Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial, especialmente quando há comprometimento funcional e estético decorrente de traumatismos de alta energia, ressecções tumorais, malformações craniofaciais ou sequelas infecciosas. Nesses cenários, a restauração do arcação ósseo facial deve proporcionar suporte estrutural adequado, estabilidade mecânica e manutenção do volume ao longo do tempo, permitindo reabilitação funcional e resultados estéticos satisfatórios. Embora diversos biomateriais e substitutos ósseos tenham sido desenvolvidos nas últimas décadas, os enxertos autógenos permanecem considerados o padrão-ouro devido às suas propriedades osteogênicas, osteoindutoras e osteocondutoras, além da ausência de risco de rejeição imunológica. (Wesley, 1992; Zhu; Stevens; Wu, 2001; Lazar; Brookes, 2021).

Entre os diferentes sítios doadores disponíveis, a calota craniana consolidou-se como uma das alternativas mais previsíveis para reconstruções craniofaciais. Seu emprego é

particularmente indicado em defeitos orbitários, reconstruções do complexo frontonasoetmoidal, aumento de rebordo alveolar, reconstrução maxilar e correção de deformidades craniofaciais adquiridas ou congênitas. A principal justificativa para sua utilização reside na elevada qualidade biomecânica do osso membranoso, cuja menor taxa de reabsorção favorece manutenção do volume reconstruído quando comparada aos enxertos provenientes de ossos de origem endocondral, como a crista ilíaca. Essa característica assume importância especial em regiões onde pequenas alterações volumétricas podem comprometer significativamente o resultado estético ou funcional, como órbita e maxila anterior. (Wesley, 1992; Zhu; Stevens; Wu, 2001; Lazar; Brookes, 2021).

Além da estabilidade biológica, os enxertos da calota apresentam excelente resistência mecânica e espessura suficiente para reconstruções tridimensionais complexas. A predominância de osso cortical compacto confere elevada rigidez estrutural, permitindo adequada sustentação dos tecidos moles e manutenção do contorno facial durante o processo de remodelação óssea. Essa estabilidade reduz a necessidade de procedimentos secundários para correção de reabsorções tardias e favorece a previsibilidade dos resultados, principalmente em reconstruções orbitárias e frontomaxilares. Consequentemente, diversos autores consideram a calota craniana uma das melhores fontes de enxerto para defeitos que exigem manutenção prolongada do volume ósseo. (Wesley, 1992; Zhu; Stevens; Wu, 2001).

6

Nas reconstruções orbitárias, a utilização de enxertos da calota craniana representa uma alternativa consolidada desde o início da década de 1990. Wesley (1992) demonstrou que a combinação entre enxerto craniano e fixação por miniplacas permitia reconstruções estáveis do assoalho orbitário, restabelecendo adequadamente o suporte do conteúdo ocular e reduzindo a incidência de complicações como enoftalmia, diplopia persistente e assimetrias faciais. Posteriormente, Zhu, Stevens e Wu (2001) reforçaram essas observações ao descreverem resultados satisfatórios na reconstrução do assoalho orbitário utilizando enxertos autógenos da calota, destacando sua excelente integração biológica, facilidade de modelagem e reduzida reabsorção volumétrica. (Wesley, 1992; Zhu; Stevens; Wu, 2001).

Mais recentemente, o emprego dos enxertos cranianos expandiu-se para procedimentos reconstrutivos de elevada complexidade envolvendo tumores benignos do osso frontal e deformidades craniofaciais extensas. Lazar e Brookes (2021), ao relatarem dois casos de osteomas gigantes tratados com planejamento virtual tridimensional, demonstraram que a reconstrução imediata utilizando enxerto bipartido da calota permitiu excelente restauração do

contorno craniofacial, adequada simetria facial e reduzida necessidade de revisões cirúrgicas. Os autores destacam que a combinação entre tecnologia digital e enxertos autógenos possibilitou resultados superiores aos obtidos por técnicas convencionais, principalmente em defeitos com geometria complexa. (Lazar; Brookes, 2021).

Resultados semelhantes foram descritos por Brown et al. (2026), que utilizaram guias cirúrgicos intertravados produzidos por impressão tridimensional para ressecção de osteoma frontal seguida de reconstrução com enxerto da calota. A principal contribuição do estudo foi demonstrar que o planejamento virtual permitiu delimitação precisa das osteotomias, preservação do seio frontal e adaptação praticamente perfeita do enxerto ao defeito ósseo. Além da melhora estética, observou-se redução do tempo operatório e menor necessidade de remodelagem intraoperatória do enxerto, evidenciando o potencial da tecnologia digital para aumentar a previsibilidade dos procedimentos reconstrutivos. (Brown et al., 2026).

No contexto dos traumatismos craniofaciais, a importância dos enxertos da calota torna-se ainda mais evidente. Fraturas envolvendo o teto orbitário, o seio frontal e o complexo frontonasoetmoidal frequentemente produzem perdas ósseas extensas que necessitam de reconstrução tridimensional para restabelecimento da anatomia facial. Jing e Luce (2019) ressaltam que o manejo inadequado dessas fraturas pode resultar em complicações graves, incluindo sinusite crônica, formação de mucocelos, osteomielite, meningite e deformidades estéticas permanentes. Assim, a reconstrução precoce e anatomicamente precisa constitui fator determinante para o sucesso funcional e estético do tratamento. (Jing; Luce, 2019).

Em consonância com esses achados, Alawi et al. (2025) relataram um caso de fratura isolada do teto orbitário associada à síndrome compartimental orbitária, enfatizando a necessidade de diagnóstico imediato e intervenção cirúrgica precoce para preservação da função visual. Embora o trabalho represente um relato de caso, evidencia a elevada complexidade das lesões envolvendo o teto orbitário e reforça a importância da reconstrução óssea adequada para evitar sequelas funcionais permanentes. Essas observações corroboram o papel dos enxertos da calota como importante recurso terapêutico em reconstruções orbitárias decorrentes de traumatismos de alta energia. (Alawi et al., 2025).

