

Deposição óssea por fluoreto de alumínio: intoxicação ocupacional?

Bone deposition of aluminum fluoride: occupational poisoning?

Clarissa Mari Medeiros¹, Talita Zerbini², Eduardo Costa Sá³, Pedro Artur Lobato Baptista¹, Rogério Muniz Andrade³, Raquel Barbosa Cintra²

RESUMO | **Contexto:** Paciente de 38 anos foi encaminhado por ordem judicial para ambulatório de saúde ocupacional de hospital público terciário com queixa de dor difusa em membros inferiores, superiores, coluna e bacia, além de dificuldade na deambulação. Trazia imagens de ressonância magnética e tomografia com sinais de osteosclerose/osteonecrose em diferentes ossos (tíbia, fêmur, úmero, osso da bacia). Havia sido atendido pela equipe de clínica médica do mesmo hospital e realizado biópsia de crista ilíaca, que evidenciou infarto ósseo e grande quantidade de alumínio ósseo. Tem histórico laboral de atividade na produção de alumínio durante quatro anos, em mineradora do estado do Maranhão. **Objetivos:** O presente trabalho tem como objetivo revisão na literatura de possíveis causas ocupacionais em distúrbios ósseos, e identificar elementos técnico-científicos que permitam relacionar a deposição óssea de alumínio com as alterações clínico-radiológicas do caso em questão. **Métodos:** Foi realizada revisão de literatura baseada em publicações nas principais bases de pesquisa (PubMed, SciELO, Lilacs), além de avaliação de etapas de beneficiamento do alumínio na indústria mineradora. **Resultados:** Por meio da constatação da exposição do trabalhador a subprodutos químicos do beneficiamento do alumínio metálico, que, sabidamente podem causar fluorose óssea, e a associação desta doença com os achados de exame radiológico, bem como sintomatologia apresentada por este trabalhador, é possível estabelecer nexos ocupacional. **Conclusão:** A sintomatologia apresentada pelo trabalhador, bem como suas alterações de exame de imagem e anatomopatológico, permitem inferência de causalidade entre a exposição a compostos de fluoreto e criólita e seu distúrbio ósseo.

Palavras-chave | compostos de fluor; osteonecrose; exposição ocupacional.

ABSTRACT | **Context:** A 38 year old patient was referred by court order for occupational health medical service of tertiary public hospital complaining of diffuse pain in lower and upper limbs, spine and pelvis, and walking difficulty. Magnetic resonance imaging and tomography signs of osteosclerosis/osteonecrosis in different bones (tibia, femur, humerus, hip bone). He was seen by the medical clinic of the same hospital and some procedures have been performed, such as iliac crest biopsy, which revealed bone infarction and a large amount of aluminum bone. This patient has worked for four years in aluminum production, in Maranhão, Brazil. **Objectives:** This paper aims to review the literature of possible occupational causes for bone disorders and identify technical and scientific elements that may allow to relate the bone aluminum deposition with clinical and radiological changes of the case. **Methods:** For this purpose, we performed a literature review based on publications in major research bases (PubMed, SciELO, Lilacs), and evaluation stages of processing of aluminum in the mining industry. **Results:** Through the observation of the worker exposure to chemical byproducts from the processing of aluminum metal, which is known to cause skeletal fluorosis, and the association of this disease with radiological findings and symptoms presented by this paper, it is possible establish relationship between his occupational activity and the disease. **Conclusion:** The symptoms presented by the worker, as well as their changes of imaging and pathologic examination, allow inference of causality between exposure to fluoride and cryolite compounds and their bone disorder.

Keywords | fluorine compounds; osteonecrosis; occupational exposure.

Trabalho realizado na Universidade de São Paulo (USP) – São Paulo (SP), Brasil.

¹Médicos Preceptores do Programa de Residência Médica em Medicina do Trabalho do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP – São Paulo (SP), Brasil.

²Professor convidado do Curso de Especialização em Medicina Legal da Faculdade de Medicina da USP – São Paulo (SP), Brasil.

³Professor convidado do Curso de Especialização em Medicina do Trabalho da Faculdade de Medicina da USP – São Paulo (SP), Brasil.

INTRODUÇÃO

Nos processos de trabalho em que ocorre manipulação de substâncias químicas é fundamental para a saúde dos trabalhadores considerar o risco de intoxicações¹. Doenças ósseas causadas por condições ocupacionais, como osteonecrose e osteosclerose, são incomuns e demandam atenção por parte dos médicos, em especial aos médicos do trabalho, para prevenir possíveis exposições que possam causar alterações e prejuízo no esqueleto². Algumas destas doenças são descritas na literatura quando associadas à atividade laborativa em que há vibrações, presença de fósforo ou exposição a bifosfonados³, radiação ionizante, cloreto de vinil monomérico, cádmio, ácido fluorídrico³ e pressões anormais⁴. Desta forma, profissões que submetam o trabalhador à exposição de ambientes de ar comprimido, técnicos de raio X e atividades com ferramentas que promovem vibração constante² já foram relacionadas a distúrbios ósseos. Portanto, nestes casos, onexo causal já está bem estabelecido. Além desses distúrbios, há relatos de fluorose óssea, entidade menos mencionada, demonstrada em alguns trabalhadores de fundição de alumínio^{5,6}.

