

Reoperações e resultados radiográficos de médio prazo do uso de cone de metal trabecular de tântalo nas artroplastias do joelho

Midterm Radiographic Results and Reoperations of Tantalum Trabecular Metal Cones in Knee Arthroplasties

Sandra Tie Nishibe Minamoto¹  Luís Felipe Tupinambá da Silva¹  José Leonardo Rocha de Faria¹ 
Hugo Alexandre de Araujo Barros Cobra¹  Idemar Monteiro da Palma²  Alan de Paula Mozella¹ 

¹Médicos Ortopedistas, Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

²Médicos Ortopedistas, Hospital Rios D'Or da Rede D'Or São Luiz, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Endereço para correspondência Sandra Tie Nishibe Minamoto, MD, Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia, Grupo de Cirurgia do Joelho, Rio de Janeiro, RJ, Brasil (e-mail: sandraminamoto@yahoo.com.br).

Rev Bras Ortop 2022;57(5):734–740.

Resumo

Objetivo O manejo da perda óssea representa um grande desafio em cirurgias de revisão de artroplastia do joelho (rATJ) e em artroplastias totais do joelho (ATJ) primárias complexas. O objetivo do presente estudo foi avaliar os resultados em médio prazo (seguimento mínimo de 5 anos) das reconstruções de joelho nas quais cones de metal trabecular (MT) de tântalo foram utilizados para tratamento de defeitos ósseos tipos 2 e 3, de acordo com a classificação proposta pela Anderson Orthopaedic Research Institute (AORI).

Métodos Feita análise retrospectiva dos prontuários dos pacientes operados entre julho de 2008 e novembro de 2014, coletando-se os seguintes dados: idade, gênero, lateralidade, índice de massa corporal, etiologia da artrose, comorbidade, classificação AORI da falha óssea, causa da revisão da artroplastia total do joelho, reinternações, reoperações, complicações peri- e pós-operatórias, ocorrência de osteointegração radiográfica e manutenção da função de suporte do MT.

Resultados Foram avaliados 11 pacientes com tempo médio de seguimento de 7,28 anos (desvio padrão [DP] = 1,88; variação = 5,12–10 anos), sendo que 1 paciente foi submetido a artroplastia primária, 6 a artroplastia de revisão e 4 a segunda revisão de artroplastia (re-revisão). Três pacientes necessitaram de quatro reoperações devido a complicações com a ferida operatória, a lesão do mecanismo extensor e a soltura do componente femoral. Sinais de osteointegração dos cones trabeculados foram

Palavras-chave

- ▶ artroplastia do joelho
- ▶ osteointegração
- ▶ prótese do joelho
- ▶ materiais biocompatíveis

* Trabalho desenvolvido no Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia, Rio de Janeiro, Brasil.

recebido
01 de Abril de 2020
aceito
08 de Julho de 2021
Publicado on-line
Junho 20, 2022

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0041-1739465>.
ISSN 0102-3616.

© 2022. Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. All rights reserved.

This is an open access article published by Thieme under the terms of the Creative Commons Attribution-NonDerivative-NonCommercial-License, permitting copying and reproduction so long as the original work is given appropriate credit. Contents may not be used for commercial purposes, or adapted, remixed, transformed or built upon. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Thieme Revinter Publicações Ltda., Rua do Matoso 170, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20270-135, Brazil

observados em todos os pacientes. Não observamos migração do cone de MT ou dos componentes protéticos.

Conclusão Os cones metafisários de tântalo foram capazes de prover suporte estrutural eficiente aos implantes protéticos com sinais radiográficos de osteointegração em médio prazo.

Abstract

Objective The management of bone loss represents a challenge in revisions of total knee arthroplasty (rTKA) and in complex primary total knee arthroplasties (TKAs). The purpose of the present study was to evaluate the midterm outcomes (5-year minimum follow-up) of knee reconstructions with tantalum trabecular metal (TM) cones on bone defects Anderson Orthopaedics Research Institute (AORI) 2 and 3.

Materials and Methods A retrospective analysis of the medical records of patients operated on between July 2008 and November 2014 was performed, collecting the following data: age, gender, laterality, body mass index, etiology of arthrosis, comorbidities, AORI classification of bone defects, causes for revision, readmissions, reoperations, perioperative and postoperative complications, radiographic signs of osteointegration, and maintenance of the TM support.

