



ELSEVIER



## Artigo Original

# Uso de cone de metal trabecular tântalo para tratamento de defeitos ósseos na artroplastia de revisão do joelho<sup>☆</sup>

Alan de Paula Mozella\*, Ricardo Reiniger Olivero  
e Hugo Alexandre de Araújo Barros Cobra

Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

### INFORMAÇÕES SOBRE O ARTIGO

#### Histórico do artigo:

Recebido em 7 de dezembro de 2012

Aceito em 12 de julho de 2013

On-line em 12 de março de 2014

#### Palavras-chave:

Artroplastia do joelho

Próteses e implantes

Tântalo

Osteointegração

#### Keywords:

Knee arthroplasty

Prostheses and implants

Tantalum

Osseointegration

### R E S U M O

**Objetivos:** avaliar a técnica cirúrgica e determinar os resultados iniciais, com seguimento mínimo de dois anos, das revisões de artroplastia total do joelho nas quais cones de metal trabecular tântalo foram empregados pelo Centro de Cirurgia do Joelho do Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia (Into) ou na clínica privada dos autores de julho de 2008 a dezembro 2010.

**Métodos:** foram incluídos no estudo 10 pacientes, prospectivamente em avaliação clínica e radiográfica.

**Resultados:** sete pacientes apresentaram evolução sem complicações relacionadas ao uso de cones de tântalo, cinco negam dor e todos deambulam sem necessidade de muletas. Em todos os casos, verificamos osteointegração dos cones de tântalo e não foi observada migração ou soltura de implantes, assim como osteólise.

**Conclusão:** o uso de cones de metal trabecular tântalo para tratamento de defeitos ósseos tipo II ou III Aori apresenta-se capaz de prover suporte estrutural eficiente aos implantes protéticos de revisão em avaliação de curto seguimento.

© 2013 Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Todos os direitos reservados.

### Use of a trabecular metal cone made of tantalum, to treat bone defects during revision knee arthroplasty

#### A B S T R A C T

**Objectives:** the aim of this study was to evaluate the surgical technique and determine the initial results, with a minimum follow-up of two years, from total knee arthroplasty revisions in which trabecular metal cones made of tantalum were used at the Knee Surgery Center of the National Institute of Traumatology and Orthopedics (INTO) or at the authors' private clinic between July 2008 and December 2010.

**Methods:** ten patients were included in the study prospectively, through clinical and radiographic evaluations.

**Results:** seven patients presented evolution without complications relating to the tantalum cones used. Five of these patients said that they did not have any pain and all of them were

<sup>☆</sup> Trabalho desenvolvido no Centro de Cirurgia do Joelho do Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

\* Author para correspondência.

E-mail: apmozella@terra.com.br (A.d.P. Mozella).

able to walk without needing crutches. In all the cases, we observed that osseointegration of the tantalum cones had occurred. No migration or loosening of the implants was observed, nor was osteolysis.

**Conclusion:** use of trabecular metal cones made of tantalum for treating AORI type II or II bone defects was capable of providing efficient structural support to the prosthetic revision implants, in evaluations with a short follow-up.

© 2013 Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. Published by Elsevier Editora Ltda. All rights reserved.

## Introdução

Desde o fim da década de 1980 observa-se elevação de até 10% ao ano no número de artroplastias de joelho feitas nos Estados Unidos.<sup>1</sup> Entre 1990 e 2002, o número de cirurgias primárias por 100 mil habitantes naquele país triplicou.<sup>1</sup> A elevação da expectativa de vida e o maior número de cirurgias primárias feitas motivaram, conseqüentemente, maior quantidade de cirurgias de revisão.

Em 2002, mais de 350 mil próteses de joelho foram implantadas nos EUA.<sup>2</sup> No mesmo ano, o número de procedimentos de revisão aumentou em 7,5%.<sup>2</sup> Kurtz et al.<sup>3</sup> estimaram a elevação do número de cirurgias de revisões para 2030 em 600%.

