

Ressonância magnética de pulmão: um novo passo no estudo das doenças pulmonares*

Magnetic resonance of the lung:
a step forward in the study of lung disease

Bruno Hochhegger, Edson Marchiori, Klaus Irion,
Arthur Soares Souza Jr, Jackson Volkart, Adalberto S. Rubin

Resumo

A ressonância magnética (RM) de pulmão progrediu tremendamente nos últimos anos. Devido a melhorias na velocidade e na qualidade de imagens, a RM de pulmão hoje está pronta para a utilização clínica de rotina. A principal vantagem da RM de pulmão é a sua combinação exclusiva de avaliação estrutural e funcional em uma única sessão de imagens. Revisamos aqui as três principais indicações clínicas da RM de pulmão: o estadiamento de tumores pulmonares, a avaliação de doença vascular pulmonar e a investigação de anormalidades pulmonares em pacientes que não podem ser expostos à radiação.

Descritores: Imagem por ressonância magnética; Pulmão; Pneumopatias; Carcinoma pulmonar de células não pequenas; Doenças pulmonares intersticiais; Pneumonia.

Abstract

Magnetic resonance imaging (MRI) of the lung has progressed tremendously in recent years. Because of improvements in speed and image quality, MRI is now ready for routine clinical use. The main advantage of MRI of the lung is its unique combination of structural and functional assessment in a single imaging session. We review the three major clinical indications for MRI of the lung: staging of lung tumors; evaluation of pulmonary vascular disease; and investigation of pulmonary abnormalities in patients who should not be exposed to radiation.

Keywords: Magnetic resonance imaging; Lung; Lung diseases; Carcinoma, non-small-cell lung; Lung diseases, interstitial; Pneumonia.

Introdução

A primeira tentativa de ressonância magnética (RM) de pulmão foi feita na década de 1980.⁽¹⁾ Nos anos seguintes, foram feitos esforços para melhorar seu desempenho e qualidade. Entretanto, houve diversas dificuldades gerais que, a princípio, não puderam ser superadas: baixa intensidade de sinal devido à baixa densidade de prótons; artefatos de suscetibilidade causados por múltiplas interfaces ar-tecido e artefatos de movimento (respiratório, cardíaco e vascular). Avanços tecnológicos posteriores melhoraram a qualidade e ampliaram a aplicação do procedimento.^(2,3) Agora é possível realizar angiografia por RM

(angio-RM) das artérias pulmonares com alta resolução espacial, para o diagnóstico em casos de suspeita de embolia pulmonar ou hipertensão pulmonar, bem como angio-RM multifásica com alta resolução temporal, para a visualização de territórios vasculares e da perfusão pulmonar.⁽⁴⁾

A maioria das doenças pulmonares é acompanhada de um aumento na quantidade de tecido, células ou sangue nos pulmões, o que facilita a RM, pois faz com que haja mais prótons disponíveis para gerar um sinal.⁽⁵⁻⁸⁾ Portanto, a RM estrutural é exequível, e o tecido pode ser caracterizado pelas diferenças observadas

* Trabalho realizado no Hospital Moinhos de Vento, Porto Alegre (RS) Brasil.

Endereço para correspondência: Bruno Hochhegger. Rua João Alfredo, 558/301, Cidade Baixa, CEP 90050-230, Porto Alegre, RS, Brasil.

Apoio financeiro: Nenhum.

Recebido para publicação em 1/11/2011. Aprovado, após revisão, em 3/11/2011.

entre seqüências ponderadas em T1, seqüências ponderadas em T2 e outros tipos de seqüências, bem como por meio da avaliação de imagens realçadas por contraste. No estadiamento do câncer de pulmão, a RM provou ser superior à TC, e há evidências de que seja também superior na caracterização de nódulos pulmonares com mais de 1 cm de diâmetro.⁽⁶⁻⁸⁾ Além disso, a RM apresenta vantagens na caracterização de infiltrados pulmonares, especialmente em pacientes com neutropenia febril, embora tal uso talvez não seja custo-efetivo.⁽⁹⁾ Atualmente, a mais relevante aplicação clínica da RM de pulmão é no estadiamento de pacientes com câncer de pulmão, propósito para o qual a RM é tão acurada quanto a *18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography* (FDG-PET, tomografia por emissão de pósitrons com ¹⁸F fluordesoxiglicose) com TC (FDG-PET/TC).⁽⁷⁾

As indicações clínicas da RM de pulmão estão relacionadas a três grandes objetivos: o estadiamento de tumores pulmonares; a avaliação de doença vascular pulmonar e a investigação de qualquer anormalidade pulmonar em pacientes que não devem ser expostos a radiação. Revisamos aqui essas indicações.