Outro cenário clínico relevante corresponde às reconstruções secundárias de fraturas panfaciais. Nesses pacientes, a perda dos referenciais anatômicos, a presença de fibrose cicatricial e as alterações decorrentes de consolidações viciosas tornam o tratamento significativamente mais complexo do que nas reconstruções primárias. Khader et al. (2014)

destacam que o sucesso dessas reconstruções depende da restauração precisa do arcabouço ósseo facial, sendo os enxertos autógenos frequentemente indispensáveis para reposição do volume perdido. Dessa forma, a disponibilidade de um sítio doador com elevada previsibilidade biológica e baixa morbidade representa importante vantagem clínica para o cirurgião bucomaxilofacial. (Khader et al., 2014).

De maneira geral, a literatura analisada demonstra consenso quanto à elevada previsibilidade clínica dos enxertos autógenos da calota craniana. Sua estabilidade volumétrica, excelente resistência mecânica, baixa taxa de reabsorção e reduzida morbidade consolidaram esse sítio doador como uma das principais opções para reconstruções bucomaxilofaciais complexas. Entretanto, apesar dos resultados favoráveis amplamente descritos, permanece fundamental compreender os avanços tecnológicos que vêm modificando a obtenção, adaptação e fixação desses enxertos, bem como sua influência sobre a redução das complicações pós-operatórias. Essa evolução será discutida na próxima seção. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Lazar; Brookes, 2021).

4.2. Evolução tecnológica, planejamento virtual e impressão tridimensional na reconstrução com enxertos da calota craniana

8

A incorporação das tecnologias digitais na Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial transformou significativamente o planejamento e a execução das reconstruções craniofaciais. O desenvolvimento de softwares de planejamento cirúrgico virtual (Virtual Surgical Planning – VSP), aliado à tomografia computadorizada de alta resolução, à manufatura aditiva e à impressão tridimensional, permitiu maior previsibilidade dos procedimentos reconstrutivos, reduzindo a dependência exclusiva da experiência intraoperatória do cirurgião. Essas ferramentas possibilitam reconstruções mais precisas, melhor adaptação do enxerto ao defeito ósseo e redução do tempo operatório, representando um importante avanço em relação às técnicas convencionais de modelagem intraoperatória. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Lazar; Brookes, 2021).

O planejamento virtual consiste na reconstrução tridimensional da anatomia craniofacial a partir de exames de tomografia computadorizada, permitindo ao cirurgião realizar simulações pré-operatórias, definir linhas de osteotomia, mensurar o volume do defeito ósseo e selecionar previamente a área doadora mais adequada. Essa abordagem possibilita identificar estruturas anatômicas nobres, estimar a espessura óssea disponível na calota craniana e prever

possíveis dificuldades técnicas antes do início da cirurgia. Consequentemente, reduz-se a necessidade de modificações intraoperatórias, favorecendo maior segurança cirúrgica e melhor aproveitamento do enxerto autólogo. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026).

Outro benefício importante do planejamento virtual refere-se à possibilidade de individualização do tratamento. Diferentemente das técnicas convencionais, nas quais a modelagem do enxerto ocorre predominantemente durante o ato operatório, os sistemas digitais permitem que toda a reconstrução seja previamente planejada conforme as características anatômicas específicas de cada paciente. Isso resulta em maior precisão na adaptação do enxerto, redução da tensão sobre os tecidos moles e melhor restauração do contorno facial. Além disso, a reprodução fiel da anatomia original contribui para resultados estéticos mais previsíveis, principalmente em regiões de elevada exigência cosmética, como órbita, fronte e complexo zigomático. (Brown et al., 2026; Lazar; Brookes, 2021).

A impressão tridimensional representa um dos principais avanços associados ao planejamento virtual. A partir do modelo digital obtido por tomografia computadorizada, torna-se possível produzir biomodelos anatômicos em escala real, permitindo ao cirurgião visualizar previamente o defeito ósseo, planejar a sequência operatória e realizar simulações antes da intervenção definitiva. Além do treinamento pré-operatório, esses modelos possibilitam a confecção de guias personalizados para osteotomia e posicionamento do enxerto, aumentando significativamente a precisão da reconstrução. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026).

Brown et al. (2026) demonstraram de maneira objetiva a aplicabilidade clínica dessas tecnologias ao relatarem a utilização de guias cirúrgicos intertravados produzidos por impressão tridimensional durante a ressecção de um osteoma frontal seguida de reconstrução com enxerto bipartido da calota craniana. Os autores observaram que o planejamento digital permitiu delimitação extremamente precisa das osteotomias, preservação das estruturas anatômicas adjacentes e excelente adaptação do enxerto ao defeito receptor. Além disso, a utilização dos guias reduziu a necessidade de remodelagem intraoperatória, diminuindo o tempo cirúrgico e o risco de erros relacionados à adaptação manual do enxerto. (Brown et al., 2026).

Resultados semelhantes foram descritos por Lazar e Brookes (2021), que empregaram planejamento virtual na reconstrução de osteomas gigantes do complexo fronto-orbitário. Segundo os autores, a simulação tridimensional permitiu definir previamente os limites da ressecção tumoral e planejar a reconstrução imediata utilizando enxerto da calota craniana. Essa estratégia proporcionou excelente restauração do contorno craniofacial, adequada simetria

facial e elevada satisfação estética dos pacientes, demonstrando que a tecnologia digital pode ser aplicada não apenas aos traumatismos, mas também às reconstruções decorrentes de neoplasias benignas e outras deformidades ósseas complexas. (Lazar; Brookes, 2021).

Na população pediátrica, a contribuição do planejamento virtual torna-se ainda mais relevante devido às particularidades do crescimento craniofacial. Han et al. (2026), ao avaliarem doze anos de experiência institucional em cirurgia craniofacial pediátrica, verificaram que o planejamento tridimensional reduziu significativamente a necessidade de ajustes intraoperatórios, favoreceu reconstruções mais simétricas e aumentou a previsibilidade dos resultados funcionais e estéticos. Embora o estudo envolva diferentes técnicas reconstitutivas, seus princípios podem ser extrapolados para reconstruções bucomaxilofaciais em adultos, uma vez que a precisão das osteotomias e da adaptação do enxerto permanece um dos principais determinantes do sucesso cirúrgico. (Han et al., 2026).

