REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

AVALIAÇÃO TOMOGRÁFICA DAS FRATURAS COMPLEXAS DO PLANALTO TIBIAL: INFLUÊNCIA DA RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL NA CLASSIFICAÇÃO DAS LESÕES, NO PLANEJAMENTO CIRÚRGICO E NOS DESFECHOS FUNCIONAIS

COMPUTED TOMOGRAPHY ASSESSMENT OF COMPLEX TIBIAL PLATEAU FRACTURES: INFLUENCE OF THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION ON FRACTURE CLASSIFICATION, SURGICAL PLANNING, AND FUNCTIONAL OUTCOMES

Ciências Biológicas, Ciências da Saúde • 18/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/794750182

Andrei Vinícius Englert[1]

Carolina Bracht Tonel[2]

RESUMO

Introdução: as fraturas complexas do planalto tibial exigem descrição detalhada da arquitetura óssea e planejamento individualizado. Objetivo: analisar criticamente a contribuição da reconstrução tridimensional derivada da tomografia computadorizada para a classificação das lesões, o planejamento cirúrgico e os resultados funcionais. Método: revisão narrativa crítica de estudos comparativos, revisões sistemáticas, metanálises e ensaios clínicos sobre tomografia multiplanar, classificação por colunas e métodos tridimensionais. Resultados: a tomografia bidimensional fornece informação anatômica essencial; a reconstrução 3D pode facilitar compreensão espacial e decisões de acesso, mas seu efeito na concordância classificatória varia segundo o sistema utilizado. Estudos de cirurgia assistida por 3D descrevem benefícios em indicadores perioperatórios, embora não haja demonstração consistente de superioridade funcional duradoura. Conclusão: a reconstrução tridimensional é recurso complementar, especialmente útil em padrões anatômicos selecionados, não substituindo cortes multiplanares, avaliação das partes moles ou julgamento clínico. Pesquisas maiores devem demonstrar quais mudanças de planejamento se traduzem em resultados relevantes para o paciente.

Palavras-chave: Fraturas do planalto tibial; Tomografia computadorizada; Reconstrução tridimensional; Classificação de fraturas; Planejamento cirúrgico.

ABSTRACT

Background: complex tibial plateau fractures require detailed assessment of bone morphology and individualized surgical planning. Objective: to critically evaluate the contribution of three-dimensional reconstructions derived from computed tomography to

fracture classification, surgical decision-making, and functional outcomes. Methods: narrative critical review of comparative studies, systematic reviews, meta-analyses, and trials addressing multiplanar CT, column-based classifications, and 3D-assisted techniques. Results: conventional multiplanar CT provides essential anatomical information, while 3D reconstructions may support spatial understanding and approach selection; however, their impact on interobserver classification agreement varies across systems. Studies of 3D-assisted surgery have reported some perioperative efficiency gains, without consistent proof of sustained functional superiority. Conclusion: 3D reconstruction should be considered a complementary tool for selected complex patterns rather than a replacement for multiplanar images, soft-tissue assessment, or clinical judgment. Better-designed studies are needed to determine which planning changes lead to patient-important benefits.
Keywords: Tibial plateau fractures; Computed tomography; Three-dimensional reconstruction; Fracture classification; Surgical planning.

1. INTRODUÇÃO

As fraturas do planalto tibial constituem lesões intra-articulares cuja complexidade ultrapassa a distribuição convencional em traços de cisalhamento e depressão. Uma mesma imagem radiográfica pode corresponder a fragmentos posteriores livres, cominuição de cortical medial, impactação da superfície de carga e dissociação metafisodiafisária. Em mecanismos de alta energia, contusão cutânea, lesões ligamentares e risco de síndrome compartimental modificam a sequência assistencial. A qualidade do tratamento depende de interpretar simultaneamente a arquitetura óssea e as condições biológicas, não apenas de selecionar um implante.

A tomografia computadorizada ampliou a compreensão dessas fraturas ao permitir avaliação multiplanar de fragmentos e defeitos subcondrais. Reconstruções tridimensionais podem oferecer orientação espacial intuitiva, especialmente para a análise de superfícies posteriores e para o planejamento de acessos. Entretanto, uma imagem mais expressiva não equivale necessariamente a diagnóstico mais reprodutível, cirurgia mais segura ou melhor resultado funcional. A avaliação da tecnologia exige desfechos que distingam precisão descritiva, decisões de planejamento, eficiência intraoperatória e evolução clínica.

O objetivo desta revisão narrativa crítica é examinar o papel da reconstrução tridimensional derivada da tomografia na classificação das fraturas complexas do planalto tibial, no planejamento cirúrgico e na recuperação funcional. São discutidos sistemas clássicos e contemporâneos, confiabilidade entre avaliadores, opções de reconstrução virtual e física, estudos comparativos, limitações metodológicas e necessidades de investigação. A proposta é estabelecer uma interpretação equilibrada da evidência, sem apresentar resultados originais inexistentes nem transformar ferramentas complementares em requisitos universais.

2. METODOLOGIA

Desenvolveu-se revisão narrativa crítica de abordagem qualitativa, orientada por uma pergunta clínica e metodológica: em pacientes com fraturas complexas do planalto tibial, a reconstrução tridimensional da tomografia acrescenta informações úteis à classificação, ao planejamento e aos resultados quando comparada à radiografia e à tomografia multiplanar convencional? A pesquisa documental de literatura foi dirigida a registros científicos indexados

na PubMed, textos integrais disponíveis na PubMed Central e publicações técnicas de referência. Os descritores combinaram tibial plateau fracture, computed tomography, three-dimensional reconstruction, classification, interobserver reliability, surgical planning, printing e functional outcomes.

Foram priorizados estudos comparativos, ensaios randomizados, revisões sistemáticas, metanálises e trabalhos seminais sobre classificação por colunas. A inclusão na discussão dependeu da identificação de autoria, periódico, desenho e relação direta com os desfechos analisados. O texto considera as publicações de Luo et al. (2010), Zhu et al. (2012), Huitema et al. (2024), Vosoughi et al. (2024) e revisões sobre auxílio tridimensional à cirurgia, entre outras referências. Não se realizou seleção independente em duplicata, registro prospectivo de protocolo, avaliação formal padronizada do risco de viés nem metanálise própria.

Os resultados quantitativos citados pertencem exclusivamente às fontes originais. A interpretação separa a confiabilidade de classificações da concordância na escolha de abordagem, e separa ambas dos desfechos funcionais. Também distingue reconstrução digital, impressão física e imagem intraoperatória tridimensional, pois esses recursos diferem em custo, finalidade e exigência técnica. As conclusões são proporcionais ao nível de evidência de cada publicação, com destaque para discrepâncias e possíveis fatores de confusão.

3. ANATOMIA FUNCIONAL E PADRÕES DE LESÃO

O planalto tibial reúne duas superfícies articulares com diferenças de convexidade, sustentação e relações meniscais. A região lateral

costuma apresentar maior suscetibilidade à depressão, enquanto determinados mecanismos geram cisalhamento medial com risco de desvio em varo. A eminência intercondilar e as inserções ligamentares acrescentam componentes que uma classificação baseada apenas em côndilos pode omitir. Por isso, descrever a superfície articular sem caracterizar o suporte metafisário e os vetores de deslocamento é insuficiente para definir estabilidade.

Em fraturas de alta energia, o comprometimento pode incluir fragmentos posterolaterais de difícil acesso, componentes posteromediais deslocados, depressões centrais e afastamento condilar. A dissociação entre segmento articular e diáfise altera a necessidade de controle longitudinal, enquanto a fragmentação proximal modifica o posicionamento de parafusos subcondrais. Na imagem axial, o observador consegue localizar as colunas afetadas; nas reformatações coronais e sagitais, pode estimar a profundidade da depressão e a orientação do traço.