Indicações clínicas da RM de pulmão

Estadiamento de tumores pulmonares

Deteção e caracterização de nódulos pulmonares

Estima-se que todo ano nos Estados Unidos haja aproximadamente 150.000 novos casos de nódulos pulmonares observados em radiografia simples de tórax.⁽⁹⁾ Uma meta-análise recente relatou que a TC dinâmica e a RM, ambas as quais são métodos não invasivos, são igualmente acuradas para fazer a distinção entre nódulos pulmonares solitários benignos e malignos e que as diferenças entre os dois exames são insignificantes.⁽¹⁰⁾ Os autores da meta-análise constataram que, para os 10 exames com TC dinâmica, a RM apresentou sensibilidade combinada de 93% (IC95%: 0,88-0,97) e especificidade combinada de 76% (IC95%: 0,68-0,97).⁽¹⁰⁾ Koyama et al.⁽¹¹⁾ relataram que a RM de pulmão sem contraste é tão eficiente quanto a TC com multidetectores e cortes finos para detectar nódulos malignos. Os autores também constataram que a taxa global

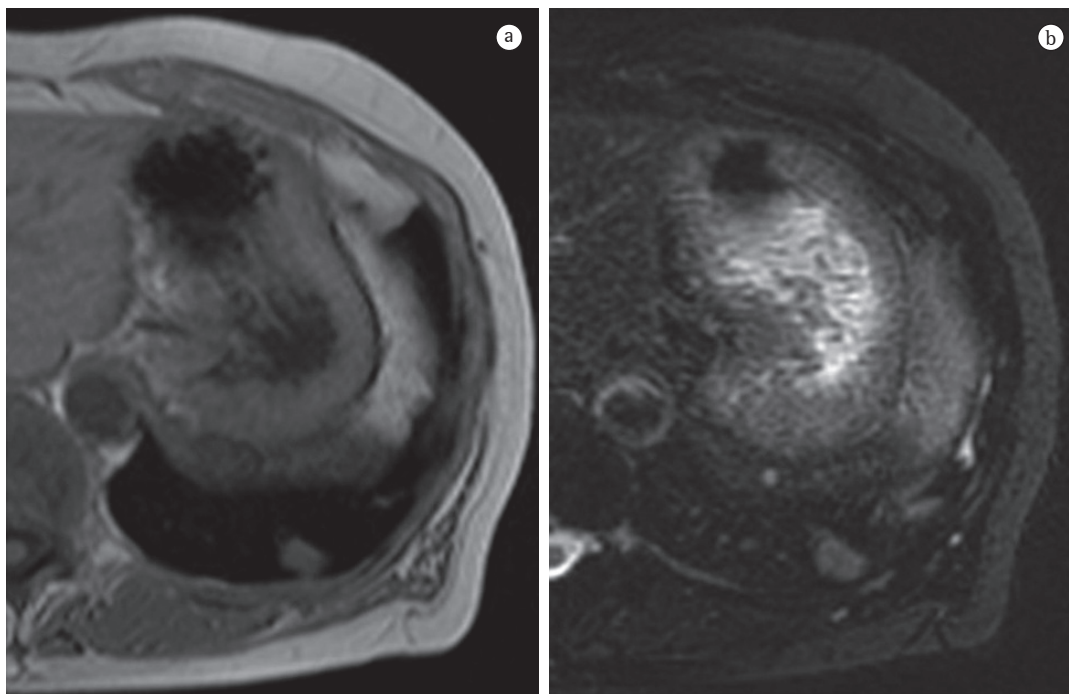


Figura 1 – Em A, TC axial mostrando um nódulo pulmonar, com margens lobuladas, no lobo inferior esquerdo do pulmão. Em B, imagem de ressonância magnética ponderada em T2, no mesmo nível, mostrando um sinal de alta intensidade na lesão. O diagnóstico final desse nódulo foi carcinoma pulmonar de células não pequenas.

de detecção de nódulos em cada sequência de RM (82,5%) foi significativamente menor que a da TC com multidetectores (97,0%), embora não tenha havido diferença significativa entre as duas técnicas no que tange à taxa de detecção de nódulos malignos.⁽¹¹⁾ A Figura 1 mostra uma comparação de imagens obtidas com as duas modalidades.