Além da precisão anatômica, outro benefício frequentemente associado ao planejamento virtual corresponde à redução do tempo operatório. A confecção prévia dos guias cirúrgicos e a definição antecipada da geometria do enxerto diminuem significativamente o período dedicado à modelagem intraoperatória, reduzindo o tempo de exposição dos tecidos e, consequentemente, a morbidade cirúrgica. Procedimentos mais rápidos também estão associados à menor perda sanguínea, menor fadiga da equipe cirúrgica e redução do risco de contaminação do campo operatório, fatores que podem contribuir indiretamente para menores índices de complicações pós-operatórias. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026).

Outro aspecto relevante refere-se à preservação da área doadora. O planejamento digital permite determinar previamente a espessura óssea disponível na calota craniana, evitando osteotomias excessivamente profundas que possam aumentar o risco de perfuração da tábua interna, laceração da dura-máter ou lesões vasculares. Da mesma forma, possibilita selecionar regiões com melhor qualidade óssea, preservando estruturas anatômicas importantes e reduzindo irregularidades estéticas pós-operatórias na superfície craniana. Esses benefícios reforçam o papel do planejamento virtual como ferramenta de prevenção de complicações relacionadas ao sítio doador. (Brown et al., 2026; Park et al., 2017).

A utilização da tecnologia tridimensional também favorece maior integração entre as diferentes especialidades envolvidas no tratamento dos pacientes com deformidades craniofaciais complexas. Neurocirurgiões, cirurgiões bucomaxilofaciais, cirurgiões plásticos, oftalmologistas e engenheiros biomédicos podem participar conjuntamente do planejamento

virtual, permitindo análise multidisciplinar do caso e definição mais precisa das etapas reconstrutivas. Essa abordagem colaborativa torna-se particularmente importante em lesões envolvendo simultaneamente a calota craniana, o teto orbitário, o seio frontal e o esqueleto facial, situações frequentemente observadas após traumatismos de alta energia. (Brown et al., 2026; Marí-Roig et al., 2024).

Entretanto, apesar dos avanços proporcionados pelo planejamento virtual, a tecnologia não elimina a necessidade de profundo conhecimento anatômico e experiência cirúrgica. Situações intraoperatórias imprevisíveis, como alterações anatômicas decorrentes de traumas prévios, perdas ósseas maiores que as estimadas ou comprometimento da qualidade do tecido ósseo, podem exigir modificações do planejamento inicial. Assim, o sucesso da reconstrução continua dependente da capacidade do cirurgião em integrar os recursos tecnológicos ao julgamento clínico e à execução técnica adequada. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026).

A análise conjunta da literatura demonstra que o planejamento cirúrgico virtual e a impressão tridimensional representam uma evolução significativa na reconstrução bucomaxilofacial contemporânea. Essas tecnologias proporcionam maior previsibilidade, precisão anatômica, redução do tempo operatório e potencial diminuição da morbidade relacionada tanto ao sítio doador quanto ao receptor. Entretanto, apesar dos avanços observados, as complicações pós-operatórias continuam representando importante desafio clínico, especialmente aquelas relacionadas à infecção, osteomielite, deiscência e falha da incorporação do enxerto. Dessa forma, torna-se fundamental compreender os fatores associados ao desenvolvimento dessas complicações e as estratégias disponíveis para sua prevenção, aspectos discutidos na próxima seção. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Lazar; Brookes, 2021).

4.3. Complicações do sítio doador e do sítio receptor: incidência, fatores de risco e impacto clínico

Apesar dos excelentes resultados obtidos com os enxertos autógenos da calota craniana, nenhuma técnica reconstrutiva está completamente isenta de complicações. O sucesso do procedimento depende da interação entre fatores relacionados ao paciente, ao planejamento cirúrgico, à técnica operatória e às características biológicas do tecido enxertado. A literatura demonstra que a incidência global de complicações permanece relativamente baixa quando a obtenção do enxerto é realizada por equipes experientes, entretanto a ocorrência desses eventos pode comprometer significativamente a incorporação óssea, aumentar a morbidade pós-

operatória e exigir procedimentos reconstrutivos adicionais. Assim, a compreensão dos fatores associados ao desenvolvimento dessas complicações representa etapa fundamental para otimização dos resultados clínicos. (Wesley, 1992; Park et al., 2017; Brown et al., 2026; Lazar; Brookes, 2021).

As complicações relacionadas ao sítio doador podem ser classificadas em transoperatórias e pós-operatórias. Durante a obtenção do enxerto, os eventos mais frequentemente descritos incluem perfuração inadvertida da tábua interna, exposição ou laceração da dura-máter, sangramento proveniente de vasos diploicos, lesões do seio sagital superior e fraturas da cortical remanescente. Embora potencialmente graves, esses eventos apresentam baixa incidência quando são respeitados os limites anatômicos da calota craniana e quando a osteotomia é realizada com adequado controle da profundidade de corte. O conhecimento da espessura óssea individual e o planejamento pré-operatório por tomografia computadorizada constituem medidas essenciais para minimizar esses riscos. (Park et al., 2017; Brown et al., 2026).

Entre as complicações pós-operatórias do sítio doador destacam-se hematoma, seroma, deiscência da ferida operatória, irregularidades do contorno craniano, parestesias locais, alopecia cicatricial e infecção. Na maioria dos casos, essas alterações apresentam evolução favorável mediante tratamento conservador, sendo raramente responsáveis por sequelas permanentes. Entretanto, quando não diagnosticadas precocemente, podem comprometer o resultado estético da área doadora ou exigir reabordagem cirúrgica para drenagem, regularização óssea ou tratamento de processos infecciosos. A baixa frequência dessas complicações tem contribuído para consolidar a calota craniana como um dos sítios doadores de menor morbidade na reconstrução craniofacial. (Wesley, 1992; Zhu; Stevens; Wu, 2001; Brown et al., 2026).