O manejo da perda óssea no cenário da artroplastia de revisão do joelho representa enorme desafio. O defeito ósseo pode ser resultado da doença inicial, do desenho da prótese primária usada, do mecanismo de falha, de erros técnicos na cirurgia primária ou da dificuldade na retirada de implantes fixos.<sup>4,5</sup>

A correção da deficiência óssea torna-se necessária para a obtenção de interface osso-implante estável, o que permite correto alinhamento dos componentes, manutenção de adequada altura da interlinha articular e balanço ligamentar. É, portanto, determinante no resultado clínico.<sup>4-6</sup>

Defeitos ósseos podem ser manejados por preenchimento com metilmetacrilato, enxerto ósseo esponjoso autólogo, fragmentos de enxerto estrutural autólogo, aumentos modulares metálicos ou componentes de polietileno mais espessos. Todavia, o correto tratamento de grandes defeitos permanece indefinido e podem ser usados enxertos estruturais homólogos, enxertos esponjosos impactados ou prótese não convencional.<sup>7-10</sup>

Diversos estudos que usaram enxertos estruturais homólogos no manejo das falhas ósseas durante cirurgias de revisão demonstram índice de não união de até 4%, risco de infecção com variação de 4% a 8% e de falha entre 8% e 23%.<sup>11-14</sup> Desse modo, questiona-se a capacidade de enxertos estruturais manterem função de suporte de forma efetiva por longo prazo.

Aumentos de metal trabecular tântalo, em diversos formatos de cones, representam, atualmente, opção ao manejo de falhas ósseas em revisões complexas de ATJ e são opção ao uso de enxerto estrutural de Banco de Tecidos Musculoesqueléticos.

O objetivo deste estudo foi avaliar os resultados iniciais, com seguimento mínimo de dois anos, das revisões de artroplastia total do joelho em que cones de metal trabecular tântalo foram usados para tratamento de grandes defeitos ósseos tibiais ou femorais.

## Material e métodos

Foram incluídos no estudo pacientes submetidos à cirurgia de revisão de artroplastia total de joelho de julho de 2008 a dezembro 2010, nos quais foi necessário o uso de cones de metal trabecular para adequado tratamento dos defeitos ósseos.

As cirurgias foram feitas no Centro de Cirurgia do Joelho do Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia (Into) e na clínica privada dos autores. Foram excluídos dessa série todos os pacientes submetidos à cirurgia de revisão de ATJ nos quais os defeitos ósseos encontrados foram tratados por outros métodos, como cunhas metálicas ou enxertos homólogos, ou, ainda, aqueles em que os cones de tântalo foram empregados associados a enxerto estrutural.

Os pacientes foram acompanhados prospectivamente em avaliação clínica e radiográfica no período pós-operatório com 15 dias, um mês, três meses, seis meses, um ano e, após esse período, em consultas anuais.

Avaliação radiográfica foi feita pela comparação de radiografias em anteroposterior com carga e perfil do joelho no pós-operatório imediato e nas avaliações subsequentes. A existência de reação trabecular na interface metal trabecular do osso hospedeiro, avaliada por radiografias sequenciais, configurada pela presença de esclerose óssea associada à inexistência de linhas de radiolusência, foi o critério para definir a ocorrência de osteointegração dos cones de tântalo.