A reconstrução volumétrica proporciona percepção das relações entre fragmentos, mas a projeção escolhida influencia o que se torna visível. Uma superfície posterior pode ficar encoberta por uma vista anterior; o aspecto externo de um osso também pode ocultar defeito articular significativo. Assim, o benefício do 3D é maior quando integra diferentes ângulos de visualização e reformatações bidimensionais. A anatomia cirúrgica deve continuar orientada por imagens complementares e exame do paciente.

4. RADIOGRAFIA E TOMOGRAFIA BIDIMENSIONAL

Radiografias anteroposteriores e laterais são essenciais na avaliação inicial por disponibilizarem informações rápidas sobre alinhamento,

afastamento e relação metafisodiafisária. Contudo, a superposição de estruturas pode esconder fragmentos posteriores, pequenos deslocamentos articulares e depressões centrais. A classificação de Schatzker, originalmente estruturada em padrões radiográficos, mantém valor para comunicação clínica, mas não esgota a descrição anatômica necessária para planejamento de fraturas multifragmentárias.

A tomografia convencional com cortes finos e reformatações multiplanares permite localizar linhas de fratura, medir desníveis, reconhecer fragmentos coronais e examinar a superfície subcondral. A reconstrução tridimensional se baseia nos mesmos dados de aquisição, transformando o volume em uma superfície que pode ser rotacionada. Portanto, não acrescenta informação física independente à tomografia: reorganiza a informação para facilitar sua leitura espacial. A qualidade das imagens de base, a espessura dos cortes e os algoritmos de reconstrução limitam o que poderá ser representado.

Huitema et al. (2024) concluíram que a tomografia bidimensional contribui para sistemas classificatórios comuns, mas não encontraram prova consistente de que a adição de 3D melhore sua confiabilidade. Esse achado exige evitar a falsa oposição entre tomografia insuficiente e reconstrução avançada necessariamente superior. Em muitas situações, imagens axiais, coronais e sagitais bem interpretadas oferecem a informação necessária, enquanto o 3D funciona como auxílio adicional para comunicar a configuração da lesão.

5. CLASSIFICAÇÃO DE SCHATZKER

A classificação de Schatzker permanece difundida por organizar padrões comuns de fratura do planalto tibial em categorias compreensíveis. Os tipos V e VI são especialmente usados para definir fraturas bicondilares, com ou sem dissociação metafisodiafisária. Sua utilidade reside na síntese inicial da gravidade e na facilidade de comunicação entre equipes, embora um mesmo tipo possa reunir arranjos posteriores e graus de cominuição muito diversos. A escolha terapêutica não deve depender exclusivamente desse rótulo.

Quando a tomografia revela um fragmento posteromedial livre, uma fratura inicialmente reconhecida como bicondilar passa a exigir atenção ao cisalhamento e à possibilidade de suporte direto. A reconstrução 3D pode ajudar a demonstrar essas relações para residentes e profissionais de diferentes áreas, mas isso não altera automaticamente a categoria Schatzker. Alguns estudos encontraram melhora da concordância após adicionar visualização tridimensional; outros não reproduziram o benefício, conforme sintetizado por Huitema et al. (2024).

A qualidade de uma classificação deve ser avaliada por sua reprodutibilidade e utilidade decisória, não por aparência visual convincente. Uma categoria com concordância elevada pode continuar sem discriminar o fragmento que determina a abordagem, enquanto uma classificação mais detalhada pode exigir treinamento e aumentar divergências entre leitores. O uso responsável do sistema de Schatzker exige reconhecer suas funções de comunicação e suas limitações no planejamento de lesões complexas.

6. SISTEMA AO/OTA E COMPLEXIDADE METAFISÁRIA

A estrutura AO/OTA distingue fraturas articulares parciais e completas e permite descrever dissociação entre superfícies articulares e segmentos diafisários. Sua linguagem favorece a comparação de séries de trauma, mas não substitui a caracterização dos fragmentos responsáveis pela estabilidade local. Dois pacientes classificados em uma mesma categoria podem demandar acessos e implantes distintos pela distribuição posterior dos fragmentos, condição dos tecidos e padrão de impactação.

A reconstrução tridimensional pode facilitar a demonstração da continuidade entre fragmentos articulares e a região metafisária. Contudo, a confiabilidade de uma classificação depende também da familiaridade do observador com seus critérios. Avaliadores experientes e residentes podem extrair informações diferentes da mesma superfície renderizada, de modo que a melhora da visualização não elimina a subjetividade de interpretação. Protocolos de leitura com cortes multiplanares e definições operacionais explícitas podem ser tão importantes quanto a ferramenta utilizada.

Vosoughi et al. (2024) examinaram a confiabilidade de sistemas classificatórios em modalidades diferentes e identificaram níveis variáveis de concordância. O estudo favorece a análise por sistema e por modalidade, evitando generalização de um único índice kappa para todas as classificações. A escolha entre Schatzker, AO/OTA e esquemas por colunas deve responder à finalidade do registro: descrição epidemiológica, planejamento fragmento-específico ou comunicação multidisciplinar.

7. CONCEITO DAS TRÊS COLUNAS

Luo et al. (2010) propuseram raciocínio de fixação baseado em três colunas, utilizando a tomografia para identificar componentes lateral, medial e posterior. O conceito foi importante por deslocar o foco de uma divisão exclusivamente condilar para a direção dos fragmentos que exigem redução e contraforte. Em uma lesão posterior significativa, por exemplo, uma placa colocada na face inadequada pode não neutralizar o cisalhamento, mesmo quando o alinhamento aparente da superfície é aceitável.

A classificação em colunas funciona como mapa de planejamento e não como receita de implantes. A presença de fragmento posterior não indica, isoladamente, que todos os casos necessitem de acesso posterior, pois dimensões, deslocamento, integridade do fragmento e estabilidade da redução variam. O benefício do método reside em formular perguntas anatômicas: qual coluna é independente, como se desloca, de onde pode ser reduzida e que construção impedirá perda secundária da posição?

Zhu et al. (2012) examinaram a utilidade e reprodutibilidade da classificação tridimensional por colunas. Investigações posteriores mostraram que a concordância pode diferir conforme treinamento e modalidade de imagem. A literatura não autoriza confundir uma classificação que facilita a discussão mecânica com uma demonstração de melhores resultados funcionais. Entre entender um fragmento e comprovar benefício ao paciente existe uma cadeia de decisões cuja efetividade deve ser avaliada.

8. CONFIABILIDADE ENTRE OBSERVADORES

A concordância interobservador descreve o grau de consistência entre avaliadores que classificam as mesmas imagens. A

concordância intraobservador examina a estabilidade da interpretação realizada pela mesma pessoa em momentos diferentes. Ambas são importantes porque uma classificação utilizada para planejar abordagens deveria gerar decisões suficientemente semelhantes entre especialistas; entretanto, concordância elevada não comprova que a classificação represente adequadamente a complexidade do trauma ou melhore resultados clínicos.

Valores de kappa são influenciados pela prevalência das categorias e pela composição dos casos. Uma amostra com grande número de fraturas simples pode produzir comportamento estatístico diferente de uma amostra composta apenas por fraturas de alta energia. Além disso, a maneira de apresentar as imagens, a ordem de avaliação e a experiência dos examinadores podem afetar os resultados. Estudos pequenos com poucos observadores devem ser interpretados com cautela, sobretudo quando comparam várias classificações em uma mesma população.

A metanálise de Vosoughi et al. (2024) encontrou alta concordância interobservador da classificação de Luo em tomografia tridimensional, enquanto a revisão de Huitema et al. (2024) destacou inconsistência do benefício de acrescentar 3D aos sistemas convencionais. Não se trata necessariamente de contradição: os trabalhos examinaram conjuntos e combinações diferentes de classificações e modalidades. A leitura crítica deve identificar exatamente o método testado antes de extrapolar conclusões.

9. RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL DIGITAL

A reconstrução digital segmenta dados tomográficos e produz uma representação volumétrica manipulável em estação de trabalho. A rotação do modelo, a transparência de estruturas e a possibilidade de isolar fragmentos podem tornar mais clara a distribuição espacial da fratura. Em situações selecionadas, essas funções auxiliam a explicar por que dois fragmentos aparentemente contíguos na radiografia não compartilham suporte cortical adequado. A interface visual também facilita a comunicação com membros menos experientes da equipe.

Entretanto, o processo de segmentação pode suprimir fragmentos pequenos, suavizar bordas e criar impressão falsa de continuidade. Limiares de densidade, artefatos de movimento e características da aquisição interferem no modelo final. Na presença de depressões osteocondrais, a superfície externa reconstruída pode não representar a profundidade real da impactação. A interpretação mais segura confronta o volume com os cortes axiais, coronais e sagitais e evita decisões com base em uma única projeção renderizada.

O tempo para processar modelos, a disponibilidade de software e a necessidade de treinamento variam entre serviços. Esses fatores interferem na aplicabilidade da tecnologia, especialmente em hospitais com alto volume de trauma e recursos limitados. A utilidade clínica deve ser definida por decisões concretas que o modelo modifica, e não apenas pela satisfação subjetiva com a qualidade da visualização.

10. IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL E MODELOS FÍSICOS

A impressão tridimensional transforma dados segmentados em representação física de fragmentos e superfícies ósseas. O modelo pode ser manuseado, rotacionado livremente e empregado na simulação de posicionamento de placas e parafusos. Sua principal diferença em relação à reconstrução digital está na interação tátil e no uso como objeto de planejamento, não na obtenção de novos dados anatômicos. A impressão depende da precisão da segmentação e do material utilizado.

Modelos físicos também exigem impressão, pós-processamento, tempo de preparo e custos adicionais. Pequenos fragmentos podem ser frágeis e se desprender; superfícies podem ter espessuras que não correspondem ao osso real. A simulação de redução em material rígido não reproduz o comportamento biológico dos tecidos, a presença de ligamentos, a resistência muscular ou a vascularização. Portanto, uma placa que parece adequada sobre o modelo não garante implantação segura na cirurgia real.

Osma-Rueda, Mantilla-Angarita e Lopez-Gualdron (2023), em estudo colombiano de reprodutibilidade, compararam a tomografia bidimensional e modelos impressos na classificação de Luo e na escolha de abordagens. Identificou melhora de alguns índices de concordância com a impressão, particularmente em determinadas comparações entre avaliadores. Essa evidência diz respeito à consistência da decisão, não à função pós-operatória. A implementação deve ser reservada às situações nas quais o ganho de compreensão e a possibilidade de planejar acessos justifiquem recursos e demora adicionais.

11. SEGMENTAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE

O fluxo de produção começa com aquisição tomográfica suficientemente detalhada, exportação dos dados e segmentação das estruturas de interesse. A definição de limites ósseos envolve decisões técnicas que podem variar com qualidade da imagem, densidade do osso e grau de cominuição. Artefatos metálicos, baixa resolução e mudanças de limiar podem alterar a representação de bordas. É necessário verificar o resultado com as imagens originais antes de utilizar o modelo para planejamento.

Em pesquisas, a confiabilidade deveria ser testada também no processo de reconstrução: diferentes operadores podem gerar modelos distintos a partir do mesmo exame. O tempo necessário, a taxa de falhas de segmentação e a necessidade de correções manuais devem ser documentados. Sem esses registros, um estudo pode atribuir ao 3D uma vantagem que depende da habilidade específica de um operador ou da qualidade superior de determinado serviço.

O controle de qualidade inclui verificar escala, orientação anatômica, correspondência entre faces articulares e integridade dos fragmentos relevantes. A validação não exige necessariamente impressão física de todos os casos; em sistemas virtuais, diferentes vistas e cortes podem ser comparados. O objetivo é impedir que o recurso mais intuitivo produza confiança exagerada em uma representação incompleta.

12. FRAGMENTOS POSTEROMEDIAIS

Fraturas com componente posteromedial livre podem apresentar tendência ao deslocamento em cisalhamento e à perda de alinhamento em varo. Esse padrão tem repercussões para a escolha

de abordagem e para a necessidade de suporte direto. A tomografia axial é particularmente útil para reconhecer a orientação do fragmento, enquanto as reconstruções sagitais e tridimensionais ajudam a demonstrar sua extensão e relação com o restante da coluna medial.

O reconhecimento do fragmento não determina automaticamente o uso de uma segunda placa. É necessário avaliar tamanho, estabilidade após redução, qualidade óssea, condição dos tecidos e possibilidade de controlar o componente por implantes específicos. A reconstrução 3D pode tornar mais evidente que uma placa lateral não aborda diretamente determinada superfície de cisalhamento; contudo, somente a análise biomecânica e a avaliação intraoperatória permitem definir a montagem final.

A comparação de estudos que avaliam técnicas de fixação deve considerar se esses fragmentos foram incluídos ou excluídos. Uma série com poucos componentes posteromediais não representa todas as fraturas bicondilares. Assim, a tomografia também melhora a qualidade da pesquisa ao permitir estratificação anatômica mais precisa, ainda que tal benefício metodológico não deva ser confundido com ganho funcional imediato.

13. FRAGMENTOS POSTEROLATERAIS

A região posterolateral apresenta desafios de visualização e acesso por sua proximidade com estruturas neurovasculares e pela relação com a cabeça da fíbula. Fraturas com depressão posterior ou fragmento marginal podem permanecer subestimadas em radiografias convencionais. As reformatações tomográficas permitem localizar a superfície comprometida, medir extensão do

defeito e visualizar a distribuição de fragmentos em diferentes planos.

Uma representação tridimensional rotacionada para vistas posteriores pode auxiliar na seleção de estratégia cirúrgica, sobretudo quando o acesso anterolateral não oferece controle adequado do fragmento. Entretanto, a visualização de uma borda óssea não descreve diretamente a integridade da cartilagem, do menisco ou dos ligamentos. A tomografia deve integrar exame físico e, quando indicado, ressonância magnética para avaliação de componentes que não aparecem com precisão em modelos corticais.

Na prática, o planejamento deve associar o alvo anatômico ao trajeto de exposição que ofereça redução efetiva com menor agressão. A presença de fragmento posterolateral não implica que a mesma técnica seja adequada para todos os pacientes. O impacto da imagem tridimensional pode ser medido pela mudança de decisão antes e depois da visualização, mas a adequação dessa mudança deve ser demonstrada por resultados de redução, segurança e acompanhamento.

14. DEPRESSÃO ARTICULAR E DEFEITOS SUBCONDRAIS

Depressões da superfície articular são determinantes importantes da incongruência e podem coexistir com fraturas de cisalhamento. A radiografia mostra a perda de contorno de maneira limitada quando fragmentos se sobrepõem. Reformatações coronais e sagitais localizam a área impactada e permitem estimar altura de depressão, extensão do defeito metafisário e necessidade de suporte

subcondral. A reconstrução 3D facilita a orientação espacial, mas pode ocultar fragmentos internos.

Uma decisão cirúrgica adequada deve considerar se a depressão compromete zona de carga, se há suporte cortical remanescente e se a elevação exigirá acesso específico. A indicação de enxerto, substituto ósseo ou parafusos de sustentação não decorre exclusivamente do aspecto volumétrico; depende da qualidade do osso e da estabilidade após a redução. A melhor representação externa não substitui verificação da superfície articular e do leito subcondral.

Na avaliação de resultados, é necessário diferenciar redução inicial insuficiente de afundamento secundário durante a consolidação. Estudos podem atribuir ao planejamento 3D menor perda de redução quando, na realidade, os grupos diferem em gravidade inicial ou métodos de apoio. Protocolos radiográficos comparáveis e medidas padronizadas são indispensáveis para investigar se a tecnologia modifica a estabilidade da reconstrução.