Sistema de estadiamento tumor-nódulo-metástase

No sistema de estadiamento tumor-nódulo-metástase (TNM), o estágio T (profundidade de invasão do tumor) é o principal determinante da gravidade da neoplasia.⁽¹²⁾ Para a visualização do pericárdio, do coração e dos vasos mediastinais,

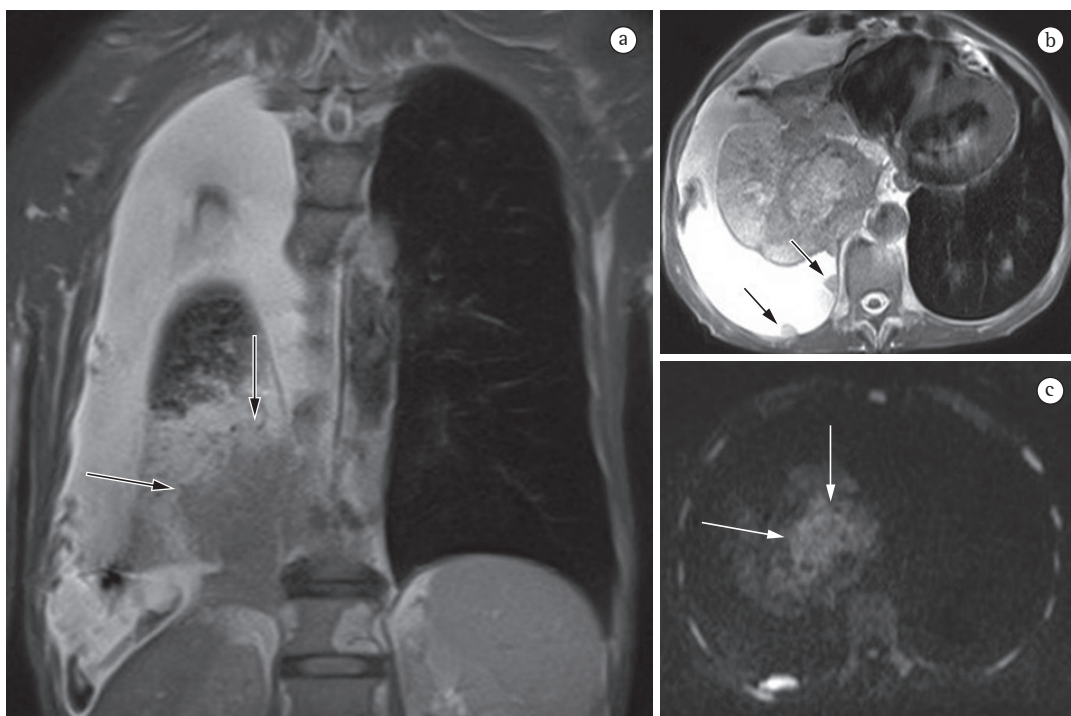


Figura 2 – Em A, imagem de ressonância magnética coronal ponderada em T2 mostrando um tumor com baixa intensidade de sinal no pulmão direito e atelectasia com alta intensidade de sinal no lobo inferior direito do pulmão. Note a clara diferenciação entre o tumor e a atelectasia (setas). Em B, imagem de ressonância magnética axial ponderada em T2 mostrando espessamento pleural (setas). Em C, imagem de ressonância magnética axial ponderada em difusão mostrando o tumor (setas) e o espessamento pleural.

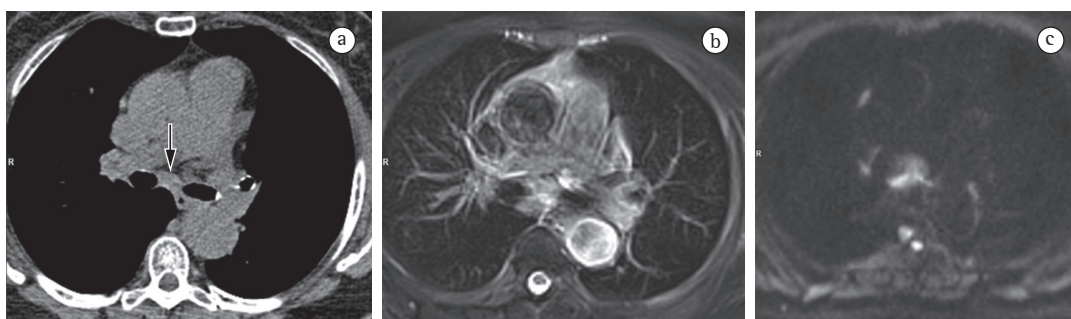


Figura 3 – Em A, TC axial mostrando um linfonodo de 8 mm na cadeia subcarinal (seta). Em B, imagem de ressonância magnética axial ponderada em T2 com saturação de gordura mostrando alta intensidade de sinal no linfonodo, o que sugere a presença de doença metastática. Em C, imagem de ressonância magnética axial ponderada em difusão mostrando o linfonodo. A presença de metástase de carcinoma pulmonar de células pequenas foi confirmada por meio de biópsia.

a RM é superior à TC e pode, portanto, ser indicada em situações específicas, como obstrução da veia cava superior, invasão do miocárdio ou disseminação do tumor para dentro do átrio esquerdo via veias pulmonares.⁽¹³⁾ Além disso, a RM pode permitir a distinção entre câncer de pulmão e alterações secundárias devido a atelectasia ou pneumonite.⁽¹²⁾ Em seqüências ponderadas em T2, a atelectasia e a pneumonite pós-obstrução frequentemente apresentam maior intensidade de sinal que o tumor central (Figura 2).⁽¹²⁾