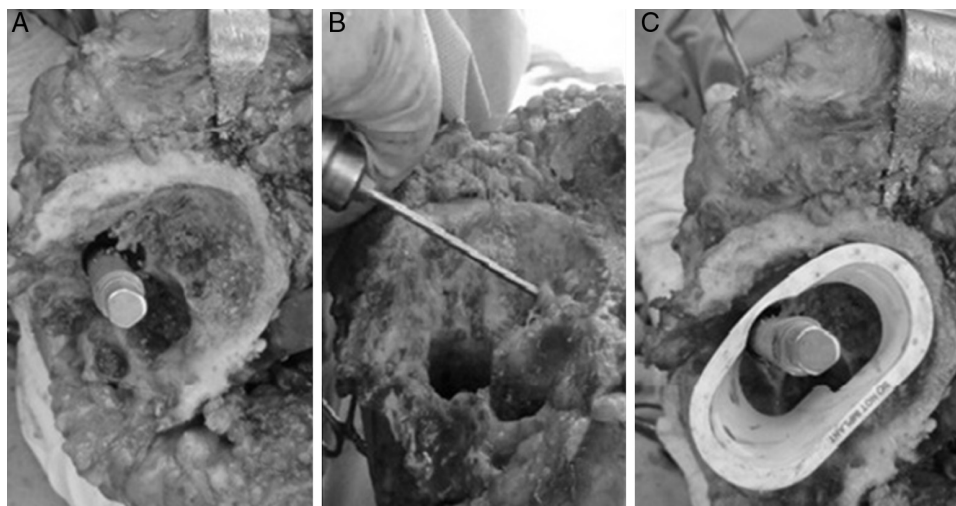
Foram usados, durante observação radiográfica, critérios do sistema de avaliação e escore da Knee Society<sup>15</sup> para determinação de solturas ou migração de componentes protéticos ou de cones trabeculares.

O estudo foi submetido à avaliação e aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto Nacional de Traumatologia e Ortopedia e feito pelo Centro de Cirurgia do Joelho desse Instituto.

### Cones de metal trabecular tântalo

Metal trabecular tântalo (Trabecular Metal, Zimmer, Warsaw, Indiana) representa um material biocompatível, que apresenta baixo módulo de elasticidade, alta porosidade e excelente potencial biológico de fixação. Tais características possibilitam distribuição uniforme de carga, o que, em tese, reduz a ocorrência do fenômeno conhecido como *stress shielding*.<sup>16</sup>

Diversos trabalhos histológicos demonstram baixo potencial de aderência bacteriana e aumento da ativação leucocitária quando comparados com materiais habitualmente usados em ortopedia.<sup>17,18</sup>



**Figura 1 – (A) Defeito tibial, (B) debridamento com broca tipo bur, (C) teste do cone de tântalo.**

A capacidade de fixação biológica possibilita ao metal trabecular atuar como substrato para crescimento ósseo, com migração de osteoblastos hospedeiros para as lacunas do metal e, conseqüentemente, reposição do estoque ósseo.

Em virtude dessas vantagens potenciais, é notório o interesse crescente no uso desse metal nas cirurgias de reconstrução articular.

Os cones foram desenvolvidos em diversos tamanhos e formatos, para possibilitar o preenchimento de grande variedade de defeitos femorais distais ou tibiais proximais, localizados no centro da metáfise ou associados à deficiência óssea cortical.

Esses cones devem ser impactados nos defeitos ósseos, possibilitar osteointegração desses ao osso hospedeiro e permitir, concomitantemente, o uso de componentes protéticos de revisão com hastes intramedulares.

#### **Técnica cirúrgica**

O acesso cirúrgico foi feito conforme técnicas tradicionais comumente usadas na cirurgia de revisão.

Técnica padrão para retirada dos componentes protéticos ou de espaçadores foi, inicialmente, empregada. Após debridamento, os defeitos ósseos encontrados foram classificados com o uso do sistema Anderson Orthopaedics Research Institute (Aori).<sup>19</sup> Abordou-se separadamente fêmur e tibia, da seguinte forma: tipo 1 – apresenta osso metafisário íntegro com pequenos defeitos que não comprometem a estabilidade do implante de revisão; tipo 2 – perda de osso esponjoso em região metafisária, que pode ocorrer em um (A) ou nos dois (B) côndilos, femoral ou tibial; tipo 3 – osso metafisário deficiente, ocasionalmente associado a destacamento dos ligamentos colaterais.

A classificação da falha óssea, assim como a quantidade e a localização de osso cortical e esponjoso remanescente, foi considerada na decisão para manejo do defeito ósseo com uso de cone de metal trabecular. Em todos os pacientes o defeito foi classificado como tipo 2 ou superior.

Foram empregados guias intramedulares tibial e femoral para obtenção de correto alinhamento dos componentes protéticos e feitura dos cortes ósseos, conforme técnica padrão. Balanço ligamentar foi obtido conforme os conceitos em voga.