15. ESCOLHA DA VIA DE ACESSO

O acesso cirúrgico deve fornecer visualização suficiente do fragmento cuja redução determina o resultado mecânico, preservando tecidos e estruturas vulneráveis. A tomografia ajuda a identificar a face de cisalhamento e a direção do deslocamento. A reconstrução tridimensional pode facilitar o debate pré-operatório entre acesso anterolateral, medial, posteromedial e combinações selecionadas, mas não substitui o conhecimento dos planos anatômicos e das condições cutâneas do paciente.

Em fraturas com edema importante ou flictenas, a decisão de operar em estágios pode preceder a escolha definitiva da abordagem. Um planejamento volumétrico detalhado não remove o risco de deiscência, infecção ou necrose de partes moles. Quando a lesão exige segunda incisão, é preciso considerar pontes cutâneas, vascularização e a possibilidade de minimizar dissecação. A seleção de acesso deve incorporar prioridade biológica e não perseguir exclusivamente a trajetória geométrica mais curta até o fragmento.

A concordância entre cirurgiões na escolha de abordagens é um desfecho de planejamento relevante. Osma-Rueda, Mantilla-Angarita e Lopez-Gualdron (2023) demonstraram que certas decisões podem se tornar mais consistentes após visualização tridimensional; entretanto, concordância não indica que a opção escolhida seja necessariamente melhor para o paciente. Estudos clínicos precisam relacionar a decisão ao controle radiográfico e à segurança da cirurgia.

16. FIXAÇÃO LATERAL ISOLADA E DUPLA PLACA

A escolha entre placa lateral bloqueada isolada e dupla fixação depende sobretudo do suporte da coluna medial e da configuração dos fragmentos. Uma montagem angular estável lateral pode ser suficiente quando existe bloco medial relativamente íntegro e parafusos capazes de sustentar o componente articular. Em padrões com cisalhamento medial significativo, o contraforte direto pode oferecer maior controle mecânico. A tomografia permite discriminar essas situações que podem parecer semelhantes na radiografia.

A reconstrução tridimensional pode contribuir para a orientação do posicionamento esperado dos implantes e para o entendimento de

trajetórias de parafusos. Ainda assim, a simulação não reproduz integralmente o comportamento dos fragmentos sob carga, a qualidade do osso nem as restrições impostas pelas partes moles. Uma montagem visualmente satisfatória na tela pode apresentar risco de penetração articular, conflito entre parafusos ou instabilidade residual na prática.

Para investigar impacto funcional da imagem, estudos deveriam comparar pacientes com gravidade anatômica semelhante, controlar protocolos de reabilitação e medir desfechos após acompanhamento apropriado. Sem isso, uma diferença na taxa de uso de dupla placa pode refletir somente melhor detecção de fragmento medial ou preferência do cirurgião, não necessariamente benefício clínico gerado pela reconstrução 3D.

17. PLANEJAMENTO VIRTUAL DE REDUÇÃO

Ferramentas de planejamento virtual permitem manipular fragmentos digitais e simular alinhamento antes da cirurgia. Essa possibilidade pode auxiliar a antecipar o trajeto de redução e identificar quais fragmentos precisam ser abordados diretamente. Em lesões multifragmentárias, um ambiente virtual também pode favorecer comunicação entre equipes, especialmente quando o plano envolve duas ou mais vias de acesso. A simulação, contudo, permanece modelo geométrico e não representa automaticamente tecidos moles ou estabilidade real.

O planejamento deve partir de referências anatômicas e da comparação com regiões não afetadas. O alinhamento obtido em tela pode depender de segmentação, da possibilidade de rotacionar fragmentos livremente e da ausência de restrições existentes no

campo operatório. Essa liberdade pode ser útil para compreender o objetivo da redução, mas também criar expectativas irreais se não for acompanhada de análise de obstáculos cirúrgicos e limites de visualização.

Desfechos de pesquisa apropriados incluem mudança de plano após a simulação, tempo necessário para planejar, precisão da redução inicial e necessidade de revisão intraoperatória. A melhora da capacidade de discutir a cirurgia é resultado intermediário; resultados clínicos exigem comprovação independente. O planejamento virtual deve, portanto, ser interpretado como uma etapa adicional do processo decisório e não como substituto do julgamento cirúrgico.

18. PRÉ-MODELAGEM DE IMPLANTES

Modelos tridimensionais físicos podem ser utilizados para pré-contornar placas e estimar o comprimento esperado de implantes. A pré-modelagem busca reduzir adaptações repetidas durante a cirurgia e favorecer organização do material necessário. A viabilidade depende de os fragmentos estarem representados na posição que se deseja alcançar e de haver correspondência dimensional entre modelo e anatomia final. Em fraturas com grande deslocamento, o modelo do osso traumatizado pode não reproduzir a geometria após redução.

A diminuição de tempo operatório é um resultado de processo relevante, mas sua relação com menor infecção ou melhor função não é automática. Equipes experientes podem realizar adaptação de implantes com rapidez sem modelos físicos; em serviços com menor familiaridade com padrões complexos, o apoio visual pode ser mais

útil. A comparação precisa considerar curva de aprendizagem, tempo gasto antes da cirurgia e custos do processamento, além da duração na sala operatória.

As revisões sobre cirurgia assistida por 3D indicam tendências favoráveis em eficiência perioperatória, mas agrupam aplicações heterogêneas, como impressão, planejamento digital e guias. Atribuir toda melhora à simples reconstrução tomográfica é incorreto. O benefício específico da pré-modelagem deve ser estudado em grupos nos quais as demais etapas de cuidado sejam semelhantes.

19. FLUOROSCOPIA E CONTROLE INTRAOPERATÓRIO

A fluoroscopia permanece ferramenta central para verificar alinhamento, posição de implantes e preservação da superfície articular. O planejamento tomográfico pode reduzir dúvidas quanto à localização de fragmentos, mas não substitui confirmação intraoperatória. A projeção bidimensional produzida pela fluoroscopia também apresenta limitações de sobreposição, exigindo incidências complementares para evitar penetração articular de parafusos ou avaliação enganosa da redução.

Algumas estratégias com planejamento tridimensional buscam reduzir número de imagens e duração da fluoroscopia por anteciparem montagem e posicionamento de material. Revisões observaram redução média em indicadores de exposição, mas os resultados variam segundo a tecnologia utilizada e o desenho dos estudos. Além disso, uma redução pequena em tempo de fluoroscopia não garante mudança clinicamente relevante de exposição para cada paciente ou profissional.

O controle de qualidade precisa registrar quantidade de imagens, tempo de emissão, tipo de equipamento e complexidade do procedimento. Comparações entre períodos distintos podem ser confundidas por mudanças de rotina e experiência da equipe. A vantagem real de uma ferramenta é mais bem demonstrada quando associada a decisões reprodutíveis e redução segura, sem comprometer a qualidade da verificação intraoperatória.

20. TEMPO OPERATÓRIO E PERDA SANGUÍNEA

O tempo operatório e a perda sanguínea são medidas frequentemente utilizadas para avaliar tecnologias de planejamento. Metanálises sobre assistência tridimensional à cirurgia de fraturas do planalto tibial descrevem, em média, tempos menores de procedimento e redução de sangramento. Esses resultados têm plausibilidade prática quando a equipe antecipa acessos, implantes e sequência de redução. Entretanto, diferenças de duração não esclarecem isoladamente se a superfície articular ficou melhor reconstruída.

A revisão sistemática de Assink et al. (2022), que reuniu 1.074 pacientes em diferentes grupos de estudos observou menor duração cirúrgica, menor perda sanguínea e menor uso de fluoroscopia, sem diferença funcional estatisticamente significativa na escala HSS. Essa dissociação é importante: ganhos operacionais podem ser reais sem demonstrar benefício clínico duradouro. Também é necessário considerar que os estudos combinavam tecnologias variadas e incluíam comparações com risco de seleção dos casos.