A avaliação precisa de linfonodos mediastinais é essencial para a seleção do plano de tratamento apropriado para pacientes com carcinoma pulmonar de células não pequenas (CPCNP). A Figura 3 mostra imagens de TC e RM de um linfonodo suspeito. Ohno et al.⁽⁷⁾ conduziram um estudo prospectivo de 115 pacientes consecutivos com CPCNP submetidos a TC, RM em seqüência *short-tau inversion-recovery turbo spin-echo* (STIR-TSE) e FDG-PET/TC, bem como a exame cirúrgico e anatomopatológico. Os autores constataram que, por paciente, a sensibilidade quantitativa e a precisão quantitativa da RM em seqüência STIR-TSE (90,1% e 92,2%, respectivamente) foram significativamente maiores que a sensibilidade quantitativa, a sensibilidade qualitativa, a precisão quantitativa e a precisão

qualitativa de imagens obtidas por FDG-PET/TC (76,7%, 74,4%, 83,5% e 82,6%, respectivamente).

Por ser mais eficaz que os métodos convencionais de estadiamento para determinar o estágio TNM, a combinação PET/TC parece ser uma ferramenta de primeira linha para o estadiamento do câncer de pulmão. Entretanto, a RM tem assumido um papel cada vez mais importante nesse cenário. A Figura 4 mostra a habilidade da RM para demonstrar, de forma clara, metástases locais de um tumor pulmonar. Relatou-se que a combinação PET/TC não é capaz de revelar metástases microscópicas em aproximadamente 20% dos pacientes submetidos a tratamento cirúrgico.⁽¹²⁾ Estudos anteriores demonstraram que a RM de corpo inteiro tem precisão aceitável e que sua eficácia no estadiamento do câncer de pulmão é comparável àquela da combinação PET/TC.⁽¹³⁾ Cada uma dessas duas modalidades de imagem tem suas vantagens⁽¹²⁾; a RM de corpo inteiro é melhor para detectar metástase cerebral e hepática, ao passo que a combinação PET/TC é melhor para detectar metástase em linfonodos e tecidos moles. Para a avaliação de áreas submetidas a radioterapia, a difusão é uma técnica promissora.⁽¹²⁾ A RM de corpo inteiro com imagem ponderada em difusão pode ser utilizada para a avaliação do estágio M (metástase) em

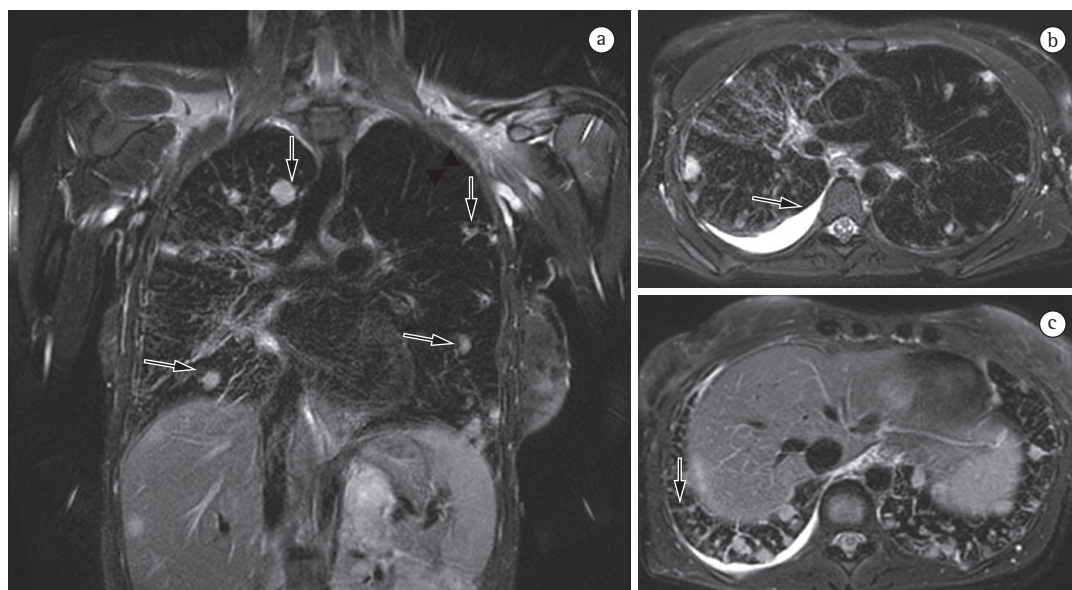


Figura 4 - Em A, imagem de ressonância magnética coronal ponderada em T2 com saturação de gordura em um paciente com tumor pulmonar mostrando nódulos metastáticos com alta intensidade de sinal no parênquima pulmonar (setas). Em B, imagem de ressonância magnética axial ponderada em T2 com saturação de gordura mostrando derrame pleural (seta). Em C, imagem de ressonância magnética axial ponderada em T2 com saturação de gordura mostrando linhas septais que sugerem a presença de linfangite carcinomatosa (seta).