Results A total of 11 patients with a mean follow-up time of 7.28 years (standard deviation [SD] = 1.88; range = 5.12–10 years) was evaluated, with 1 patient operated upon for a primary arthroplasty, 6 for revision arthroplasties, and 4 for a second revision arthroplasty (re-revision).

There were complications with the surgical wound, injury to the extensor mechanism and loosening of the femoral component in three of the patients that led to the necessity of four procedures due to complications with the surgical wound, injury to the extensor mechanism and loosening of the femoral component. Radiological signs of osteointegration of the trabecular cones were observed in all patients. We did not observe migration of the TM cones or the prosthetic components in the sample.

Conclusion The tantalum metaphyseal cones were able to provide efficient structural support to prosthetic implants with radiographic signs of osteointegration in the medium term.

Keywords

- ▶ arthroplasty, replacement, knee
- ▶ osteointegration
- ▶ knee prosthesis
- ▶ biocompatible materials

Introdução

O manejo da perda óssea representa um enorme desafio nas revisões de artroplastia total do joelho (RATJs) e também nas artroplastias totais do joelho (ATJs) primárias complexas. A deficiência óssea apresenta, normalmente, etiologia multifatorial, como a evolução do processo da patologia articular, o desenho da prótese antiga, o mecanismo da falha, ou, até mesmo, erros técnicos na cirurgia primária ou dificuldades na remoção de implantes fixos.^{1,2}

Diversas classificações dos defeitos ósseos foram propostas, e a mais utilizada atualmente é a desenvolvida pelo Anderson Orthopaedics Research Institute (AORI, na sigla em inglês). Neste sistema, o defeito é classificado após a remoção do implante. Defeitos do tipo 1 apresentam osso metafisário intacto com pequenas falhas que não comprometem o implante de revisão, defeitos do tipo 2 comprometem o osso metafisário de um (2A) ou de ambos os côndilos femorais ou platôs tibiais (2B), e os do tipo 3 apresentam falha cortical e esponjosa na metáfise, ocasionalmente associada a destacamento dos ligamentos colaterais.³

O manejo adequado dos defeitos depende, entre outros fatores, do tamanho, da localização, da configuração e do acometimento da cortical. Assim sendo, existem diversas opções para o tratamento destas deficiências ósseas, tais como: metilmetacrilato associado a parafusos, aumentos metálicos modulares, enxerto ósseo autólogo, enxerto estrutural homólogo e, mais recentemente, metal trabecular (MT) em forma de cones ou *sleeves* metafisários.²⁻⁵

Apesar da existência destas opções, permanece controverso qual seria a opção ideal para tratamento dos defeitos AORI 2 ou 3.⁴ O enxerto estrutural homólogo, apesar de amplamente utilizado, apresenta significativas desvantagens, tais como: reabsorção óssea, fratura do enxerto, não união do enxerto ao osso do hospedeiro, possibilidade de transmissão de doenças e disponibilidade de limitado quantitativo de banco de tecidos.⁵ Outra importante limitação deste método refere-se ao questionamento quanto à durabilidade de função de suporte em médio e longo prazo.⁶

Assim sendo, os cones de MT de tântalo representam uma opção moderna para tratamento destas grandes falhas ósseas,⁶⁻⁸ haja vista seu maior potencial de fixação biológica

e, assim, de promoção de suporte estrutural e estabilidade mecânica imediata. Diversos estudos demonstraram a efetividade dos cones de tântalo em proporcionar fixação estável, suporte estável e elevado índice de osteointegração, com bons resultados em curto prazo.⁶⁻¹¹ Entretanto, o acompanhamento de longo prazo é necessário para avaliar a durabilidade destas reconstruções.

O objetivo do presente estudo foi avaliar os resultados a médio prazo, com seguimento mínimo de 5 anos, das ATJs primárias complexas e de revisão nas quais cones metafisários de tântalo foram utilizados para o tratamento de grandes defeitos ósseos tibiais e/ou femorais.

Materiais e Métodos

Após a aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CAAE n° 06896019.8.0000.5273), foi realizada uma análise retrospectiva dos prontuários de todos os pacientes submetidos a cirurgia primária ou de revisão de ATJ nos quais foram utilizados cones de MT no período compreendido entre julho de 2008 a novembro de 2014. Não houve limite de idade nem restrição quanto ao gênero dos participantes.