A fluorose óssea é caracterizada pela diminuição do número de osteoclastos, espessamento de osso cortical, diminuição de elementos medulares e arranjo irregular de condrócitos⁵. Após exposição crônica aos compostos de fluoreto, a densidade do osso aumenta e é formado tecido ósseo subperiosteal, ocorrendo calcificação de ligamentos⁷. O aumento de formação óssea é acompanhado pelo aumento de reabsorção óssea, processo que pode ser intenso o suficiente para causar osteonecrose⁵. Variações entre osteosclerose, osteomalácia, osteoporose de graus variados e formação óssea são algumas características das lesões ósseas encontradas na fluorose⁸. A chamada fluorose industrial é mencionada em alguns estudos, apontando tarefas de manufatura de alumínio metal, solda de níquel, cobre e ouro, fabricação de pesticida e trabalhos com vidro⁵. Trata-se de condição ocupacional, presente em trabalhadores expostos a criólita, que apresentam osteosclerose ou fluorose óssea⁹, com estudos descrevendo sua reversão após descontinuidade da exposição⁷. Outros estudos com trabalhadores de fundição de alumínio apontam ainda alterações no metabolismo das porfirinas, em decorrência da exposição de compostos intermediários a partir do hexacloroetano¹⁰.

A fabricação do metal alumínio é realizada de forma predominantemente automatizada, sendo mais difícil identificar e

estabelecer nexo causal entre achados de exame de imagem com alterações ósseas e a exposição a substâncias químicas participantes dessa manufatura. A necessidade de caracterizar o possível nexo levou a realização deste trabalho com os objetivos abaixo propostos, a partir de relato de caso de atendimento médico em serviço especializado de saúde ocupacional de paciente trabalhador no setor de beneficiamento do metal que apresentou sintomas e alterações ósseas difusas.

OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo identificar elementos técnico-científicos que permitam afirmar se há nexo causal entre os elementos presentes no beneficiamento do alumínio e as repercussões ósseas apresentadas pelo trabalhador em questão.

MÉTODOS

O presente trabalho foi elaborado a partir de relato de caso de avaliação médica de trabalhador no serviço de saúde ocupacional de hospital público terciário. Além disso, foi realizada revisão de literatura utilizando os termos “osteosclerose” (osteosclerosis), “osteonecrose” (osteonecrosis), “alumínio” (aluminium), “criólita” (cryolita), “ocupacional” (occupational) nas bases de dados PubMed, SciELO, e Lilacs e em livros-texto para avaliação das etapas de beneficiamento do alumínio na indústria mineradora.

Foram selecionados 14 artigos a partir da leitura de seus resumos. Os critérios de inclusão se basearam na presença de descrições ocupacionais de casos de distúrbios ósseos. Foram excluídos artigos que se restringiam à fisiopatologia de distúrbios genéticos, ou com associação destes a procedimentos dialíticos.

RELATO DE CASO

Paciente de 38 anos foi encaminhado judicialmente para serviço de saúde ocupacional de hospital público terciário em novembro de 2011 para avaliação de quadro de dor óssea em quadril, ombros e joelhos, com dificuldade de deambulação, acompanhada de alterações de exames de imagens. A finalidade da solicitação foi verificar a existência de nexo

causal entre sintomatologia e ocupação progressiva do paciente. O trabalhador já estava sendo assistido pela clínica médica e ortopedia deste mesmo hospital, com fins terapêuticos, desde agosto de 2008. Referiu, em primeira consulta, quadro de dores há cerca de cinco anos, em região lombar, de caráter mecânico, que piorava aos movimentos. A sintomatologia evoluiu com piora progressiva da dor, busca por assistência médica e realização de exames de imagem que evidenciaram osteonecrose em diversos sítios. Em 2006, foram evidenciadas alterações em ambos os fêmures e, em 2007, nos úmeros. A investigação confirmou, por exames de imagens, osteonecrose múltipla com hipótese etiológica de deposição de alumínio. Mantinha, na época, uso de morfina, vitamina A e D, lactulose, metoclopramida e carbonato de cálcio.