Os defeitos encontrados foram adequadamente preenchidos com testes de diversos formatos e tamanhos representativos dos cones de metal trabecular disponíveis. Proeminências ósseas que impossibilitavam a impacção ou manutenção dos cones trabeculares em posição estável foram debridados com o uso de broca tipo bur, com o objetivo de alcançar a maior estabilidade e o maior contato ósseo possível (figura 1A-C).

A rotação dos cones de tântalo foi determinada pela localização, pelo formato e pelo tamanho dos defeitos ósseos. A estabilidade rotacional do cone trabecular foi avaliada por manipulação do cirurgião após impacção desse implante.

A rotação dos componentes protéticos definitivos foi orientada pelos parâmetros da técnica padrão, e não pela localização e pela rotação dos cones trabeculares.

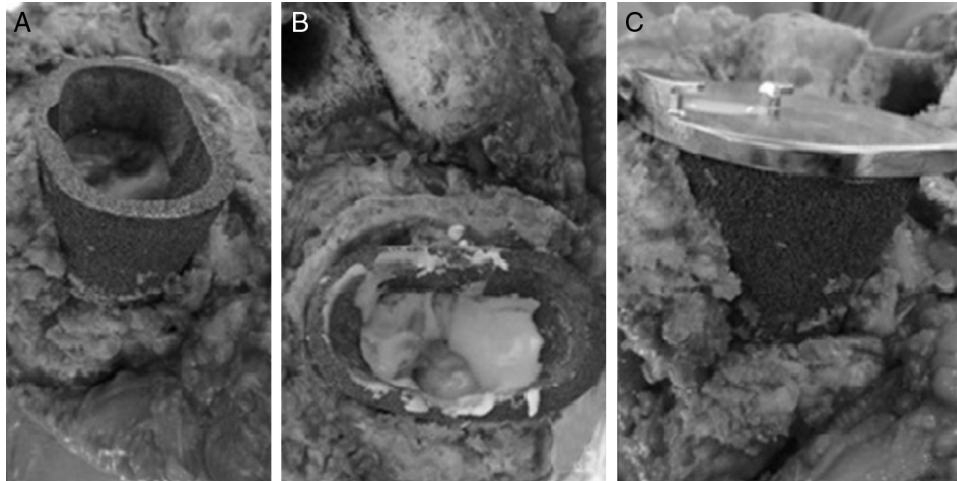
Áreas existentes entre a superfície externa do cone de tântalo e o osso hospedeiro foram enxertadas com osso autólogo proveniente dos cortes feitos. A superfície interna dos cones trabeculares reconstituiu a região metafisária proximal da tibia ou distal do fêmur e atuou como superfície para cimentação dos componentes protéticos definitivos com o uso de hastes intramedulares (figura 2A-C).

No período pós-operatório imediato, o ganho de arco de movimento completo foi estimulado e a carga foi permitida conforme tolerado.

## **Resultados**

### **Dados demográficos**

Foram incluídos neste estudo 10 pacientes submetidos à cirurgia de revisão de artroplastia total de joelho com uso de cone de metal trabecular tântalo. Três eram do sexo masculino e sete, do feminino. A média de idade foi de 71,1 anos, com variação entre 59 e 80. A cirurgia foi feita no lado direito em



**Figura 2 – (A) Cone de tântalo em tíbia proximal com enxertia autóloga em superfície externa, (B) cimentação no interior, (C) com implantação do componente tibial.**

três vezes e do esquerdo em sete. Um paciente foi perdido do acompanhamento pós-operatório por morte não relacionada à cirurgia um ano após a revisão; em sua última avaliação de seguimento, não apresentava complicações e mantinha boa função articular. O tempo médio de acompanhamento pós-operatório foi de 34,7 meses, com variação de 26 a 45 meses.

Em oito pacientes, o cone de metal trabecular foi usado na primeira revisão e as causas de falha foram: infecção em dois casos, mau alinhamento e afundamento em varo em dois, osteólise em dois, desgaste do polietileno em um e soltura asséptica em outro.