Foram coletados os seguintes dados de todos os pacientes: idade, gênero, lateralidade, índice de massa corporal (IMC), etiologia da artrose, comorbidades, classificação AORI da falha óssea, causa da revisão da ATJ, dados de eventuais reinternações, reoperações, complicações perioperatórias, complicações pós-operatórias e desfecho.

Os defeitos ósseos foram categorizados de acordo com a classificação de AORI pelos três autores seniores do trabalho e, em caso de discordância, foi optada pela classificação da maioria dos autores. Estes autores também realizaram a análise da sequência de radiografias para determinação da ocorrência de osteointegração, assim como da manutenção da função de suporte dos cones de tântalo. O critério para definir a ocorrência de osteointegração dos cones de tântalo foi a existência de reação trabecular na interface metal trabecular-osso hospedeiro, configurada pela presença de esclerose óssea associada à inexistência de linhas de radiolusência. A manutenção da função de suporte foi avaliada por meio de eventual migração dos implantes ou pela presença de linha de radiolusência progressiva.

As análises descritivas para os dados quantitativos foram realizadas, sendo apresentadas as médias, acompanhadas dos respectivos desvios padrão (\pm DP), medianas, valores mínimos e máximos e primeiro e terceiro intervalo interquartil (IQ). As variáveis categóricas foram expressas através de suas frequências e porcentagens. Todas as análises foram realizadas no software IBM SPSS Statistics for Windows, versão 21 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) com nível de significância de $\alpha = 0,05$. Não foi realizado o cálculo da sobrevivência do implante devido ao baixo número de participantes na pesquisa.

Resultados

No período de novembro de 2008 a novembro de 2014, foi utilizado MT para tratamento de grandes defeitos ósseos em 19 cirurgias de artroplastia primária complexa ou de revisão

do joelho. Um paciente evoluiu para óbito devido a complicações clínicas 40 dias após a cirurgia. Outro paciente apresentou fratura periprotética e infecção profunda após a síntese, sendo submetido a amputação 2 anos após a cirurgia inicial. Seis pacientes foram excluídos devido a perda de seguimento. Portanto, 11 pacientes apresentaram

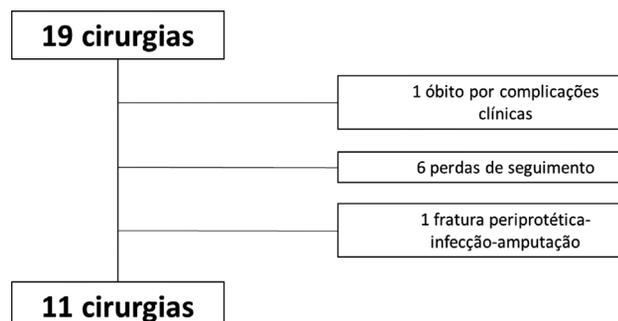


Fig. 1 Número de cirurgias e motivos de exclusão.

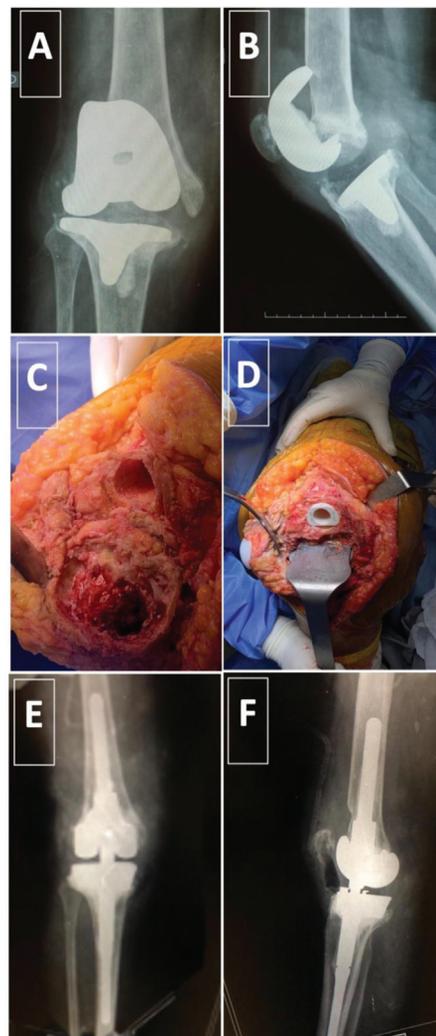


Fig. 2 (A e B) Radiografias em anteroposterior e perfil de soltura asséptica do componente femoral; (C) aspecto intraoperatório da perda óssea; (D) cone femoral de metal trabecular implantado; (E e F) radiografias pós-operatórias.