Em comparação com outros sítios doadores, a calota craniana apresenta vantagens importantes relacionadas à recuperação pós-operatória. Diferentemente da crista ilíaca, cuja obtenção do enxerto frequentemente está associada à dor intensa, limitação funcional temporária e alterações da marcha, a morbidade da calota tende a restringir-se à região operada, permitindo retorno mais precoce às atividades habituais. Além disso, a localização da cicatriz no couro cabeludo proporciona melhor resultado estético quando comparada a outras áreas doadoras, fator particularmente relevante em pacientes jovens e em procedimentos eletivos. (Zhu; Stevens; Wu, 2001; Lazar; Brookes, 2021).

No sítio receptor, as complicações apresentam características distintas e estão diretamente relacionadas ao processo de incorporação do enxerto. Entre as mais frequentemente descritas destacam-se exposição do enxerto, deiscência da mucosa ou da pele, reabsorção óssea parcial, mobilidade do enxerto, falha de integração, infecção local e necessidade de reconstruções secundárias. A ocorrência desses eventos pode comprometer tanto a estabilidade estrutural quanto os resultados estéticos da reconstrução, sendo influenciada por fatores como qualidade do leito receptor, estabilidade da fixação, vascularização local e controle da infecção. (Wesley, 1992; Jing; Luce, 2019; Khader et al., 2014).

A reabsorção óssea constitui uma das principais preocupações em qualquer procedimento de enxertia. Entretanto, uma das maiores vantagens dos enxertos da calota craniana reside justamente em sua reduzida taxa de remodelação volumétrica quando comparada aos enxertos de origem endocondral. Essa característica decorre da predominância de osso cortical membranoso, cuja arquitetura apresenta maior estabilidade estrutural ao longo do processo de incorporação. Consequentemente, observa-se melhor manutenção do contorno facial e menor necessidade de procedimentos reconstrutivos complementares, especialmente em regiões de elevada exigência estética, como órbita, fronte e rebordo alveolar anterior. (Wesley, 1992; Zhu; Stevens; Wu, 2001; Lazar; Brookes, 2021).

13

Embora menos frequente que a reabsorção, a falha completa da incorporação do enxerto representa uma complicação de elevada gravidade clínica. Essa condição pode resultar da associação entre instabilidade mecânica, vascularização insuficiente, contaminação bacteriana, manipulação excessiva do tecido ósseo ou doenças sistêmicas capazes de comprometer o reparo tecidual. Pacientes tabagistas, diabéticos descompensados, imunossuprimidos ou previamente submetidos à radioterapia apresentam maior risco de alterações na cicatrização e devem ser cuidadosamente avaliados durante o planejamento reconstrutivo. Além disso, defeitos extensos frequentemente exigem maior tempo operatório, aumentando o risco de complicações relacionadas ao procedimento. (Khader et al., 2014; Han et al., 2026).

Outro fator determinante para o sucesso da reconstrução corresponde à estabilidade do enxerto durante o período inicial de reparação. A fixação rígida reduz micromovimentos, favorece a angiogênese e facilita a remodelação óssea, enquanto enxertos instáveis apresentam maior predisposição à formação de tecido fibroso, reabsorção e falha da integração. Nesse contexto, a utilização de sistemas modernos de fixação e o adequado planejamento tridimensional contribuem significativamente para melhorar o comportamento biomecânico da

reconstrução e reduzir a incidência de complicações tardias. (Brown et al., 2026; Lazar; Brookes, 2021).

Nas reconstruções orbitárias, pequenas falhas na adaptação do enxerto podem resultar em importantes repercussões funcionais. Alterações mínimas no volume reconstruído podem modificar a posição do globo ocular, favorecendo enftalmia, diplopia persistente, limitação dos movimentos oculares e assimetrias faciais perceptíveis. Por esse motivo, diversos autores destacam que a precisão da adaptação do enxerto apresenta impacto direto sobre os resultados funcionais e estéticos, reforçando a importância do planejamento virtual e da utilização de guias cirúrgicos personalizados em defeitos de maior complexidade. (Wesley, 1992; Brown et al., 2026; Alawi et al., 2025).

Apesar dos avanços observados na técnica cirúrgica e nas tecnologias digitais, a infecção continua sendo uma das complicações mais preocupantes associadas aos enxertos autógenos da calota craniana. Além de comprometer a integração óssea, os processos infecciosos podem evoluir para osteomielite, exposição do enxerto, necessidade de remoção do material reconstruído e múltiplas reintervenções cirúrgicas. Embora a incidência descrita na literatura permaneça relativamente baixa, o impacto clínico dessas complicações justifica atenção especial aos fatores de risco envolvidos, especialmente em pacientes submetidos a reconstruções complexas após traumatismos craniofaciais de alta energia. (Jing; Luce, 2019; Brown et al., 2026; Khader et al., 2014).

14

A análise crítica da literatura demonstra que grande parte dos estudos concentra-se na descrição das complicações imediatas e na avaliação dos resultados reconstrutivos, existindo menor atenção aos fatores predisponentes para infecção tardia e falha biológica do enxerto. Variáveis como traumatismo craniano prévio, qualidade da diploe, cirurgias neurocranianas anteriores e possível contaminação residual do tecido ósseo raramente são consideradas durante a seleção do sítio doador. Essa limitação metodológica representa uma importante lacuna científica e justifica investigações direcionadas à identificação de fatores de risco ainda pouco explorados na reconstrução bucomaxilofacial. (Khader et al., 2014; Brown et al., 2026; Han et al., 2026).