pacientes com CPCNP e revelou-se tão acurada quanto a combinação PET/TC.⁽¹⁴⁾

Doença vascular pulmonar

Doença tromboembólica pulmonar

Doença tromboembólica pulmonar refere-se à condição na qual um coágulo ou coágulos sanguíneos (trombo ou múltiplos trombos) migram da circulação sistêmica para a vasculatura

pulmonar.⁽¹⁵⁾ Embora a embolia pulmonar seja a terceira doença cardiovascular aguda mais comum (atrás de infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral), frequentemente não é detectada e é, portanto, responsável por milhares de mortes todo ano.⁽¹⁶⁾

Avanços técnicos substanciais em angio-RM pulmonar foram introduzidos nos últimos anos (Figuras 5 e 6). Novas melhorias estão em andamento; dentre elas, o uso de imagens paralelas, compartilhamento de visão, angiografia

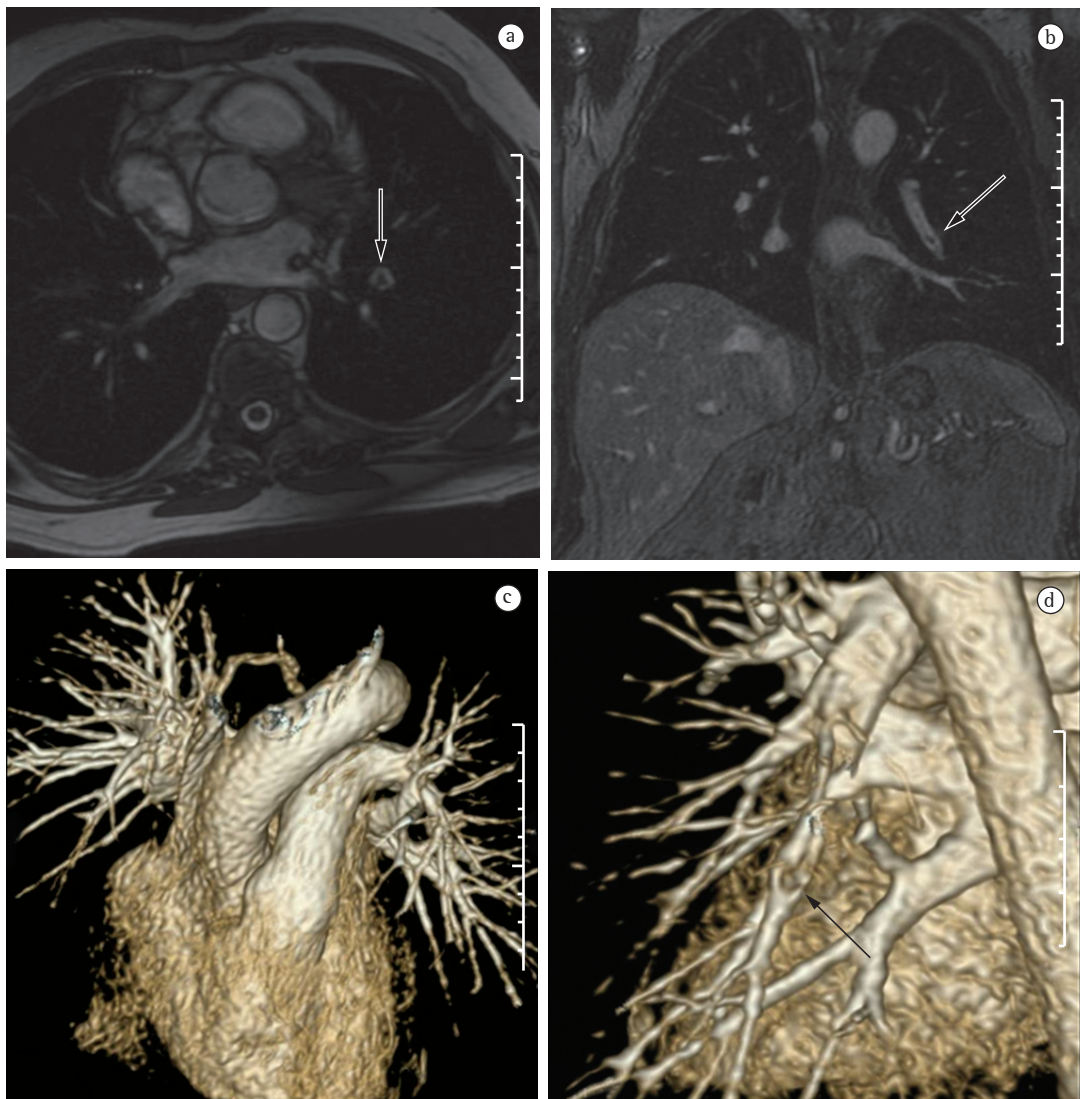