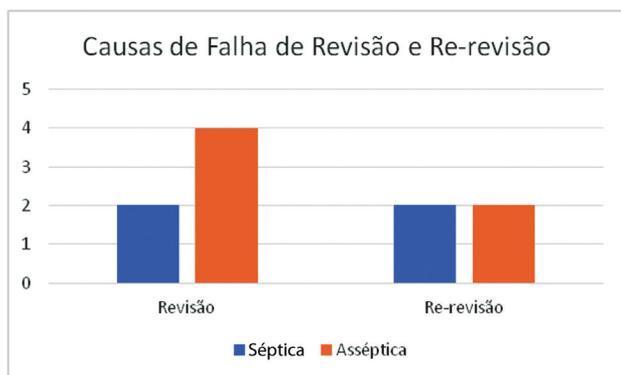


Fig. 3 Distribuição das causas de falha da artroplastia total de joelho que necessitaram cones metafisários de tântalo para tratamento do defeito ósseo.

evolução mínima de 5 anos após a implantação do MT metafisário e tiveram seus dados analisados (►Figuras 1 e 2).

O tempo médio de seguimento do estudo foi de 7,28 anos (DP=1,88; variação=5,12-10 anos). A idade média dos pacientes no procedimento foi de 67,54 anos (DP=10,74 anos; variação=45-86 anos). Destes pacientes, 8 eram do sexo feminino (72,72%) e 3 do sexo masculino (27,27%). O IMC médio foi de 29,78 kg/m² (DP=6,36; variação=22,76-43,41 kg/m²). A mediana do tempo de internação foi de 6 dias (IQ=4,50-7,50). A distribuição do escore de comorbidade de Charlson variou de 0 a 5, sendo que a maioria dos pacientes apresentou índice de Charlson 2.

Quatro procedimentos foram realizados no joelho direito e sete no esquerdo. Um paciente portador artropatia neuropática de Charcot foi submetido a ATJ primária (9,09%). Outros 6 pacientes foram submetidos a artroplastia de revisão (54,55%), e segunda revisão (re-revisão) de artroplastia foi realizada em 4 casos (36,26%). A ►Figura 3 demonstra a distribuição entre falhas sépticas e assépticas das causas de revisão de ATJ e de re-revisão de ATJ. A ►Tabela 1 demonstra as causas das falhas assépticas.

Quanto às vias cirúrgicas, a cirurgia foi realizada por acesso convencional em 9 cirurgias (81,81%) e por acesso estendido em 2 cirurgias. O acesso de Coonse-Adams foi utilizado em um caso de re-revisão asséptica, enquanto a osteotomia da tuberosidade anterior da tíbia (TAT) foi a escolha em uma cirurgia de revisão asséptica.

Em oito pacientes, foram utilizados implantes constritos (Rotating Hinge Knee – Zimmer Biomet, Warsaw, IN, EUA), e em três pacientes foram utilizados implantes semiconstritos (Legacy Constrained Condilar Knee – Zimmer Biomet, War-

Tabela 1 Causas das falhas assépticas

	Revisão	Re-Revisão
Dor	1	0
Instabilidade	1	1
Soltura asséptica	2	1
	4	2

Tabela 2 Classificação dos defeitos manejados com cones de metal trabecular

	Tíbia	Fêmur
1	0	0
2a	1	0
2b	6	0
3	3	2
	10	2

saw, IN, EUA ou Total Condylar 3–DePuy Synthes, West Chester, PA, EUA).

Cone metafisário de tântalo foi implantado na tíbia em 10 pacientes, enquanto cones femorais foram necessários em 2 pacientes, sendo que em 1 paciente foi utilizado metal trabecular no fêmur e na tíbia. A ►Tabela 2 demonstra a classificação do defeito ósseo. O paciente que necessitou de cone de tântalo no fêmur e na tíbia apresentou defeito AORI 3 no fêmur e 2b na tíbia (►Figura 4).