A metanálise de ensaios randomizados de Mazzola et al. (2026) identificou efeitos favoráveis em alguns indicadores perioperatórios, inclusive para o planalto tibial, mas a agregação de diferentes regiões anatômicas e técnicas demanda cautela. Dados de eficiência precisam ser interpretados com intervalos de confiança, heterogeneidade, qualidade do estudo e relevância clínica. Não se deve recomendar tecnologia universalmente com base apenas em economia média de minutos.

21. ENSAIOS CLÍNICOS E RESULTADOS FUNCIONAIS

Os resultados funcionais são o teste mais exigente da hipótese de que melhor planejamento espacial modifica a evolução do paciente. Escores de joelho, retorno ao trabalho, mobilidade, dor e qualidade de vida dependem de múltiplos fatores que não são corrigidos exclusivamente por melhor imagem. Uma fratura pode ser reconstruída com alinhamento adequado e ainda evoluir com rigidez por lesão inicial da cartilagem, comprometimento meniscal, dor persistente ou reabilitação insuficiente.

García Cantarero et al. (2026), em ensaio randomizado piloto, compararam o planejamento convencional com uso de modelos impressos em pacientes submetidos a tratamento cirúrgico do planalto tibial. Trinta e três pacientes foram analisados. O grupo assistido mostrou tendência a menor tempo operatório, mas sem significância estatística; os resultados funcionais e de complicações não diferiram entre grupos aos doze meses. O tamanho amostral limita a capacidade de detectar diferenças discretas ou eventos incomuns.

Resultados negativos não comprovam equivalência absoluta, assim como diferenças de processo não comprovam melhor recuperação. Ensaios futuros precisam estabelecer tamanho amostral baseado em diferença clinicamente importante e acompanhar desfechos de modo suficiente. O benefício potencial da reconstrução 3D pode estar concentrado em fraturas particularmente complexas, hipótese que requer estratificação prévia para evitar interpretações oportunistas.

22. ESCALAS DE FUNÇÃO E DESFECHOS

O desfecho funcional não pode ser reduzido à amplitude de flexão medida isoladamente. Instrumentos como KOOS, WOMAC, Hospital for Special Surgery e escalas de qualidade de vida captam aspectos diferentes de dor, sintomas, desempenho cotidiano e percepção de recuperação. A comparação entre técnicas ou métodos de planejamento deve selecionar previamente um desfecho principal e evitar interpretar instrumentos distintos como medidas intercambiáveis de uma mesma dimensão.

A avaliação radiográfica, por sua vez, pode incluir alargamento condilar, alinhamento coronal, inclinação tibial e degrau articular residual. Esses parâmetros possuem relevância mecânica, mas nem sempre se correlacionam diretamente com escores precoces de função. O seguimento de seis ou doze meses pode ser suficiente para alguns indicadores de consolidação e ainda insuficiente para avaliar degeneração articular, dor persistente e necessidade tardia de reoperação.

Para estudar especificamente a reconstrução tridimensional, seria desejável registrar como ela modificou o planejamento e testar se

essas mudanças se associaram a redução mais precisa, complicações menores ou recuperação superior. Apenas medir satisfação do cirurgião ou clareza visual responde a uma pergunta de usabilidade, não à questão central da efetividade clínica. A escolha dos desfechos deve refletir objetivos do paciente e segurança ao longo do tempo.

23. COMPLICAÇÕES E SEGURANÇA

Infecção, deiscência, necrose cutânea, falha de implante, perda de redução, rigidez e artrose pós-traumática são desfechos importantes após fraturas complexas do planalto tibial. A ocorrência depende da gravidade do trauma, do estado geral, das condições dos tecidos e das decisões técnicas. O uso de imagem tridimensional não elimina esses riscos e tampouco transforma um padrão de alta energia em procedimento biologicamente simples.

Se o planejamento permitir evitar um acesso desnecessário ou organizar melhor o material, pode haver benefício operacional plausível. Entretanto, afirmar redução de complicações exige comparação clínica adequada, descrição completa de eventos e seguimento suficiente. Estudos pequenos frequentemente não possuem poder para avaliar infecção profunda ou reoperação, eventos de baixa frequência relativa, mas grande relevância para a recuperação. Não detectar diferença não significa demonstrar segurança equivalente em todas as situações.

A segurança também envolve o risco de interpretação excessivamente confiante do modelo. Fragmentos corticais pequenos ou depressões ocultas podem ficar pouco visíveis, e decisões tomadas a partir de renderização imperfeita podem

comprometer o resultado. A prática prudente combina modelo tridimensional, cortes tomográficos originais, avaliação das partes moles e confirmação intraoperatória.

24. LESÕES MENISCAIS E LIGAMENTARES

O planejamento de uma fratura articular do joelho deve reconhecer que sua repercussão funcional não se restringe ao osso. Lesões meniscais, ligamentares e condrais podem acompanhar a fratura e alterar estabilidade, dor e protocolo de reabilitação. A tomografia é especialmente adequada para arquitetura óssea, porém possui limitações na identificação de alterações de partes moles. A reconstrução volumétrica cortical não resolve essa lacuna diagnóstica.

O exame físico inicial pode ser limitado pela dor e pelo edema, enquanto a ressonância magnética pode ser indicada em situações específicas para caracterizar estruturas não vistas adequadamente na tomografia. A decisão depende do quadro clínico e das possibilidades de tratamento. Nenhuma modalidade isolada oferece descrição integral de todas as lesões relevantes. O valor do planejamento é reconhecer quais perguntas continuam sem resposta após a avaliação óssea.

Estudos sobre benefícios funcionais da tecnologia 3D deveriam registrar prevalência e tratamento de lesões meniscais e ligamentares. Caso pacientes com fraturas mais complexas recebam mais frequentemente reconstrução tridimensional, o grupo terá risco basal diferente de rigidez e incapacidade. A ausência de controle para essas lesões pode mascarar vantagens de planejamento ou produzir associações equivocadas.

25. ESTRATÉGIAS EM ESTÁGIOS E PARTES MOLES

Em traumas de alta energia, a situação de partes moles pode determinar a temporização cirúrgica. Edema importante, flictenas e risco de síndrome compartimental exigem avaliação prioritária e, em determinados casos, estabilização provisória. O objetivo é proteger tecidos, restaurar parcialmente comprimento e alinhamento e permitir planejamento definitivo após melhora clínica. Reconstruções tridimensionais podem auxiliar na etapa de preparação, mas não justificam ignorar a evolução biológica.

A obtenção da tomografia após estabilização provisória pode alterar a disposição aparente de fragmentos por efeito de tração e redução indireta. Esse contexto precisa ser documentado para interpretar medidas. Modelos obtidos antes e depois da estabilização não são diretamente equivalentes sem observar mudanças de alinhamento. Além disso, o planejamento pode precisar ser revisto diante de achados intraoperatórios ou novas informações clínicas.

O uso de tecnologia deve evitar atrasos injustificados de cuidados urgentes. Uma reconstrução digital ou impressão física que exija processamento prolongado é apropriada apenas quando o ganho esperado compensa o tempo e não compromete prioridades assistenciais. Assim, a integração da imagem tridimensional em protocolos de trauma deve incluir critérios de seleção e alternativas convencionais disponíveis.

26. CUSTO, ACESSO E EQUIPAMENTOS

A incorporação de reconstruções tridimensionais envolve custos de software, estações de trabalho, treinamento e, quando há impressão, materiais e manutenção. Alguns recursos de visualização já

integram sistemas de radiologia existentes, enquanto modelos físicos podem exigir infraestrutura adicional. A análise econômica precisa considerar o tempo gasto fora da sala operatória, a possível economia de recursos intraoperatórios e o impacto sobre complicações e reoperações.