Figura 5 – Em A, imagem de ressonância magnética axial ponderada em T2 sem contraste. Note o material tromboembólico na artéria pulmonar no lobo inferior esquerdo (seta). Em B, angiografia por ressonância magnética mostrando material tromboembólico no mesmo vaso. Em C, reconstrução tridimensional (*volume rendering*) de angiografia por ressonância magnética mostrando a resolução subsegmentar. Em D, reconstrução tridimensional (*volume rendering*) de angiografia por ressonância magnética mostrando falha de enchimento parcial (seta).

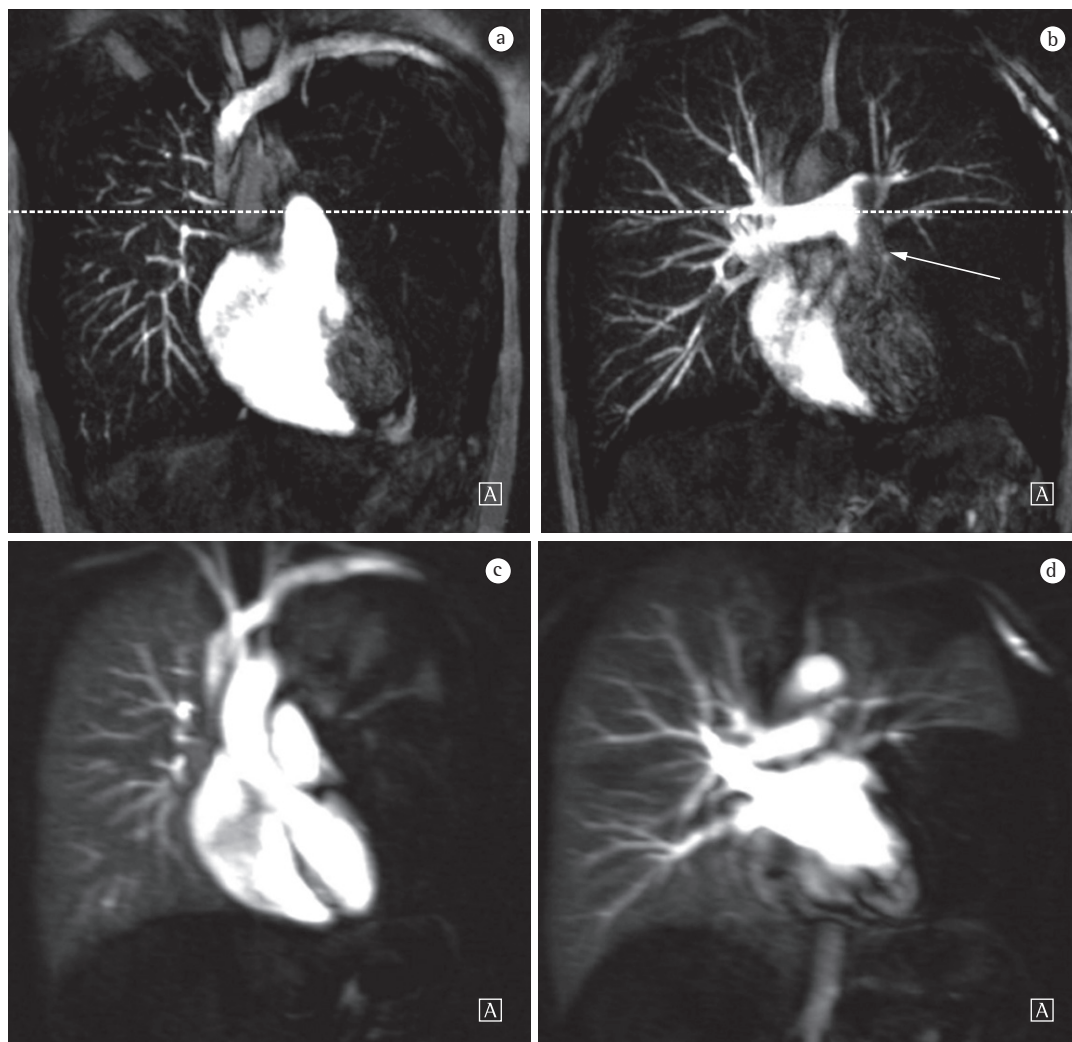


Figura 6 - Em A e B, angiografia por ressonância magnética coronal de alta resolução espacial com contraste mostrando uma área avascular no pulmão esquerdo (A) e falha de enchimento na artéria pulmonar esquerda (B, seta). Em C e D, imagem de ressonância magnética de perfusão pulmonar no mesmo nível mostrado em A e B. O defeito de perfusão no lobo esquerdo pode ser visto como um sinal indireto de obstrução vascular central.