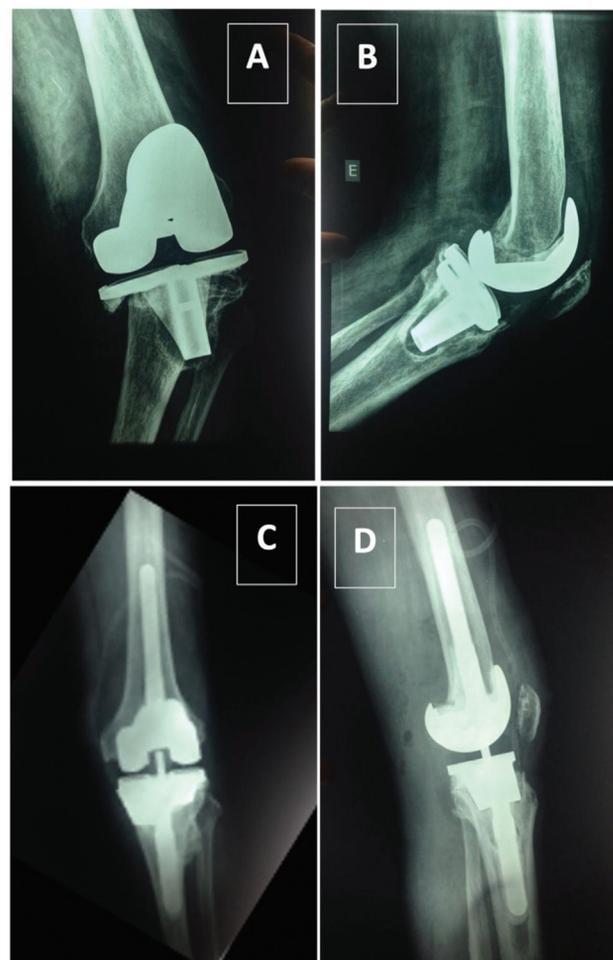


Fig. 4 (A e B) Radiografias pré-operatórias demonstrando falha de prótese do joelho com defeito tibial medial devido a afundamento do componente; (C e D) radiografias pós-operatórias demonstrando tratamento do defeito ósseo com cone metafisário tibial.

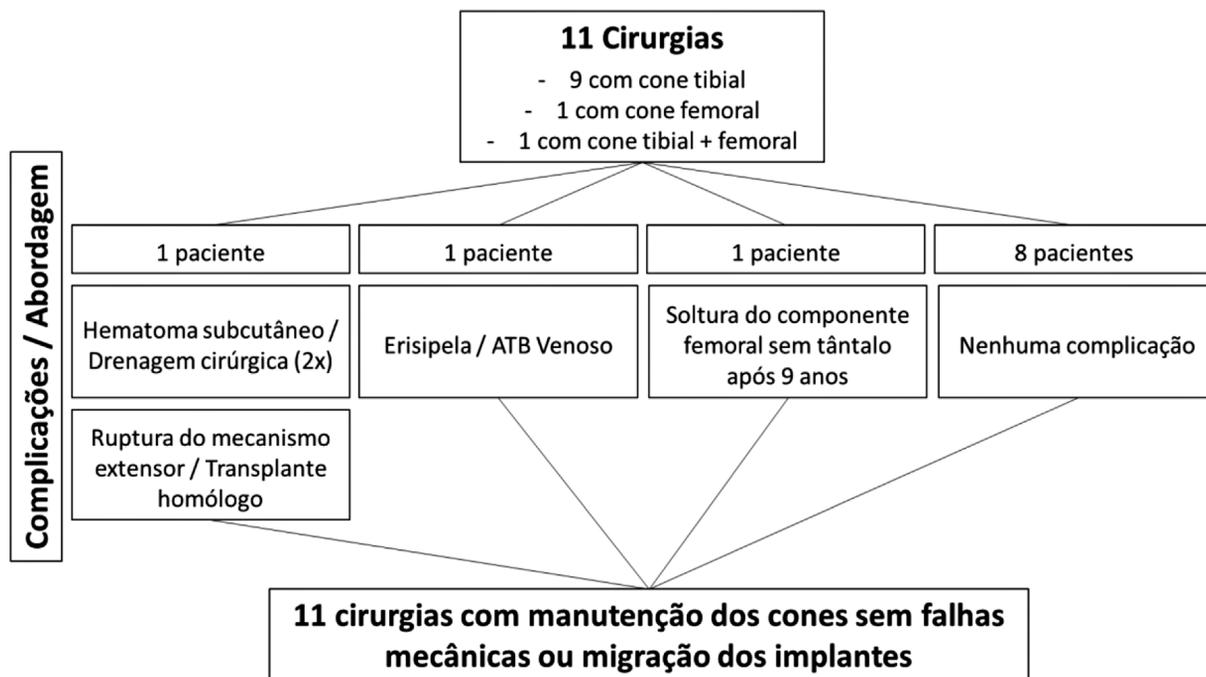


Fig. 5 Evolução e complicações dos pacientes submetidos a cirurgia com utilização de cones de metal trabecular.