Em um paciente, o aumento de tântalo foi usado no segundo procedimento de revisão de ATJ. A artroplastia primária falhou com afundamento do componente tibial em varo. Foi, nesse momento, feita revisão com uso de cunha de aumento metálico convencional. Após 10 dias, sofreu queda da própria altura, evoluiu com exposição da prótese, que resultou em infecção tratada com revisão em dois tempos. Foi, então, usado cone de tântalo.

Em outro caso, o cone foi usado na terceira revisão. Não identificamos a causa das duas primeiras revisões. A terceira foi feita por mau alinhamento e instabilidade.

#### Dados cirúrgicos

No lado femoral, em três casos foram usados cones trabeculares; o defeito ósseo foi classificado como F2B em dois casos e F3 em um. A causa de falha foi mau alinhamento em dois casos e osteólise em um. Em um caso, o implante de revisão usado foi o TC III (Depuy Synthes®), que necessitou de haste femoral 18x175 mm cimentada e de aumentos metálicos distais de 12 mm e posteriores de 4 mm. O cone trabecular usado nesse caso foi o médio, de 40 mm de altura. Nos outros casos, o implante usado foi o Rotating Hinge Knee (Zimmer®) e foi implantada haste 10x145 mm cimentada e 15x145 mm. Em ambos os casos, usaram-se cunhas de aumento metálico distal de 10 mm. Os cones trabeculares usados nesses casos foram de tamanho médio.

No lado tibial, em nove casos, foram usados cones trabeculares de tântalo. Os defeitos encontrados foram assim classificados: T2A, T2B e T3, em três casos cada.

Em cinco pacientes foram usados implantes semiconstritos LCCK (Zimmer®), em dois, implantes semiconstritos TC III (Depuy Synthes®) e em mais dois, implantes constritos tipo dobradiça (Rotating Hinge Knee, Zimmer®).

Em todos os componentes tibiais foi usada haste intramedular cimentada e não foram usadas cunhas metálicas de aumento. O cimento usado nas cirurgias de revisão, em todos os casos, foi o Simplex, com adição de 2 g de vancomicina por dose de metilmetacrilato.

A espessura do polietileno variou de 10 a 22,5 mm. A patela foi revisada em seis casos e nos outros quatro foi mantido o implante patelar original.

#### Resultados clínicos e reoperações

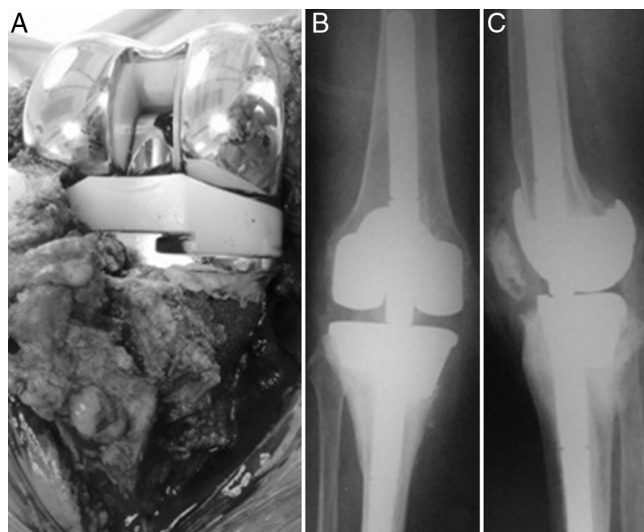
Um paciente faleceu aos 12 meses de pós-operatório de causas não relacionadas à cirurgia de revisão.

Ocorreu uma reoperação para drenagem de hematoma volumoso no primeiro mês de pós-operatório em um caso.

Um paciente apresentou recorrência da infecção após nova intervenção cirúrgica para tratamento de lesão do mecanismo extensor ocorrida durante queda da própria altura no primeiro mês após segunda revisão de ATJ. Esse paciente foi submetido à retirada dos componentes protéticos e à artrodese do joelho e obteve critérios de cura da infecção.