do tipo *time-resolved echo-shared*⁽¹⁷⁻¹⁹⁾ e perfusão pulmonar. Essas técnicas encurtaram o tempo de aquisição da angio-RM, tornaram-na menos suscetível a artefatos de movimento e melhoraram a resolução espacial. Um estudo mostrou que um protocolo combinado de RM (progressão de RM em tempo real para RM de perfusão, e desta para angio-RM) é confiável e sensível, produzindo resultados semelhantes aos obtidos com TC com multidetectores de 16 fileiras.⁽¹⁸⁾

Em 2003, Stein et al.⁽²⁰⁾ conduziram uma meta-análise do uso de RM com gadolínio para a visualização de embolia pulmonar aguda. Os autores utilizaram a angiografia pulmonar

convencional como padrão de referência. Constataram que a sensibilidade relatada para o procedimento variava consideravelmente (77-100%) e que a especificidade relatada era uniformemente elevada (95-98%).⁽²⁰⁾ No mais recente dos estudos avaliados naquela meta-análise, Oudkerk et al.⁽²¹⁾ mostraram que a sensibilidade da RM com contraste para embolia pulmonar foi de 100% nas artérias centrais e lobares, 84% nas artérias segmentares e apenas 40% nos ramos subsegmentares.

Demonstrou-se recentemente que em casos de suspeita de embolia pulmonar aguda, a RM com um protocolo de última geração com três

componentes (sequência *true fast imaging with steady-state precession*; perfusão e angio-RM com aquisição paralela) é extremamente acurada.⁽¹⁸⁾ A sensibilidade e especificidade relatadas por paciente são de 85% e 98%, respectivamente, para a sequência *true fast imaging*; 100% e 91% para a sequência de perfusão e 77% e 100% para a angio-RM. A sensibilidade e especificidade relatadas para o protocolo combinado são de 100% e 93%, respectivamente. Embora a RM e a angio-RM sejam específicas, têm baixa sensibilidade, particularmente para embolia pulmonar subsegmentar. No geral, o protocolo combinado de RM revelou-se mais confiável e sensível que a TC com multidetectores de 16 fileiras.⁽¹⁸⁾ Relatou-se que a duração média do exame de RM é de aproximadamente 10 min.⁽¹⁸⁾

Hipertensão pulmonar

O uso da RM permite uma avaliação abrangente da hipertensão pulmonar, sendo que a angio-RM e sequências de perfusão permitem a identificação e diferenciação de embolia pulmonar e outras entidades.^(22,23) Além disso, a angio-RM permite uma avaliação detalhada da localização do material tromboembólico e, para o planejamento cirúrgico, a angio-RM é tão útil quanto a angiografia por subtração digital e a angiografia por TC.^(24,25) Na RM, as sequências de perfusão podem ser avaliadas quantitativamente, o que permite que a gravidade da doença de pequenos vasos seja avaliada. A redução da perfusão correlaciona-se com a gravidade da doença, e resultados preliminares sugerem que a perfusão é um substituto sensível para o monitoramento da doença.⁽⁴⁾ Imagens estruturais do pulmão permitirão a exclusão de doenças do parênquima pulmonar. Medidas de

fluxo sanguíneo e pressão cardíaca direita permitem que se estimem a pressão arterial pulmonar e o esforço cardíaco e facilitam a identificação de doença valvular concomitante.

RM em pacientes que não devem ser expostos a radiação

Pacientes com fibrose cística

A fibrose cística é uma doença autossômica recessiva causada por mutações em um único gene (localizado no braço longo do cromossomo 7) que codifica a proteína *cystic fibrosis transmembrane conductance regulator*, a qual funciona como um canal de ânions. As ferramentas radiológicas padrão para monitorar doença pulmonar em pacientes com fibrose cística são a radiografia de tórax e a TCAR, os resultados das quais são avaliados por meio de vários sistemas de pontuação.⁽²⁶⁾ A TCAR fornece imagens da estrutura pulmonar com resolução em escala micrométrica, e os achados da TCAR podem também ser desfechos úteis para estudos de doença pulmonar em pacientes com fibrose cística.^(27,28)