A análise dos exames radiográficos sequenciais evidenciou que todos os 11 pacientes apresentaram sinais de osteointegração do implante. Não observamos em nenhum paciente perda ou migração do cone de metal trabecular ou dos componentes protéticos e não foram observados sinais de osteólise nos casos avaliados.

Dois pacientes apresentaram complicações precoces, sendo que um deles evoluiu com hematoma subcutâneo que necessitou de dois curativos no centro cirúrgico para drenagem, o primeiro 4 dias após a cirurgia e o segundo 15 dias após a cirurgia. O segundo paciente evoluiu com erisipela no membro inferior operado 20 dias após a cirurgia, necessitando de internação para antibioticoterapia e evoluindo com resolução do quadro. Durante o período do estudo, não verificamos a ocorrência de complicações ou de reoperações relacionadas diretamente ao uso do cone de tântalo.

Durante o período de seguimento, dois pacientes necessitaram de reoperações, totalizando quatro cirurgias. Um deles, já citado anteriormente pela drenagem de hematoma em duas abordagens, foi submetido a transplante de mecanismo extensor em decorrência de osteonecrose e fragmentação da patela nativa após 4 anos de evolução. O segundo paciente não apresentava cone femoral de tântalo e evoluiu com soltura associada a afundamento do componente femoral após 9 anos da cirurgia inicial, sendo submetido à revisão somente do componente femoral. Durante a avaliação intraoperatória, o tântalo tibial encontrava-se fixo e com sinais osteointegração (– Figura 5).

Discussão

O tratamento ideal dos grandes defeitos ósseos em artroplastia primárias complexas ou de revisão do joelho permanece indefinido. Mais recentemente, cones de MT de tântalo demons-

traram resultados promissores em avaliação de curto prazo para o tratamento destas falhas ósseas. Entretanto, a duração da capacidade de suporte, assim como os resultados clínicos no médio e longo prazo, necessitam de evidências.¹²⁻¹⁹ Nosso principal resultado foi demonstrar a inexistência de falhas mecânicas e migração dos componentes protéticos com a utilização de cones metafisários em avaliação de médio prazo.

Embora os resultados clínicos de curto prazo com cones de tântalo sejam favoráveis,^{6-9,11,20-23} existem poucos estudos avaliando os resultados de médio prazo.²⁴⁻²⁶ O tântalo é um metal de transição que permanece relativamente inerte in vivo. É uma estrutura de células-abertas em dodecaedros em sequência, simulando, portanto, a microestrutura do osso esponjoso. Portanto, é bastante atrativo como biomaterial devido à sua baixa rigidez, alta porosidade, alto coeficiente de fricção, além de servir como estrutura para atividade osteoblástica. Em geral, o crescimento ósseo nos poros ocorre em média 13% em 2 semanas, 53% em 4 semanas e até 80% em 1 ano, sendo possível verificar evidências de osteointegração nas radiografias em um período médio de 36 meses.²⁷ O baixo módulo de elasticidade, semelhante ao osso cortical e esponjoso, reduz a reabsorção óssea na periferia do implante por distribuição inadequada de carga, favorecendo a manutenção da densidade mineral óssea ao redor do implante. Esta é uma vantagem, considerando a necessidade frequente de alto nível de constrição em artroplastias de revisão e ATJs primárias complexas.²⁸ Em nosso estudo, foram utilizados implantes semiconstritos em três pacientes e constritos em oito pacientes.

Além disso, o alto coeficiente de fricção proporciona uma estabilidade mecânica imediata; portanto, a impacção dos cones no osso metafisário oferece forte suporte mecânico instantâneo que permite controlar as forças rotacionais dos implantes, protegendo a fixação e auxiliando o crescimento

ósseo do hospedeiro. A transferência de estresse adequado também permite o uso de hastes mais curtas.^{25,28} Outras características importantes são a baixa citotoxicidade e a capacidade de ativação leucocitária, tornando-o um dos materiais mais biocompatíveis até o momento, com benefícios inclusive nas revisões sépticas.^{25,29}