Não é correto inferir custo-efetividade apenas a partir da redução média do tempo cirúrgico. Economizar minutos pode ter valor institucional, mas a economia depende do custo local da sala, da frequência de utilização do equipamento e dos profissionais necessários ao processamento. Da mesma forma, um modelo físico barato pode não gerar benefício se utilizado rotineiramente em fraturas simples, nas quais a tomografia convencional já fornece informação suficiente.

Em hospitais latino-americanos, desigualdades na disponibilidade de tomografia, tecnologia de pós-processamento e reabilitação devem integrar a discussão. A adoção racional pode começar por protocolos de indicação para lesões com fragmentos posteriores complexos e dúvidas reais sobre abordagem. A prioridade continua sendo oferecer tratamento seguro e reabilitação adequada, sem estabelecer que centros sem impressão 3D prestem necessariamente cuidado inferior.

27. CURVA DE APRENDIZAGEM E EDUCAÇÃO MÉDICA

A reconstrução tridimensional possui relevância potencial para ensino porque permite relacionar cortes tomográficos a superfícies anatômicas e fragmentos específicos. Residentes podem compreender mais facilmente a orientação de traços coronais quando conseguem rotacionar o modelo. A impressão física

também possibilita discussão tátil da redução e da colocação de implantes. Essas vantagens educacionais são plausíveis, mas devem ser avaliadas por medidas objetivas de aprendizagem e transferência para a prática.

A experiência do avaliador influencia a interpretação: especialistas podem reconstruir mentalmente a anatomia a partir de cortes bidimensionais, enquanto iniciantes dependem mais de modelos visuais. Contudo, o ensino não deve substituir a leitura multiplanar por renderização pronta. O profissional precisa reconhecer artefatos, identificar lesões não representadas e correlacionar diferentes modalidades. Treinamento baseado apenas em superfícies 3D pode produzir lacunas importantes de diagnóstico.

Estudos educacionais podem medir concordância com padrão de referência, capacidade de identificar fragmentos relevantes, escolha de via de acesso e tempo de avaliação. Tais indicadores devem ser diferenciados dos desfechos cirúrgicos. Melhorar aprendizado é benefício legítimo, mesmo quando ainda não se comprova efeito direto sobre função ou complicações. A clareza dessa distinção evita extrapolações em favor da tecnologia.

28. REALIDADE MISTA E TECNOLOGIAS EMERGENTES

Ferramentas de realidade mista e visualização imersiva permitem apresentar modelos derivados da tomografia em ambiente espacial. O objetivo é facilitar orientação e manipulação de fragmentos em três dimensões. Estudos recentes de confiabilidade sugerem que determinadas formas de visualização podem modificar concordância classificatória e confiança dos avaliadores, mas os

resultados dependem do equipamento, do sistema escolhido e da familiaridade dos participantes.

Maior confiança diagnóstica não é sinônimo de maior acurácia. Uma representação visualmente envolvente pode aumentar a convicção sem melhorar a correção da decisão. Por isso, pesquisas devem confrontar classificações e planos com critérios de referência e avaliar se os recursos alteram redução, segurança e função. É inadequado assumir que uma interface tecnologicamente mais sofisticada produzirá resultados superiores em todas as fraturas.

Novas ferramentas também levantam questões de interoperabilidade, segurança dos dados de imagem e custo de treinamento. A adoção deve responder a necessidades clínicas verificadas, não apenas ao interesse por inovação. O cenário mais plausível é uso seletivo, integrado às etapas consolidadas de avaliação tomográfica e cirurgia, com pesquisa independente para estabelecer indicações e limites.

29. VIESES E LIMITAÇÕES DOS ESTUDOS

Uma das principais limitações é a heterogeneidade de intervenções reunidas sob o termo assistência 3D. Reconstrução virtual, impressão de modelo, pré-moldagem de placa e imagem intraoperatória não são equivalentes. Quando uma revisão reúne essas estratégias, o efeito combinado não pode ser atribuído especificamente à reconstrução tomográfica digital. A validade externa depende do recurso utilizado, da experiência da equipe e da complexidade dos casos.

Em estudos observacionais, o cirurgião pode solicitar modelos tridimensionais para fraturas mais complexas, criando confusão por

indicação. Alternativamente, centros com maior tecnologia podem dispor também de equipes mais experientes e reabilitação melhor estruturada. Essas diferenças podem produzir resultados favoráveis independentemente da tecnologia avaliada. Ensaios randomizados ajudam a reduzir confundimento, mas amostras pequenas limitam conclusões sobre complicações raras e desfechos tardios.

A heterogeneidade dos sistemas classificatórios constitui desafio adicional: o desempenho de Luo em tomografia 3D não demonstra necessariamente melhora de Schatzker após a adição do mesmo recurso. O significado clínico de uma mudança no kappa também precisa ser considerado. A revisão narrativa presente não realizou reanálise estatística; suas conclusões são interpretações críticas de estudos publicados, com o reconhecimento de incertezas ainda existentes.

30. CRITÉRIOS DE SELEÇÃO PARA USO DO 3D

A indicação de reconstrução tridimensional deve começar com uma dúvida clínica explícita. Pode ser importante esclarecer se um fragmento posterior é independente, se existe superfície de cisalhamento não contida pela placa planejada ou se a localização de depressão exige acesso diferente. Quando a tomografia multiplanar já demonstra com clareza a configuração e a equipe domina a abordagem, o benefício adicional pode ser pequeno. A seleção racional evita transformar todos os casos em candidatos automáticos à tecnologia.

A justificativa pode ser documentada antes da reconstrução, registrando perguntas que a imagem deverá responder. Após a visualização, a equipe deve indicar se houve mudança no

diagnóstico, na classificação, na escolha de acesso ou na montagem. Essas informações tornam a tecnologia auditável e diferenciam conveniência estética de utilidade clínica. Uma mudança de plano não deve ser classificada como melhoria sem verificar sua adequação e segurança.

Também é importante reconhecer circunstâncias em que o recurso não está disponível no tempo necessário. Em lesões que exigem intervenção urgente, atrasar cuidado para gerar modelo tridimensional não é aceitável. A prioridade continua sendo estabilização clínica, avaliação de tecidos e controle de ameaças imediatas ao membro. O 3D deve adaptar-se ao fluxo assistencial e não determiná-lo de forma inflexível.

30.1. Documentação Padronizada de Imagens

Pesquisas sobre tomografia tridimensional ganham reprodutibilidade quando descrevem aquisição, espessura de corte, reformatações e parâmetros de reconstrução. Sem esses dados, dois estudos podem chamar de 3D representações muito diferentes quanto à qualidade, ao nível de detalhe e à possibilidade de manipular fragmentos. É importante registrar também se o leitor teve acesso aos cortes multiplanares no mesmo momento em que avaliou o modelo.

Uma documentação adequada pode incluir imagens em vistas anterior, posterior, medial e lateral, além de capturas orientadas pelo principal fragmento. A seleção dessas projeções deve ser padronizada para reduzir o risco de apresentar a um grupo informação mais completa que a outro. Também é necessário identificar se o software permitiu ocultar fragmentos, medir

distâncias ou simular redução, pois cada função pode produzir efeitos distintos nas decisões.

A análise crítica de resultados depende da transparência desse processo. A melhora de concordância observada em um centro com reconstrução interativa especializada não deve ser atribuída automaticamente a qualquer visualizador básico. Padronizar documentação permite identificar quais recursos realmente contribuem e reduz dependência de conhecimento informal do operador.

30.2. Diferença Entre Classificar e Planejar

Classificar significa atribuir uma categoria segundo regras previamente definidas; planejar significa selecionar ações para reduzir e estabilizar fragmentos em determinada circunstância clínica. As tarefas se relacionam, mas não são idênticas. Dois cirurgiões podem concordar na classificação AO/OTA e propor acessos diferentes porque atribuem pesos distintos à condição cutânea ou à necessidade de redução direta. Da mesma forma, classificações diferentes podem levar à mesma montagem quando a anatomia determinante foi reconhecida.