4.4. Complicações infecciosas dos enxertos da calota craniana: osteomielite, persistência bacteriana da diploe e fatores de risco

Embora os enxertos autógenos da calota craniana apresentem elevada previsibilidade clínica e baixas taxas de complicações quando comparados a outros sítios doadores, a infecção continua sendo uma das principais causas de falha reconstrutiva. Além do comprometimento da incorporação óssea, os processos infecciosos podem resultar em exposição do enxerto, necessidade de remoção cirúrgica, osteomielite, múltiplas reintervenções e atraso significativo na reabilitação funcional do paciente. Apesar da baixa incidência relatada na literatura, o impacto clínico dessas complicações justifica atenção especial aos fatores predisponentes, sobretudo em reconstruções extensas realizadas após traumatismos craniofaciais de alta energia ou em pacientes submetidos a múltiplos procedimentos cirúrgicos. (Jing; Luce, 2019; Khader et al., 2014; Brown et al., 2026).

A ocorrência de infecção após enxertia óssea depende da interação entre fatores relacionados ao paciente, ao procedimento cirúrgico, ao ambiente biológico do leito receptor e às características do sítio doador. Condições sistêmicas como diabetes mellitus descompensado, tabagismo, imunossupressão, desnutrição e radioterapia prévia comprometem a angiogênese e reduzem a capacidade de reparo tecidual, favorecendo a proliferação bacteriana e retardando a incorporação do enxerto. Paralelamente, fatores locais, incluindo tempo cirúrgico prolongado, manipulação excessiva do tecido ósseo, aquecimento durante a osteotomia, instabilidade da fixação, formação de espaços mortos e fechamento inadequado dos tecidos moles, também contribuem para o aumento do risco infeccioso. (Khader et al., 2014; Han et al., 2026; Brown et al., 2026).

Nas reconstruções orbitárias e frontocranianas, a proximidade anatômica com os seios paranasais representa outro aspecto de grande relevância clínica. Fraturas envolvendo o seio frontal, teto orbitário ou complexo frontonasoetmoidal frequentemente estabelecem comunicação entre o meio externo, a cavidade nasal e o tecido ósseo, favorecendo a contaminação bacteriana da região traumatizada. Jing e Luce (2019) destacam que o tratamento inadequado dessas fraturas pode resultar em sinusite crônica, formação de mucocelos, osteomielite e, em situações mais graves, complicações intracranianas, como abscessos cerebrais e meningite. Dessa forma, o controle rigoroso da contaminação inicial constitui etapa fundamental para prevenção de complicações tardias. (Jing; Luce, 2019).

Apesar desses conhecimentos, observa-se que a literatura em Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial concentra sua atenção principalmente nas complicações relacionadas ao sítio receptor, enquanto o comportamento biológico do sítio doador permanece relativamente

pouco explorado. A maioria dos estudos descreve taxas globais de sucesso dos enxertos da calota craniana, porém raramente investiga se a área doadora apresentava histórico de trauma craniano, fraturas abertas, procedimentos neurocirúrgicos prévios, osteossíntese ou episódios anteriores de infecção. Essa ausência de informações limita a compreensão dos possíveis fatores envolvidos na falha dos enxertos e evidencia uma importante lacuna metodológica na literatura disponível. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Khader et al., 2014).

Do ponto de vista anatômico, a diploe craniana corresponde ao tecido ósseo esponjoso localizado entre as tábuas cortical externa e interna da calota. Trata-se de uma estrutura altamente vascularizada, rica em trabéculas ósseas e canais venosos, responsável por importante participação no metabolismo ósseo craniano. Durante a obtenção do enxerto bipartido, parte significativa desse tecido é inevitavelmente incluída no fragmento ósseo transplantado, razão pela qual qualquer alteração estrutural pré-existente da diploe pode, teoricamente, influenciar o comportamento biológico do enxerto após sua transferência para o sítio receptor. (Park et al., 2017; Brown et al., 2026).

Sob a perspectiva fisiopatológica, a possibilidade de persistência bacteriana na diploe após traumatismos contaminados constitui uma hipótese biologicamente plausível. Em fraturas abertas da calota craniana ou lesões associadas à comunicação com os seios frontal e etmoidal, microrganismos provenientes da pele, do ambiente externo ou da microbiota sinonasal podem alcançar o tecido ósseo profundo. Ainda que o tratamento inicial resulte em resolução clínica da infecção, pequenas áreas de osso desvitalizado podem permanecer como nichos para persistência bacteriana, especialmente quando o desbridamento não elimina completamente os tecidos comprometidos. Embora essa hipótese ainda não tenha sido investigada especificamente em enxertos da calota utilizados na reconstrução bucomaxilofacial, ela encontra respaldo na fisiopatologia clássica da osteomielite crônica. (Lew; Waldvogel, 2004; Walter et al., 2012; Jing; Luce, 2019).

A osteomielite caracteriza-se por um processo inflamatório infeccioso do tecido ósseo que resulta em destruição progressiva da arquitetura trabecular, comprometimento vascular e formação de áreas de osso necrótico. A redução da perfusão local dificulta a penetração de antimicrobianos e limita a atuação das células do sistema imunológico, favorecendo a persistência da infecção mesmo após tratamento aparentemente adequado. Além disso, a presença de sequestros ósseos funciona como reservatório para proliferação bacteriana, aumentando a probabilidade de recorrência clínica. Esses mecanismos justificam a importância

do diagnóstico precoce e do desbridamento completo das áreas comprometidas. (Lew; Waldvogel, 2004; Walter et al., 2012).

Outro mecanismo amplamente reconhecido na fisiopatologia das infecções ósseas corresponde à formação de biofilmes bacterianos. Nessa condição, os microrganismos organizam-se em comunidades aderidas à superfície mineralizada do osso, envolvidas por uma matriz extracelular que dificulta a ação de antimicrobianos e protege as bactérias da resposta imunológica do hospedeiro. Essa estratégia biológica permite que populações bacterianas permaneçam viáveis por longos períodos sem manifestações clínicas evidentes, podendo ser reativadas diante de novos procedimentos cirúrgicos ou alterações da resposta inflamatória local. Embora a maior parte das evidências provenha da ortopedia e das infecções relacionadas a implantes, os princípios microbiológicos envolvidos são comuns às infecções ósseas crônicas e apresentam potencial relevância para a cirurgia bucomaxilofacial. (Zimmerli; Trampuz; Ochsner, 2004; Lew; Waldvogel, 2004).