No presente estudo, 3 pacientes (36,36%) necessitaram de 4 reoperações devido a complicações com a ferida operatória, o mecanismo extensor e a soltura do componente femoral. Esta taxa é superior à encontrada na metanálise realizada por Divano et al.,³⁰ que ao analisar 19 estudos demonstrou uma taxa média de reoperações de 16,19%; contudo, as reoperações no nosso estudo não foram relacionadas diretamente às complicações do cone metafisário. Entretanto, a maioria dos estudos dessa metanálise apresentou resultados precoces do uso dos cones de tântalo, com seguimento médio de 3,65 anos. Nossas taxas aproximam-se do das do estudo com seguimento maior como o apresentado por Kamath et al.,²⁵ que avaliaram, durante 70 meses, 63 pacientes que foram tratados com cones tibiais em revisões de ATJ e apresentaram 24% de reoperações. De modo similar, nossa taxa também se aproxima da taxa de sobrevida de reoperações encontrada por Potter et al.,²⁴ de 70% em 5 anos.

Em nossa amostragem, todos os pacientes apresentaram sinais de osteointegração na última radiografia do seguimento. Estes resultados estão em concordância com outros estudos^{6-9,11,20-22} que avaliaram um total de 285 cones em 242 joelhos submetidos a revisão de ATJ e que demonstraram que em somente 2 joelhos (0,7%) não existiam sinais radiográficos de crescimento ósseo.

O presente estudo apresenta limitações, muitas das quais inerentes à pesquisa retrospectiva. Reconhecemos a subjetividade que a análise radiográfica apresenta, particularmente aquela realizada retrospectivamente, e tentamos mitigar esta imprecisão por meio do parecer de 3 cirurgiões com experiência de 13, 20 e 37 anos em cirurgia do joelho. Outro fator importante é que a população estudada é formada caracteristicamente de idosos, sendo possíveis, eventualmente, algumas perdas de seguimento por óbito. Além disso, o grupo de pacientes é relativamente pequeno, porém similar a estudos prévios.^{6-9,11,20-23} Desta forma, em séries com limitado número de pacientes, é impossível detectar complicações incomuns e eventos de baixa frequência que podem ser clinicamente importantes. Não obstante, este é um dos poucos trabalhos no Brasil que descreve os resultados do tratamento de grandes defeitos ósseos com cones metafisários de tântalo.

Conclusões

No nosso estudo, os cones metafisários de tântalo foram capazes de prover suporte estrutural eficiente aos implantes protéticos com sinais radiográficos de osteointegração em médio prazo. Assim, a utilização de cones de metal trabecular representa uma opção atraente para o tratamento de grandes defeitos ósseos em artroplastias primárias complexas e em revisões de ATJs. Contudo, ainda são necessários estudos,

preferencialmente prospectivos, com maior número de casos e maior tempo de seguimento.

Fonte de Financiamento

Sem suporte financeiro.

Conflito de Interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

- Whittaker JP, Dharmarajan R, Toms AD. The management of bone loss in revision total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br* 2008; 90(08):981-987
- Panegrossi G, Ceretti M, Papalia M, Casella F, Favetti F, Falez F. Bone loss management in total knee revision surgery. *Int Orthop* 2014; 38(02):419-427
- McAuley JP, Engh GA. Constraint in total knee arthroplasty: when and what? *J Arthroplasty* 2003;18(03, Suppl 1):51-54
- Bush JL, Wilson JB, Vail TP. Management of bone loss in revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 2006;452(452): 186-192
- Dennis DA. The structural allograft composite in revision total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2002;17(04, Suppl 1):90-93
- Lachiewicz PF, Bolognesi MP, Henderson RA, Soileau ES, Vail TP. Can tantalum cones provide fixation in complex revision knee arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res* 2012;470(01): 199-204
- Jensen CL, Winther N, Schröder HM, Petersen MM. Outcome of revision total knee arthroplasty with the use of trabecular metal cone for reconstruction of severe bone loss at the proximal tibia. *Knee* 2014;21(06):1233-1237
- Long WJ, Scuderi GR. Porous tantalum cones for large metaphyseal tibial defects in revision total knee arthroplasty: a minimum 2-year follow-up. *J Arthroplasty* 2009;24(07):1086-1092
- Rao BM, Kamal TT, Vafaye J, Moss M. Tantalum cones for major osteolysis in revision knee replacement. *Bone Joint J* 2013;95-B (08):1069-1074
- Mozzella AdeP, Olivero RR, Alexandre H, Cobra AB. Use of a trabecular metal cone made of tantalum, to treat bone defects during revision knee arthroplasty. *Rev Bras Ortop* 2014;49(03): 245-251
- Derome P, Sternheim A, Backstein D, Malo M. Treatment of large bone defects with trabecular metal cones in revision total knee arthroplasty: short term clinical and radiographic outcomes. *J Arthroplasty* 2014;29(01):122-126
- Lonner JH, Lotke PA, Kim J, Nelson C. Impaction grafting and wire mesh for uncontained defects in revision knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 2002;(404):145-151
- Toms AD, Barker RL, Jones RS, Kuiper JH. Impaction bone-grafting in revision joint replacement surgery. *J Bone Joint Surg Am* 2004; 86(09):2050-2060
- Clatworthy MG, Ballance J, Brick GW, Chandler HP, Gross AE. The use of structural allograft for uncontained defects in revision total knee arthroplasty. A minimum five-year review. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83(03):404-411
- Engh GA, Ammeen DJ. Use of structural allograft in revision total knee arthroplasty in knees with severe tibial bone loss. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89(12):2640-2647
- Berend KR, Lombardi AV Jr. Distal femoral replacement in nontumor cases with severe bone loss and instability. *Clin Orthop Relat Res* 2009;467(02):485-492
- Bauman RD, Lewallen DG, Hanssen AD. Limitations of structural allograft in revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 2009;467(03):818-824