Os estudos devem informar qual resultado foi medido. Um aumento do índice kappa na classificação não significa, por si só, que houve maior concordância na escolha de implantes. A concordância de abordagem também não demonstra adequação biomecânica ou melhor função. A reconstrução tridimensional pode beneficiar mais uma dessas etapas que outras, e a distinção é fundamental para interpretar o real alcance da evidência publicada.

Uma estratégia de avaliação útil consiste em pedir que observadores façam diagnóstico e plano com radiografia e tomografia convencional, registrando as escolhas antes de receber a reconstrução adicional. Depois da visualização, novas decisões podem ser comparadas e avaliadas por referência independente. Esse desenho permite quantificar mudanças, mas ainda exige acompanhamento clínico para demonstrar valor ao paciente.

30.3. Padrões de Relato dos Desfechos

A literatura emprega grande variedade de resultados para avaliar a contribuição de imagens tridimensionais. Trabalhos de classificação utilizam kappa e porcentagem de concordância; estudos de planejamento registram mudanças de acesso e de implante; ensaios cirúrgicos medem tempo de procedimento, sangramento, fluoroscopia e escalas de joelho. Os resultados não devem ser tratados como substitutos. Para produzir uma conclusão válida, cada estudo precisa esclarecer se examina melhor entendimento, melhor execução técnica ou maior recuperação do paciente.

Um relatório padronizado poderia descrever a população por classificação AO/OTA e fragmentos, apresentar imagem utilizada, explicitar tecnologia de reconstrução e registrar a decisão antes e depois do 3D. Para a operação, seriam documentadas vias de acesso, implantes, redução inicial, necessidade de conversão e complicações. No seguimento, escalas funcionais e medidas radiográficas deveriam ser aplicadas em períodos previamente estabelecidos. Esse conjunto não representa exigência universal de prontuário, mas proposta metodológica para estudos mais comparáveis.

Os resultados numéricos também exigem medidas de incerteza. A diferença entre médias é mais informativa quando acompanhada de intervalo de confiança; a ausência de p significativo não demonstra equivalência. Em escalas funcionais, a magnitude da mudança precisa ser comparada com diferenças clinicamente importantes, quando validadas para a população. O uso rigoroso dessas medidas evita que pequenas vantagens operacionais sejam apresentadas como transformação do prognóstico.

30.4. Pacientes Idosos e Qualidade Óssea

A interpretação da tomografia deve considerar que fraturas em pessoas idosas podem ter padrão de impactação diferente daquele observado em mecanismos de alta energia. Osteoporose, cominuição metafisária e menor suporte subcondral alteram as exigências da fixação, mesmo quando a representação tridimensional sugere fragmentos geometricamente acessíveis. A reconstrução não quantifica automaticamente resistência óssea nem substitui avaliação de comorbidades, mobilidade prévia e riscos perioperatórios.

O planejamento pode antecipar regiões em que suporte subcondral e estabilidade angular serão necessários, porém a escolha de implantes deve incorporar a capacidade de sustentação real do osso. Em pacientes com limitações anteriores ao trauma, as escalas funcionais podem apresentar tetos e pisos diferentes, o que dificulta comparação direta com adultos jovens. A reabilitação precisa contemplar capacidade de apoio, equilíbrio e necessidade de assistência para atividades cotidianas, e não apenas amplitude de flexão do joelho.

Estudos que investigam benefícios da reconstrução tridimensional deveriam estratificar idade, condição óssea e mecanismo de trauma. Caso a tecnologia seja utilizada principalmente em pacientes jovens com fraturas complexas, os resultados não podem ser transferidos automaticamente à população idosa. O valor principal do 3D continua ligado à leitura da anatomia, cuja contribuição clínica depende de condições biomecânicas e funcionais próprias de cada indivíduo.

30.5. Significado da Artrose Pós-Traumática

A artrose pós-traumática representa desfecho de longo prazo que pode surgir mesmo após redução satisfatória. Lesões condrais do impacto inicial, incongruência residual, desalinhamento do eixo e alterações meniscais participam do processo degenerativo. A tomografia ajuda a detalhar o comprometimento ósseo, mas a reconstrução tridimensional não restaura cartilagem nem permite prever isoladamente a evolução degenerativa. Assim, a hipótese de que melhor planejamento reduza artrose exige acompanhamento clínico prolongado.

Séries com seguimento curto podem apresentar consolidação adequada e bons escores iniciais sem captar sintomas tardios. Ao avaliar tecnologias de planejamento, é importante medir necessidade de novas cirurgias, alterações radiográficas, dor persistente e limitação de atividades ao longo dos anos. A ocorrência de artrose depende também de fatores anteriores ao trauma, como alinhamento prévio, idade, massa corporal e atividade física, que precisam ser registrados para comparações adequadas.

A superioridade de um recurso de imagem em classificar fraturas não deve ser interpretada como proteção demonstrada contra degeneração futura. A cadeia causal exigiria comprovar que a informação adicional modificou a técnica, melhorou a redução de modo clinicamente significativo e reduziu alterações a longo prazo. Na ausência desses estudos, a associação entre melhor visualização e prevenção de artrose permanece hipótese plausível, não resultado estabelecido.

30.6. Relevância para a Prática Multidisciplinar

A interpretação de fraturas complexas envolve radiologistas, ortopedistas, equipe de enfermagem, fisioterapeutas e profissionais de reabilitação. Reconstruções tridimensionais podem servir como linguagem comum para demonstrar a localização de fragmentos e explicar por que o apoio precisa ser restrito temporariamente. A ferramenta também pode facilitar a comunicação com o paciente, desde que as imagens sejam apresentadas como representação simplificada e não como previsão garantida do resultado cirúrgico.

Para a radiologia, o relatório deve priorizar achados que modificam planejamento, como fragmentos posteriores, depressão e dissociação metafisodiafisária. Para a equipe cirúrgica, importa esclarecer quais superfícies precisam de redução e suporte. Para a reabilitação, são centrais estabilidade da montagem, lesões associadas e progressão segura de carga. O 3D não substitui a transmissão dessas informações em linguagem clínica objetiva e validada.

A comunicação também exige reconhecer limites e evitar promessas. Um modelo visualmente detalhado pode gerar

expectativa de reconstrução anatômica perfeita, mas a cirurgia é condicionada pelo estado dos tecidos e pelas características da lesão. Documentar decisões compartilhadas, esclarecer incertezas e acompanhar resultados é mais relevante do que a sofisticação isolada do recurso de imagem.

30.7. Prevenção de Interpretações Excessivas

A presença de tecnologia mais sofisticada pode influenciar a forma como resultados são comunicados em artigos científicos. Uma melhora de concordância classificatória não equivale a melhora diagnóstica para todas as lesões; uma redução média de tempo operatório não significa menor risco individual de infecção; a melhora da visualização de um fragmento não comprova que o acesso escolhido terá maior durabilidade. O artigo deve declarar a unidade de análise de cada estudo e impedir a transferência automática de conclusões entre etapas distintas do cuidado.

A leitura de metanálises merece atenção às populações incluídas. Quando estudos combinam fraturas de outras regiões, modelos impressos e técnicas virtuais, a média conjunta tem aplicabilidade limitada à reconstrução digital do planalto tibial. Estimativas favoráveis podem decorrer de equipes selecionadas, recursos especializados ou casos anatomicamente menos graves. Uma interpretação adequada considera possibilidade de viés de publicação, variabilidade de protocolos e ausência de cegamento dos avaliadores. A identificação desses limites fortalece, em vez de diminuir, o valor de resultados realmente demonstrados.

Outra distinção necessária envolve a diferença entre segurança e eficácia. A ausência de aumento significativo de complicações em

amostras pequenas não comprova que uma intervenção seja isenta de riscos, assim como um resultado funcional semelhante não significa que a informação adicional seja inútil para planejamento de casos difíceis. O benefício pode ocorrer em subgrupos, em redução de incerteza ou em eficiência da equipe, mas essas hipóteses devem ser testadas com desenhos apropriados. O fundamento científico mais consistente é escolher perguntas específicas, reconhecer os métodos capazes de respondê-las e formular conclusões proporcionais às evidências disponíveis.