Dois pacientes apresentaram fratura periprotética no fêmur. O primeiro havia recebido cone de metal trabecular em defeito femoral e tibial e fora implantada prótese constrita do tipo dobradiça um mês antes. Foi submetido à osteossíntese e à enxertia homóloga, evoluiu com soltura da síntese e houve necessidade de nova abordagem cirúrgica. Evoluiu, então, com infecção de difícil controle clínico associada à perda do mecanismo extensor e necessitou-se amputar o membro.

O segundo havia sido submetido à revisão com uso de tântalo em defeito tibial 14 meses antes. Durante queda da própria altura, apresentou fratura periprotética femoral sem



**Figura 3 – (A) Implante final com cone de tântalo, (B e C) Rx pós-operatório.**

soltura dos componentes e sinais de osteointegração do cone de metal trabecular. Foi submetido à osteossíntese e à enxertia óssea homóloga de duas réguas femorais de Banco de Tecidos e evoluiu para consolidação.

Dessa forma, sete pacientes apresentavam seguimento clínico mínimo de 24 meses. A flexão média foi de 95°, com variação de 85° a 115°. Em seis casos, observava-se extensão completa e em um paciente, déficit de extensão ativa de 10°.

Seis pacientes apresentavam estabilidade varo-valgo em extensão e estabilidade anteroposterior durante avaliação em 90° de flexão. Em um paciente, após 24 meses de evolução de implante semiconstrito e cone de tântalo na tibia, observamos evolução de insuficiência de estruturas mediais, o que acarretou instabilidade. Foi, portanto, indicada revisão para implante constrito.

Em um paciente observamos necrose de patela e subluxação. Contudo, evoluiu com limitação do fim de extensão ativa, porém sem limitação para as atividades da vida diária. Os demais pacientes não apresentaram complicações patelofemorais. Cinco desses pacientes negam dor e todos deambulam sem necessidade de muletas.

### Resultados radiográficos

A comparação de exames radiográficos sequenciais evidenciou reação óssea trabecular na interface osso hospedeiro-metal trabecular e inexistência de linhas de radiolucência entre cone e osso hospedeiro nesses sete pacientes, o que configurou sinais de osteointegração do implante.

Em nenhum paciente observamos perda ou migração do cone de metal trabecular ou de componentes protéticos. Não foram observados sinais de osteólise nos casos avaliados. Durante acompanhamento radiográfico de nossa amostra, não identificamos, até o presente, linhas de radiolucência que configurassem soltura dos implantes (figura 3).

### Discussão

O manejo do defeito ósseo durante a revisão de artroplastia total de joelho é determinante no resultado clínico final, haja vista que possibilita a obtenção de interface osso-implante estável e permite correto alinhamento do membro, manutenção de adequada altura da interlinha articular e balanço ligamentar. A melhor técnica de tratamento de grandes defeitos ósseos permanece, até os dias atuais, não definida.<sup>7-10</sup>

Estudos disponíveis que avaliam a segurança e a efetividade do uso de enxertos homólogos estruturais de Banco de Tecidos Osteo-Muscular durante cirurgias de revisão apresentam limitado número de casos e carecem de acompanhamento pós-operatório de longo prazo.<sup>20-22</sup>

Hockman et al.,<sup>20</sup> que avaliaram 65 cirurgias de revisão com deficiência óssea e acompanhamento pós-operatório mínimo de cinco anos, concluíram que aumentos metálicos modulares não são efetivos modos de tratamento de grandes falhas ósseas no cenário de revisão de ATJ. Contudo, nas revisões em que foram usados enxertos estruturais, a falha ocorreu em aproximadamente 20% dos casos.

Estudo feito por Engh e Ammeen<sup>21</sup> e que avaliou 35 cirurgias de revisão de artroplastia, nas quais se apresentavam defeitos ósseos tipo II ou III Aori tratados com o uso de enxerto estrutural e com acompanhamento pós-operatório de 4,2 anos, evidenciou resultados bons ou excelentes em 87% dos casos. Clatworthy et al.<sup>22</sup> demonstraram 72% de bons resultados em estudo que usou 66 enxertos estruturais para o manejo de 52 cirurgias de revisão de artroplastia de joelho e corroboraram esses dados.