- 18 Chun CH, Kim JW, Kim SH, Kim BG, Chun KC, Kim KM. Clinical and radiological results of femoral head structural allograft for severe bone defects in revision TKA—a minimum 8-year follow-up. *Knee* 2014;21(02):420–423
- 19 Pour AE, Parvizi J, Slenker N, Purtill JJ, Sharkey PF. Rotating hinged total knee replacement: use with caution. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89(08):1735–1741
- 20 Meneghini RM, Lewallen DG, Hanssen AD. Use of porous tantalum metaphyseal cones for severe tibial bone loss during revision total knee replacement. *J Bone Joint Surg Am* 2008;90(01):78–84
- 21 Howard JL, Kudera J, Lewallen DG, Hanssen AD. Early results of the use of tantalum femoral cones for revision total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2011;93(05):478–484
- 22 Radnay CS, Scuderi GR. Management of bone loss: augments, cones, offset stems. *Clin Orthop Relat Res* 2006;446(446):83–92
- 23 Villanueva-Martínez M, De la Torre-Escudero B, Rojo-Manaute JM, Ríos-Luna A, Chana-Rodríguez F. Tantalum cones in revision total knee arthroplasty. A promising short-term result with 29 cones in 21 patients. *J Arthroplasty* 2013;28(06):988–993
- 24 Potter GD III, Abdel MP, Lewallen DG, Hanssen AD. Midterm Results of Porous Tantalum Femoral Cones in Revision Total Knee Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2016;98(15):1286–1291
- 25 Kamath AF, Lewallen DG, Hanssen AD. Porous tantalum metaphyseal cones for severe tibial bone loss in revision knee arthroplasty: a five to nine-year follow-up. *J Bone Joint Surg Am* 2015;97(03):216–223
- 26 De Martino I, De Santis V, Sculco PK, D'Apolito R, Assini JB, Gasparini G. Tantalum Cones Provide Durable Mid-term Fixation in Revision TKA. *Clin Orthop Relat Res* 2015;473(10):3176–3182
- 27 Bobyn JD, Stackpool GJ, Hacking SA, Tanzer M, Krygier JJ. Characteristics of bone ingrowth and interface mechanics of a new porous tantalum biomaterial. *J Bone Joint Surg Br* 1999;81(05):907–914
- 28 Bonanzinga T, Gehrke T, Zahar A, Zaffagnini S, Marcacci M, Haasper C. Are trabecular metal cones a valid option to treat metaphyseal bone defects in complex primary and revision knee arthroplasty? *Joints* 2017;6(01):58–64
- 29 Liu Y, Bao C, Wismeijer D, Wu G. The physicochemical/biological properties of porous tantalum and the potential surface modification techniques to improve its clinical application in dental implantology. *Mater Sci Eng C* 2015;49:323–329
- 30 Divano S, Cavagnaro L, Zanirato A, Basso M, Felli L, Formica M. Porous metal cones: gold standard for massive bone loss in complex revision knee arthroplasty? A systematic review of current literature. *Arch Orthop Trauma Surg* 2018;138(06):851–863