Durante a investigação do caso, foram avaliadas demais condições que pudessem cursar com infarto ósseo múltiplo, como uso crônico de corticoterapia, tabagismo e alterações hematológicas, sendo constatado que o trabalhador era portador de traço falciforme. Foi realizada biópsia óssea e o material submetido a espectrometria de raio X em setembro de 2009 para determinação de deposição de metais pesados, sendo constatado aumento de quantidade de alumínio ósseo e cloro na amostra do paciente.

O paciente iniciou trabalho na metalúrgica em 1999 como vigilante na portaria da indústria. Em 2000, tornou-se *trainee* de operação e, logo em seguida, tornou-se operador de redução. Suas atividades na indústria, segundo Perfil Profissiográfico Previdenciário (PPP) e laudos de perícia médica, o incluíam como encarregado de distribuir alumina na sala de redução, tarefa em que retirava sacas de alumina da empilhadeira e acompanhava as trocas das cubas. Operava a máquina da empilhadeira na sala de cubas, participando também das atividades de adição da sacaria, limpeza das salas de cubas e distribuição de fluoreto nas cubas. Segundo PPP, o funcionário tinha contato com fluoreto, dióxido de enxofre, poeira respirável, poeira total, quartzo e cristobalita. O colaborador descreve poeira presente nessas salas de redução, que mobilizaram os funcionários da indústria a solicitar vestimenta apropriada em decorrência de prurido que acometeu diversos trabalhadores. Consta lista de equipamentos de proteção individual nos documentos de perícia médica, que incluía uso obrigatório de protetor auricular, óculos de proteção, capacete com capuz, bota com bico de ferro, calça jeans, camisa de algodão de manga curta, camisa de manga longa por cima da camisa de algodão, luvas de gravatex, máscara com dois filtros e meia de algodão.

Em decorrência de decisão judicial, está aposentado por invalidez desde 2011.

DISCUSSÃO

Exposição profissional a fluoretos foi registrado, pela primeira vez em trabalhadores de fundição em processamento de fluorita (CaF_2) na indústria de aço¹¹. Fluorose óssea já esteve presente em um quarto dos trabalhadores em metalurgia de alumínio¹¹.

As etapas do beneficiamento do alumínio contemplam diversos subprodutos aos quais os trabalhadores se expõem. A matéria prima do metal, a bauxita, apresenta em sua composição AlO_3 , FeO_3 , Tio_2 , SiO_2 , entre outros agentes. É transformada em alumina calcinada por meio de processo de refinaria, processo em que é lavada (remoção de argila e demais impurezas), secada e moída, para que possa ser refinada, diluída em solução de soda cáustica quente, com precipitação de $\text{Al}(\text{OH})_3$. A porção OH do hidróxido de alumínio precisa ser calcinada para formação de alumina, Al_2O_3 . O pó branco puro de alumina é convertido em alumínio, por redução eletrolítica. Neste processo, a alumina é dissolvida dentro dos fornos eletrolíticos em um banho químico à base de fluoretos e criólita fundida. Essa etapa promove liberação de compostos de fluoreto para o ambiente, bem como de CO , CO_2 e hidrocarboneto aromático polinuclear. Sabe-se que duas toneladas de Al_2O_3 , presentes na composição da bauxita em 40 a 60%, produzem, no máximo, uma tonelada do metal alumínio¹².

As atividades descritas pelo objeto do relato de caso apresentam exposição do trabalhador a agentes químicos presentes na redução do alumínio — fluoretos e criólita, durante cinco anos. A exposição à criólita promoveu aumento na concentração de fluoreto no organismo de indivíduos expostos, bem como alta prevalência de fluorose óssea nestes⁹. Estudos sobre o assunto concluem que a exposição ao alumínio pode fazer parte da etiologia das alterações ósseas (osteosclerose), previamente documentadas em indivíduos que trabalhavam com criólita^{2,9}. Indivíduos expostos a criólita no banho de redução da alumina, na obtenção do alumínio, são expostos cronicamente a substâncias com fluoreto via inalação dos subprodutos gasosos do ânion durante essa etapa, o que pode levar a alteração óssea (osteosclerose), a partir de determinado valor de fluoreto urinário⁵. As alterações da chamada fluorose óssea podem

ser graves o suficiente para causar osteonecrose, alterações presentes no trabalhador fonte de estudo do relato de caso⁵.