Lonner et al.<sup>23</sup> relataram a revisão de ATJ em 17 casos, nos quais grandes defeitos ósseos não contidos foram manejados com o uso de enxerto ósseo impactado. Nesse estudo, nenhuma falha da enxertia foi relatada, embora o acompanhamento pós-operatório em 15 casos tenha sido menor do que 24 meses.

Modernamente, o uso de cones de metal trabecular tântalo, em diversos tamanhos e formatos, representa importante opção para tratamento de grandes defeitos ósseos metafísários em revisões complexas de artroplastia de joelho.

A técnica de implantação do cone de tântalo é relativamente simplificada quando comparada com o uso de enxerto estrutural e reduz, dessa forma, o tempo cirúrgico e, conseqüentemente, o risco de infecção. Outra vantagem é a eliminação do risco potencial de transmissão de doenças contagiosas associadas ao transplante ósseo homólogo.

Diversas características do metal trabecular são favoráveis a seu uso como biomaterial em cirurgias ortopédicas. Assim, destacam-se: o alto coeficiente de fricção, que possibilita ao cone de tântalo apresentar ótima estabilidade mecânica inicial, mesmo com reduzida área de contato com o osso hospedeiro; o baixo módulo de elasticidade do metal, que é similar ao do osso esponjoso e possibilita melhor distribuição de carga e redução do fenômeno de *stress shielding*; e a alta porosidade, que possibilita a superfície de migração de células e osteointegração quando em contato com osso hospedeiro e a interdigitação do cimento quando em contato com os implantes e as hastas cimentadas.

A dificuldade de remoção de implantes de metal trabecular representa desvantagem teórica quando comparada com os outros métodos de manejo de falha óssea. Em nossa série, um paciente apresentou necessidade de retirada dos implantes e de cone de tântalo em tibia por causa de infecção. Não identificamos dificuldades adicionais, provavelmente por causa do curto tempo transcorrido após a cirurgia inicial.

Por representar opção moderna ao manejo das falhas ósseas, os trabalhos que avaliam a segurança e a efetividade do metal trabecular não são numerosos e a amostragem é limitada, embora os resultados iniciais sejam satisfatórios.<sup>24-27</sup>

Estudo feito por Meneghini et al.<sup>24</sup> que avaliou 15 cirurgias de revisão com defeito tibiais superiores a T2B, com uso de cone metafísario trabecular na tibia proximal e com acompanhamento médio de 34 meses, não evidenciou soltura ou migração dos cones ou componentes protéticos e notaram-se sinais radiológicos de osteointegração em todos os casos.

Da mesma forma, Radnay e Scuderi,<sup>25</sup> que avaliaram 10 pacientes com defeitos tibiais proximais manejados com cone metafísario tibial após 10 meses de acompanhamento pós-operatório, não notaram migração ou soltura de implantes.

Howard et al.<sup>26</sup> estudaram 24 cirurgias de revisão de artroplastia total de joelho com falha óssea no fêmur distal tratados com o uso de cones metafísarios femorais. Em acompanhamento pós-operatório de 33 meses, não evidenciaram complicações associadas ao uso do cone de tântalo e todos com sinais radiográficos de osteointegração. Concluíram, portanto, que cones metafísarios femorais são capazes de prover efetivo suporte estrutural aos implantes femorais de revisão.

Lachiewicz et al.<sup>27</sup> relatam a implantação de 33 cones de tântalo durante 27 cirurgias de revisão com seguimento mínimo de dois anos e verificaram soltura dos implantes e não osteointegração de cone de tântalo femoral em um caso, que necessitou, portanto, de reabordagem cirúrgica.