Por fim, a evolução tecnológica não elimina princípios centrais de traumatologia: restauração do eixo, redução articular suficiente, estabilidade para consolidação, preservação da vascularização e reabilitação segura. A imagem 3D contribui quando melhora a aplicação desses princípios e não apenas sua representação visual. A pesquisa deve acompanhar consequências para os pacientes, mantendo transparência sobre o caminho entre a informação radiológica e o resultado obtido.

31. DISCUSSÃO INTEGRADA

O conjunto das evidências permite reconhecer valor relevante da tomografia multiplanar na descrição das fraturas complexas do planalto tibial. A reconstrução tridimensional acrescenta um modo de visualizar a geometria e pode facilitar comunicação, planejamento fragmento-específico e treinamento. No entanto, a confiabilidade classificatória não aumenta de maneira uniforme entre sistemas, e os resultados de estudos sobre modalidades diferentes não devem ser combinados em uma afirmação genérica de superioridade.

A classificação de Luo, baseada em colunas, apresenta utilidade para reconhecer componentes posteriores e formular estratégias de suporte. Revisões de confiabilidade mostram resultados favoráveis em determinadas comparações, enquanto a revisão sistemática de Huitema et al. (2024) adverte que a adição de 3D não possui benefício consistentemente comprovado para sistemas convencionais. Essa aparente tensão pode ser explicada pelas perguntas distintas examinadas: escolher um sistema criado para leitura tomográfica não equivale a acrescentar reconstrução a toda classificação já existente.

Em termos clínicos, os métodos 3D parecem produzir benefícios operacionais em algumas séries, como menor duração de cirurgia, sangramento e fluoroscopia. Contudo, a recuperação funcional depende também de gravidade do trauma, cartilagem, tecidos moles, técnica de redução e reabilitação. O ensaio piloto de García Cantarero et al. (2026) não demonstrou diferença funcional entre grupos, reforçando a necessidade de estudos maiores e selecionados por complexidade. A interpretação mais defensável é a de ferramenta complementar, com potencial benefício específico ainda a delimitar.

32. AGENDA DE PESQUISA

Estudos futuros devem comparar de maneira isolada a tomografia multiplanar com e sem reconstrução digital 3D, evitando agrupar impressão física e outras tecnologias na mesma intervenção. A amostra deve incluir fraturas de complexidade previamente definida, com registro de fragmentos posteromediais, posterolaterais, depressão e dissociação metafisodiafisária. É importante selecionar desfechos primários vinculados à pergunta:

concordância classificatória, alteração de plano cirúrgico ou função em longo prazo.

Para avaliar classificação, recomenda-se utilizar observadores com diferentes experiências, imagens apresentadas em ordem balanceada e intervalo adequado entre avaliações. Para avaliar cirurgia, são necessários critérios transparentes de indicação, registro de acessos, complicações, protocolos de reabilitação e acompanhamento clínico. Estudos de custo-efetividade devem contabilizar todo o processamento e suas possíveis economias operacionais, inclusive tempo de equipe e manutenção.

O campo também necessita de estudos multicêntricos em contextos assistenciais variados. Resultados obtidos em hospitais de referência podem não representar serviços com menos recursos. A pergunta relevante não é se a imagem tridimensional é visualmente impressionante, mas para quais padrões de fratura e quais equipes sua utilização melhora decisões e produz resultados clinicamente relevantes.

33. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tomografia computadorizada ocupa posição central na avaliação das fraturas complexas do planalto tibial por revelar fragmentos, depressões e relações anatômicas pouco evidentes na radiografia. Reconstruções tridimensionais podem ampliar a comunicação espacial, contribuir para o planejamento de abordagens e auxiliar a compreensão de fragmentos posteriores. Entretanto, sua contribuição para a confiabilidade das classificações é variável e depende do sistema e do desenho do estudo.

As evidências disponíveis apontam possíveis ganhos perioperatórios com tecnologias de assistência tridimensional, particularmente na organização do procedimento e em algumas medidas de eficiência. Não existe, porém, demonstração consistente de superioridade funcional duradoura atribuível à reconstrução 3D em todas as fraturas. Os resultados clínicos permanecem condicionados à qualidade da redução, à estabilidade mecânica, ao cuidado das partes moles e à reabilitação.

Assim, a reconstrução tridimensional deve ser tratada como recurso complementar de utilização criteriosa, articulado à análise multiplanar e ao exame clínico. A pesquisa futura precisa definir quais pacientes obtêm benefícios adicionais mensuráveis, distinguindo melhor entendimento da anatomia, decisões cirúrgicas modificadas e resultados que realmente importam para a qualidade de vida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSINK, N. et al. Does 3D-assisted surgery of tibial plateau fractures improve surgical and patient outcome? A systematic review of 1074 patients. European Journal of Trauma and Emergency Surgery, v. 48, p. 1737–1749, 2022. DOI: 10.1007/s00068-021-01773-2.

GARCÍA CANTARERO, M. et al. Efficacy of the use of 3D printing models in the treatment of tibial plateau fractures: a pilot randomized clinical trial. Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 2026. DOI: 10.1186/s13018-026-06950-w.

HUITEMA, J. M. et al. The effect of addition of 2DCT scans and 3DCT scans for the classification of tibial plateau fractures: a systematic

review. European Journal of Trauma and Emergency Surgery, v. 50, p. 71–79, 2024. DOI: 10.1007/s00068-023-02344-3.

LUO, C.-F.; SUN, H.; ZHANG, B.; ZENG, B.-F. Three-column fixation for complex tibial plateau fractures. Journal of Orthopaedic Trauma, v. 24, n. 11, p. 683–692, 2010. DOI: 10.1097/BOT.0b013e3181d436f3.

MAZZOLA, M. A. et al. Impact of 3D technology on perioperative outcomes of articular and periarticular fractures: a systematic review and meta-analysis of RCT studies. Journal of Orthopaedics, v. 76, p. 39–48, 2026. DOI: 10.1016/j.jor.2026.03.015.

OSMA-RUEDA, J.; MANTILLA-ANGARITA, F.; LOPEZ-GUALDRON, C. Intraobserver and interobserver reproducibility of classifications of tibial plateau fractures and the surgical approaches chosen comparing 2D CT and 3D printing: reliability study. JAAOS Global Research & Reviews, v. 7, n. 4, 2023. DOI: 10.5435/JAAOSGlobal-D-22-00202.

VOSOUGHI, F. et al. Intrarater and Inter-rater Reliability of Tibial Plateau Fracture Classifications: Systematic Review and Meta-Analysis. JBJS Open Access, v. 9, n. 4, e23.00181, 2024. DOI: 10.2106/JBJS.OA.23.00181.

XIE, L. et al. Three-dimensional printing assisted ORIF versus conventional ORIF for tibial plateau fractures: a systematic review and meta-analysis. International Journal of Surgery, v. 57, p. 35–44, 2018. DOI: 10.1016/j.ijsu.2018.07.012.

ZHU, Y. et al. Computed tomography-based three-column classification in tibial plateau fractures: introduction of its utility and

assessment of its reproducibility. Journal of Trauma and Acute Care Surgery, v. 73, n. 3, p. 731–737, 2012. DOI: 10.1097/TA.0b013e31825c17e7.

---

[1] Medicina. Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6150-741X. Lattes: https://lattes.cnpq.br/9767896031117357. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail

[2] Medicina. UNISC (2020–2026). Farmácia. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) (2015–2020). ORCID: https://orcid.org/0009-0003-5583-1928. Lattes: http://lattes.cnpq.br/2804982573804204. E-mail: acesse o artigo original para visualizar o e-mail