Sob essa perspectiva, torna-se pertinente questionar se pacientes com histórico de traumatismos cranianos contaminados apresentam maior risco de complicações após a utilização da calota como sítio doador. Atualmente, nenhum dos estudos identificados na literatura avaliou prospectivamente essa associação. Da mesma forma, não existem protocolos específicos recomendando investigação microbiológica da diploe, realização de culturas intraoperatórias ou critérios objetivos para contraindicação da obtenção do enxerto em pacientes previamente submetidos a fraturas cranianas expostas. Essa ausência de evidências não permite concluir que o risco seja inexistente; ao contrário, demonstra que essa variável permanece praticamente inexplorada pela pesquisa científica. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Khader et al., 2014).

Outro aspecto que merece atenção refere-se ao intervalo entre o traumatismo inicial e a reconstrução craniofacial. Muitos pacientes submetidos a reconstruções secundárias apresentam histórico de trauma ocorrido anos antes da cirurgia reconstrutiva. Durante esse período, alterações microscópicas do tecido ósseo podem permanecer assintomáticas e passar despercebidas nos exames de imagem convencionais. Embora a tomografia computadorizada seja fundamental para avaliação da anatomia da calota, sua capacidade de identificar focos infecciosos subclínicos é limitada, principalmente na ausência de sinais estruturais evidentes. Assim, a inexistência de alterações tomográficas não exclui completamente a possibilidade de modificações biológicas da diploe. (Jing; Luce, 2019; Brown et al., 2026).

Do ponto de vista clínico, esses achados reforçam a necessidade de avaliação criteriosa do histórico médico e traumático antes da seleção da calota craniana como sítio doador. Informações relacionadas à ocorrência de fraturas abertas, infecções pós-traumáticas, cirurgias neurocranianas, exposição do seio frontal, episódios prévios de osteomielite e necessidade de múltiplos desbridamentos devem integrar a avaliação pré-operatória, complementadas por análise tomográfica detalhada da espessura óssea, integridade cortical e qualidade da diploe. Embora ainda não existam recomendações formais nesse sentido, a individualização da decisão cirúrgica pode contribuir para reduzir potenciais complicações em pacientes considerados de maior risco. (Brown et al., 2026; Park et al., 2017; Han et al., 2026).

Em síntese, a literatura disponível demonstra que a infecção associada aos enxertos autógenos da calota craniana apresenta baixa incidência, porém elevado impacto clínico quando ocorre. Paralelamente, observa-se uma ausência quase completa de estudos investigando a influência de traumatismos cranianos prévios sobre a qualidade biológica da diploe e sua possível repercussão na incorporação do enxerto. Essa lacuna representa uma oportunidade relevante para pesquisas futuras e constitui um dos principais pontos de originalidade desta revisão, ao propor que o histórico traumático da calota craniana seja considerado uma variável potencialmente importante durante a seleção do sítio doador em reconstruções bucomaxilofaciais. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Khader et al., 2014; Jing; Luce, 2019).

4.5. Trauma craniano prévio como possível fator de risco para utilização da calota craniana como sítio doador: uma lacuna na literatura

A reconstrução bucomaxilofacial moderna baseia-se em princípios de previsibilidade biológica, estabilidade mecânica e mínima morbidade do sítio doador. Nesse contexto, os enxertos autógenos da calota craniana consolidaram-se como uma das alternativas mais confiáveis para reconstruções orbitárias, frontomaxilares e craniofaciais complexas. Entretanto, a análise crítica da literatura evidencia que a maioria dos estudos concentra-se na descrição dos resultados clínicos e das complicações pós-operatórias, dedicando pouca atenção às condições prévias do sítio doador. Em particular, praticamente inexistem investigações que analisem se traumatismos cranianos prévios podem modificar a qualidade biológica da calota e influenciar o comportamento do enxerto após sua transferência para o sítio receptor. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Khader et al., 2014).

Essa ausência de evidências torna-se ainda mais relevante quando se considera o perfil epidemiológico dos pacientes atendidos pelos serviços de Cirurgia e Traumatologia Buc-

Maxilo-Facial. Grande parte das reconstruções secundárias é realizada em indivíduos previamente vítimas de acidentes automobilísticos, agressões físicas, ferimentos por arma de fogo ou traumatismos de alta energia, condições frequentemente associadas a fraturas cranianas, exposição do seio frontal e procedimentos neurocirúrgicos prévios. Apesar disso, os estudos disponíveis raramente descrevem essas características durante a seleção dos pacientes, impossibilitando determinar se tais antecedentes interferem na segurança da obtenção do enxerto da calota. (Marí-Roig et al., 2024; Khader et al., 2014; Jing; Luce, 2019).

Do ponto de vista biológico, existem fundamentos que justificam essa preocupação. A resposta inflamatória desencadeada após um traumatismo craniano promove intensa remodelação óssea, neoformação vascular e reorganização estrutural da diploe. Quando o trauma está associado à contaminação ambiental, comunicação com os seios paranasais ou atraso no tratamento inicial, torna-se possível a inoculação de microrganismos no tecido ósseo profundo. Ainda que a infecção clínica seja resolvida, alterações microscópicas relacionadas ao processo inflamatório podem persistir por longos períodos, especialmente em áreas submetidas à necrose óssea ou desbridamento incompleto. (Lew; Waldvogel, 2004; Walter et al., 2012; Jing; Luce, 2019).

Outro aspecto frequentemente negligenciado refere-se à possibilidade de remodelação óssea irregular após fraturas cranianas consolidadas. Mesmo na ausência de infecção, áreas previamente traumatizadas podem apresentar alterações da espessura cortical, irregularidades da arquitetura trabecular e modificações da vascularização local, fatores potencialmente capazes de interferir tanto na obtenção quanto na integração do enxerto. Embora essas alterações ainda não tenham sido correlacionadas clinicamente ao aumento das complicações em reconstruções bucomaxilofaciais, sua existência reforça a necessidade de avaliação individualizada da calota antes da cirurgia. (Park et al., 2017; Brown et al., 2026).