Nossos dados apresentam-se em concordância com a literatura. Em todos os pacientes, observamos sinais radiográficos de osteointegração e não notamos qualquer caso de migração ou soltura de componentes. As complicações ocorridas, como infecção e fraturas periprotéticas, não foram associadas ao uso do metal trabecular, mas sim à complexidade dos casos. Em nossa casuística, a maioria dos defeitos ocorreu no lado tibial. Entretanto, não verificamos diferenças na capacidade de o cone trabecular prover suporte ao implante protético, seja no lado femoral seja no tibial.

## Conclusão

O uso de cones de metal trabecular tântalo para tratamento de defeitos ósseos tipo II ou III Aori, no cenário da artroplastia de revisão do joelho, é, em avaliação de curto seguimento, capaz de prover suporte estrutural eficiente aos implantes protéticos de revisão.

Em avaliação de curto prazo, não verificamos solturas ou migração de componentes e identificamos osteointegração em todos os casos. Contudo, estudos com maior número de casos e maior acompanhamento pós-operatório se fazem necessários.

## Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

## REFERÊNCIAS

- Kurtz S, Mowat F, Ong K, Chan N, Lau E, Halpern M. Prevalence of primary and revision total hip and knee arthroplasty in the United States from 1990 through 2002. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(7):1487-97.
- Mahomed NN, Barrett J, Katz JN, Baron JA, Wright J, Losina E. Epidemiology of total knee replacement in the United States Medicare population. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(6):1222-8.
- Kurtz S, Ong K, Lau E, Mowat F, Halpern M. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(4):780-5.
- Whittaker JP, Dharmarajan R, Toms AD. The management of bone loss in revision total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(8):981-7.
- Tsahakis PJ, Beaver WB, Brick GW. Technique and results of allograft reconstruction in revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;(303):86-94.
- Bush JL, Wilson JB, Vail TP. Management of bone loss in revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;452:186-92.
- Bradley GW. Revision total knee arthroplasty by impaction bone grafting. *Clin Orthop Relat Res.* 2000;(371):113-8.
- Lotke PA, Carolan GF, Puri N. Impaction grafting for bone defects in revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;446:99-103.
- Huff TW, Sculco TP. Management of bone loss in revision total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2007;22 7 Suppl 3:32-6.
- Backstein D, Safir O, Gross A. Management of bone loss: structural grafts in revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;446:104-12.
- Bauman RD, Lewallen DG, Hanssen AD. Limitations of structural allograft in revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(3):818-24.
- Mnaymneh W, Emerson RH, Borja F, Head WC, Malinin TI. Massive allografts in salvage revisions of failed total knee arthroplasties. *Clin Orthop Relat Res.* 1990;(260):144-53.
- Ghazavi MT, Stockley I, Yee G, Davis A, Gross AE. Reconstruction of massive bone defects with allograft in revision total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 1997;79(1):17-25.
- Berrey BH Jr, Lord CF, Gebhardt MC, Mankin HJ. Fractures of allografts, Frequency, treatment, and end-results. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72(6):825-33.
- Ewald FC. The Knee Society total knee arthroplasty roentgenographic evaluation and scoring system. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;(248):9-12.
- 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(7):1086-92.
- Schildhauer TA, Robie B, Muhr G, Köller M. Bacterial adherence to tantalum versus commonly used orthopedic metallic implant materials. *J Orthop Trauma.* 2006;20(7):476-84.
- Schildhauer TA, Peter E, Muhr G, Köller M. Activation of human leukocytes on tantalum trabecular metal in comparison to commonly used orthopedic metal implant materials. *J Biomed Mater Res A.* 2009;88(2):332-41.

19. Engh GA, Parks NL. The use of a bone defect classification system in revision total knee arthroplasty. *Orthop Trans.* 1995;18:1136-40.
20. Hockman DE, Ammeen D, Engh GA. Augments and allografts in revision total knee arthroplasty: usage and outcome using one modular revision prosthesis. *J Arthroplasty.* 2005;20(1):35-41.
21. 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):2640-7.
22. 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-A(3):404-11.
23. 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):145-51.
24. 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(1):78-84.
25. Radnay CS, Scuderi GR. Management of bone loss: augments, cones, offset stems. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;446:83-92.
26. 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 2;93(5):478-84.
27. 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(1):199-204.