Os diferentes conceitos de distúrbios ósseos mencionados na fluorose óssea, osteonecrose e osteosclerose, devem ser considerados a fim de verificar possível relação com a exposição ocupacional no presente relato de caso. O paciente apresentou em diversos exames de imagens, como tomografia e ressonância magnética de ombros, tíbia, fíbula e cabeça de fêmur, sinais claros de osteonecrose, confirmado no resultado de exame anatomopatológico, realizado pelo serviço de patologia do hospital público terciário para onde fora encaminhado em 2008. Em sua investigação, tanto pela especialidade da clínica médica, quanto ortopedia, não se concluiu achados compatíveis com osteosclerose, distúrbios mais explicitamente relacionado com a fluorose¹³. No entanto, estudo alerta para a possibilidade da condição da fluorose óssea poder se agravar à osteonecrose, pelo aumento de formação óssea acompanhado do aumento de reabsorção óssea⁵. A necrose avascular da cabeça do fêmur, também denominado osteonecrose, foi classificada em 4 estágios:

- Estágio I – osteoporose leve;
- Estágio II – osteoporose ou osteosclerose;
- Estágio III – achatamento inicial e colapso;

- Estágio IV – achatamento total. Desta forma, a relação entre essas entidades foi estabelecida, ou seja, é possível afirmar que a osteosclerose participa da fisiopatologia da osteonecrose e que, portanto, estão correlacionadas¹⁴.

Desta forma, com a constatação da exposição do trabalhador por pelo menos cinco anos a subprodutos químicos do beneficiamento do alumínio metálico, que, sabidamente podem causar fluorose óssea, que por sua vez está associada aos achados de exame radiológico e a sintomatologia apresentada, é possível estabelecer nexo ocupacional.

CONCLUSÃO

A sintomatologia apresentada pelo trabalhador do presente relato de caso, bem como suas alterações de exame de imagem e anatomopatológico, permitem inferência de causalidade entre a exposição a compostos de fluoreto e criólita e seu distúrbio ósseo. A exposição decorrente de sua atividade ocupacional por cinco anos e a exclusão de outros fatores que poderiam causar tais alterações, permitiram estabelecer nexo ocupacional.

REFERÊNCIAS

1. Amorim LCA. O uso dos biomarcadores na avaliação da exposição ocupacional a substâncias químicas. *Rev Bras Med Trab.* 2003;1(2):124-32.
2. Javier-Moder RM, Kuntz JL. Occupational bone diseases. *Joint Bone Spine.* 2003;70(6):414-21.
3. Shadnia S, Rahimi M, Pajoumand A, Rasouli MH, Abdollahi M. Successful treatment of acute aluminium phosphide poisoning: possible benefit of coconut oil. *Hum Exp Toxicol.* 2005;24(4):215-8.
4. Miyanishi K, Kamo Y, Ihara H, Naka T, Hirakawa M, Sugioka Y. Risk factors for disbaric osteonecrosis. *Rheumatology (Oxford).* 2006;45(7):855-8.
5. Németh L, Zsögön E. Occupational skeletal fluorosis. *Baillière Clin Rheumatol.* 1989;3(1):81-8.
6. Dinman DB, Bovard WJ, Boney TB, Cohen JM, Coldwell MO. Prevention of bone fluorosis in aluminum smelter workers. Absorption and excretion of fluoride immediately after exposure -- Pt. 1. *J Occup Med.*
7. Grandjean P, Thomsen G. Reversibility of skeletal fluorosis. *Br J Ind Med.* 1983;40(4):456-61.
8. Krishnamachari KAVR. Skeletal fluorosis in humans: a review of recent progress in the understanding of the disease. *Prog Food Nutr Sci.* 1986;10(3-4):279-314.
9. Grandjean P, Horder M, Thomassen Y. Fluoride, aluminum and phosphate kinetics in cryolite workers. *J Occup Med.* 1990;32(1):58-63.
10. Alves ANP, Sumita NM, Mendes MA, Rosa HVD. Exposição ocupacional a substâncias porfirrogênicas e o padrão de excreção das porfirinas urinárias. *Rev Bras Med Trab.* 2004;2(2):133-9.
11. Buchancová J, Polacek H, Hudeckcova H, Murajda L, Osina O, Valachová J. Skeletal fluorosis from the point of view of an occupational exposure to fluorides in former Czechoslovakia. *Interdiscip Toxicol.* 2008;1(2):193-7.
12. Constantino VLR, Araki K, Silva DOS, Oliveira W. Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático. *Quím Nova.* 2002;25(3):490-8.
13. McClure J, Smithe OS. Consequences of avascular necrosis of the femoral heads in aluminium-related renal osteodystrophy and the role of endochondral ossification in the repair process. *J Clin Pathol.* 1983;36(3):260-8.
14. Ficat RP, Arlet J. Ischemia and necrosis of bone. Baltimore: Williams and Wilkins; 1980.

Endereço para correspondência: Eduardo Costa Sá - Departamento de Medicina Legal, Ética Médica e Medicina Social e do Trabalho - Avenida Dr Arnaldo, 455 - CEP: 01246-903 - Cerqueira César - São Paulo (SP), Brasil - E-mail: eduardocs6@gmail.com