A evolução das tecnologias de imagem oferece importantes ferramentas para essa avaliação. A tomografia computadorizada de feixe cônico e a tomografia computadorizada multislice permitem mensurar a espessura da calota, identificar áreas previamente fraturadas, localizar materiais de osteossíntese, avaliar irregularidades corticais e planejar a obtenção do enxerto com maior segurança. Associadas ao planejamento virtual tridimensional, essas técnicas possibilitam selecionar regiões com melhor qualidade óssea e evitar áreas potencialmente comprometidas por traumatismos antigos. Dessa forma, o planejamento digital deixa de ser apenas um recurso para adaptação geométrica do enxerto e passa a atuar como

instrumento de prevenção de complicações relacionadas ao sítio doador. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Lazar; Brookes, 2021).

Apesar desses avanços, permanece evidente a inexistência de protocolos específicos para avaliação de pacientes com história de trauma craniano antes da obtenção de enxertos da calota. Atualmente, a literatura não estabelece critérios relacionados ao intervalo mínimo entre o traumatismo e a cirurgia reconstrutiva, à necessidade de exames complementares específicos, à indicação de culturas intraoperatórias ou mesmo à contraindicação relativa da utilização da calota em indivíduos com antecedentes de osteomielite craniana. Essa ausência de padronização dificulta a tomada de decisão clínica e evidencia uma importante oportunidade para o desenvolvimento de diretrizes baseadas em evidências. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Khader et al., 2014).

Com base na literatura analisada, é possível propor que a avaliação do sítio doador passe a incluir, de forma sistemática, aspectos frequentemente negligenciados durante o planejamento reconstrutivo. Entre eles destacam-se o histórico de traumatismos cranianos, presença de fraturas abertas, comunicação com o seio frontal, episódios prévios de infecção, necessidade de desbridamentos repetidos, cirurgias neurocranianas anteriores, utilização de materiais de osteossíntese e alterações identificadas nos exames de imagem. Embora essas variáveis ainda não possuam validação prospectiva, sua consideração durante a avaliação pré-operatória poderá contribuir para uma seleção mais criteriosa da área doadora e para a redução do risco de complicações infecciosas. (Jing; Luce, 2019; Brown et al., 2026; Park et al., 2017).

Sob a perspectiva científica, essa revisão evidencia uma lacuna importante na literatura internacional. Enquanto inúmeros estudos investigam biomateriais, técnicas de osteossíntese e tecnologias digitais aplicadas às reconstruções craniofaciais, praticamente nenhum trabalho analisa a influência das condições biológicas prévias da calota sobre o sucesso do enxerto autógeno. Considerando o crescente número de pacientes submetidos a reconstruções secundárias após traumatismos complexos, torna-se pertinente desenvolver estudos prospectivos capazes de correlacionar o histórico traumático, os achados tomográficos, a qualidade da diploe e os desfechos clínicos pós-operatórios. Essa abordagem poderá contribuir para o desenvolvimento de protocolos mais seguros e individualizados para a utilização da calota craniana como sítio doador em Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Marí-Roig et al., 2024; Khader et al., 2014).

Em síntese, os enxertos autógenos da calota craniana permanecem uma das opções mais previsíveis para reconstruções bucomaxilofaciais complexas. Entretanto, a ausência de estudos específicos sobre a influência do trauma craniano prévio e da qualidade biológica da diploe demonstra que ainda existem aspectos fundamentais a serem esclarecidos. A incorporação dessas variáveis em futuras pesquisas poderá ampliar a compreensão dos fatores associados às complicações infecciosas, otimizar os critérios de seleção do sítio doador e fortalecer a segurança das reconstruções craniofaciais. Mais do que responder às questões atualmente disponíveis, essa discussão propõe uma nova linha de investigação dentro da Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial, capaz de gerar evidências com potencial impacto sobre a prática clínica e o planejamento reconstrutivo. (Brown et al., 2026; Han et al., 2026; Jing; Luce, 2019; Khader et al., 2014).

CONCLUSÃO

Os enxertos autógenos da calota craniana permanecem como uma das principais opções para reconstruções bucomaxilofaciais complexas, destacando-se pela elevada biocompatibilidade, baixa taxa de reabsorção, excelente estabilidade volumétrica e reduzida morbidade do sítio doador. A literatura demonstra que sua aplicação é particularmente vantajosa em reconstruções orbitárias, frontomaxilares e craniofaciais, proporcionando resultados funcionais e estéticos previsíveis quando associada ao planejamento cirúrgico adequado, à fixação estável e à criteriosa seleção dos pacientes.

Os avanços tecnológicos, especialmente o planejamento cirúrgico virtual, a impressão tridimensional e a utilização de guias cirúrgicos personalizados, ampliaram significativamente a precisão das reconstruções, reduziram o tempo operatório e contribuíram para a diminuição das complicações intra e pós-operatórias. Essas tecnologias representam um importante avanço na Cirurgia e Traumatologia Buco-Maxilo-Facial contemporânea, permitindo maior previsibilidade na obtenção e adaptação dos enxertos da calota craniana.

Apesar dos elevados índices de sucesso relatados, complicações como infecção, exposição do enxerto, reabsorção óssea, deiscência da ferida operatória e osteomielite continuam representando desafios clínicos relevantes. A ocorrência desses eventos está relacionada à interação entre fatores sistêmicos, condições locais, técnica cirúrgica e qualidade do tecido ósseo, reforçando a importância de uma avaliação pré-operatória abrangente e de estratégias preventivas capazes de minimizar riscos e otimizar a incorporação do enxerto.

A análise crítica da literatura evidencia, entretanto, uma importante lacuna científica. Embora diversos estudos abordem os resultados clínicos e as complicações dos enxertos da calota craniana, praticamente não existem investigações que avaliem a influência de traumatismos cranianos prévios sobre a qualidade biológica da diploe e sua possível repercussão na segurança do sítio doador. Do ponto de vista fisiopatológico, a persistência de alterações inflamatórias, áreas de remodelação óssea ou focos infecciosos subclínicos após traumas contaminados constitui uma hipótese biologicamente plausível, porém ainda carente de comprovação clínica por meio de estudos prospectivos. Dessa forma, a ausência de evidências não deve ser interpretada como ausência de risco, mas sim como um campo de investigação ainda pouco explorado na literatura bucomaxilofacial.

Diante desse cenário, recomenda-se que a avaliação pré-operatória de candidatos à obtenção de enxertos da calota craniana inclua investigação detalhada do histórico de traumatismos cranianos, fraturas expostas, infecções prévias, cirurgias neurocranianas e alterações tomográficas da área doadora. Embora ainda não existam diretrizes específicas para essa abordagem, a individualização da seleção do sítio doador pode representar uma estratégia adicional para aumentar a segurança dos procedimentos reconstrutivos.

Por fim, esta revisão evidencia que os enxertos autógenos da calota craniana permanecem como uma alternativa altamente previsível e eficaz para reconstruções bucomaxilofaciais. Contudo, também demonstra a necessidade de pesquisas prospectivas e multicêntricas que investiguem a influência do trauma craniano prévio, da qualidade da diploe e dos mecanismos relacionados à persistência bacteriana sobre a ocorrência de complicações infecciosas. A produção dessas evidências poderá subsidiar o desenvolvimento de protocolos clínicos mais seguros, aperfeiçoar os critérios de seleção do sítio doador e contribuir para a evolução das reconstruções craniofaciais baseadas em evidências.

REFERÊNCIAS

1. ALAWI, K. A.; JADEEDI, S. A.; SHAQSI, S. A.; SAHIB, M.; BALUSHI, T. A. Isolated orbital roof fracture with concurrent orbital compartment syndrome: a case report. *Journal of Trauma and Injury*, 2025. Ahead of print. DOI: 10.20408/jti.2025.0070.
2. BROWN, C. W.; MARTIN, T. A.; RAZURA, D. E.; JOHNSON, A. L. G.; HORSLEY, N. B.; SOIKE, T. M.; POWERS, J. M. Modern technology complements classic technique: 3D-printed inter-locking cutting guides for frontal sinus osteoma resection and reconstruction with split-calvarial bone graft. *Case Reports in Plastic Surgery and Hand Surgery*, v. 13, n. 1, 2026. DOI: 10.1080/23320885.2026.2676455.

3. HAN, N. A.; TOLLEY, P. D.; PERLA, G. A.; et al. Virtual surgical planning in pediatric craniomaxillofacial surgery: a 12-year institutional experience. *Journal of Craniofacial Surgery*, v. 37, n. 3-4, p. 529-533, 2026. DOI: 10.1097/SCS.00000000000012204.
4. JING, X. L.; LUCE, E. Frontal sinus fractures: management and complications. *Craniofacial Trauma & Reconstruction*, v. 12, n. 3, p. 241-248, 2019. DOI: 10.1055/s-0038-1675560.
5. KHADER, R.; WALLENDER, A.; VAN SICKELS, J. E.; CUNNINGHAM, L. L. Secondary reconstruction of panfacial fractures. *Oral and Maxillofacial Surgery*, v. 18, n. 1, p. 99-109, 2014. DOI: 10.1007/s10006-013-0403-8.
6. LAZAR, A.; BROOKES, C. C. D. Giant osteomas: optimizing outcomes through virtual planning; a report of two cases and review of the literature. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, v. 79, n. 2, p. 366-375, 2021. DOI: 10.1016/j.joms.2020.07.210.
7. LEW, D. P.; WALDVOGEL, F. A. Osteomyelitis. *The Lancet*, v. 364, n. 9431, p. 369-379, 2004.
8. MARÍ-ROIG, A.; MCLEOD, N. M. H.; DE LANGE, J.; DUBOIS, L.; GARCÍA REIJA, M. F.; VAN MINNEN, B.; ESSIG, H. Controversies in the management of the airway in panfacial fractures: a literature review and algorithm proposal. *Journal of Clinical Medicine*, v. 13, n. 23, p. 7294, 2024. DOI: 10.3390/jcm13237294.
9. NOLASCO, F. P.; MATHOG, R. H. Medial orbital wall fractures: classification and clinical profile. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, v. 112, n. 4, p. 549-556, 1995. DOI: 10.1177/019459989511200408.
10. PARK, E. J.; KIM, H. I.; PARK, J. H.; YI, H. S. Modified anterior craniofacial osteotomy using partial nasal bone division and reconstruction in frontoethmoidal sinus meningioma. *Archives of Craniofacial Surgery*, v. 18, n. 2, p. 117-121, 2017. DOI: 10.7181/acfs.2017.18.2.117.
11. WALTER, G.; KEMMERER, M.; KAPPLER, C.; HOFFMANN, R. Treatment algorithms for chronic osteomyelitis. *Deutsches Ärzteblatt International*, v. 109, n. 14, p. 257-264, 2012.
12. WESLEY, R. E. Current techniques for the repair of complex orbital fractures: miniplate fixation and cranial bone grafts. *Ophthalmology*, v. 99, n. 12, p. 1766-1772, 1992. DOI: 10.1016/S0161-6420(92)31724-5.
13. ZHU, Z.; STEVENS, M. R.; WU, H. Use of autogenous cranial bone grafts for orbital floor reconstruction. *Zhonghua Zheng Xing Wai Ke Za Zhi*, v. 17, n. 5, p. 294-296, 2001.
14. ZIMMERLI, W.; TRAMPUZ, A.; OCHSNER, P. E. Prosthetic-joint infections. *The New England Journal of Medicine*, v. 351, n. 16, p. 1645-1654, 2004.