Durante os últimos anos, várias estratégias vêm sendo desenvolvidas para superar as dificuldades inerentes à RM de pulmão, levando a melhorias substanciais na resolução temporal e espacial, como mostra a Figura 7.⁽⁸⁾ Embora a resolução espacial da RM seja menor que a da TC, a RM tem a vantagem de produzir melhores imagens de tecidos realçadas por contraste. Além disso, a RM pode ser utilizada para avaliar diversos aspectos da função pulmonar, inclusive a perfusão pulmonar,^(29,30) o fluxo sanguíneo,⁽³¹⁾ a mecânica respiratória^(32,33) e — com a administração de

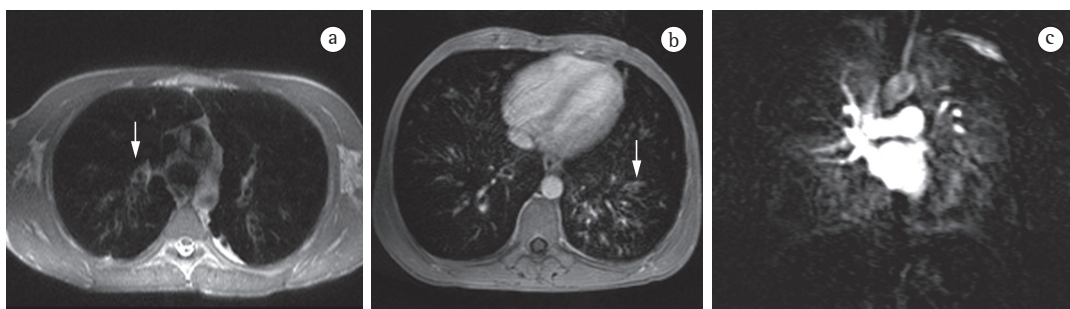


Figura 7 – Em A e B, sequência de ressonância magnética axial gradiente eco ponderada em T1 (exame volumétrico intercalado com pausa respiratória), com resolução isotrópica de 1 mm, mostrando bronquiectasia com impactação mucoide (setas). Em C, ressonância magnética de perfusão pulmonar mostrando múltiplos defeitos de perfusão.

agentes de contraste inaláveis — a ventilação pulmonar.⁽³⁴⁾

Embora haja poucos relatos na literatura, a RM é amplamente utilizada como meio de rastreamento de fibrose cística e vigilância de pacientes com a doença. Estudos recentes demonstraram que a RM é altamente capaz de revelar tanto a bronquiectasia típica da fibrose cística como tampão mucoso, além de demonstraram que a RM tem valor diagnóstico igual ao da TC na avaliação da gravidade da doença por meio do sistema de pontuação de Bhalla ou de Helbich.⁽³⁵⁾

Pacientes com pneumonia

As várias características da pneumonia, como nódulos mal definidos, opacidades em vidro fosco e consolidações, podem ser facilmente detectadas e diferenciadas por meio de RM. Na radiografia de tórax, nódulos e calcificações extremamente pequenos representam grandes desafios devido à espessura do corte e à baixa intensidade do sinal. Como ferramenta de acompanhamento, recomenda-se a RM em vez da TC, a fim de evitar exposição excessiva a radiação ionizante. A Figura 8 mostra uma comparação entre uma radiografia de tórax e imagens de RM do mesmo tórax. A sensibilidade de sequências ponderadas em T2 e o potencial de sequências ponderadas em T1 realçadas por contraste podem facilitar sobremaneira o diagnóstico diferencial.⁽³⁶⁾ Além disso, complicações incipientes (como derrame

pericárdico, derrame pleural, empiema e abscesso pulmonar) são facilmente reconhecidas em imagens de RM. Em pacientes imunodeprimidos, a RM é quase tão acurada quanto a TC para a detecção de anormalidades pulmonares.⁽⁸⁾

Pacientes com doença pulmonar intersticial

O uso da RM na avaliação de doença pulmonar intersticial (DPI) tem sido limitado pela baixa densidade de prótons dos pulmões, o que resulta em baixas relações sinal/ruído e perda de sinal devido a artefatos de movimento (respiratório e cardíaco), bem como artefatos de suscetibilidade devido a múltiplas interfaces ar-tecido. Entretanto, evidências sugerem que a RM pode desempenhar um papel na avaliação da atividade da doença na DPI, e refinamentos tecnológicos recentes levaram a considerável melhora da qualidade das imagens de RM, potencialmente criando oportunidades para o uso de RM em seletos pacientes com DPI. Padrões típicos, como alterações reticulares/reticulonodulares, opacidades em vidro fosco, consolidação e faveolamento, são facilmente visualizados por meio de RM.⁽³⁷⁾ Entretanto, embora a RM tenha a vantagem de evitar exposição a radiação, sua precisão é menor que a da TC em pacientes com DPI. Imagens funcionais, obtidas por meio de RM de perfusão com contraste e RM de ventilação com gases hiperpolarizados ou oxigênio, podem ser usadas

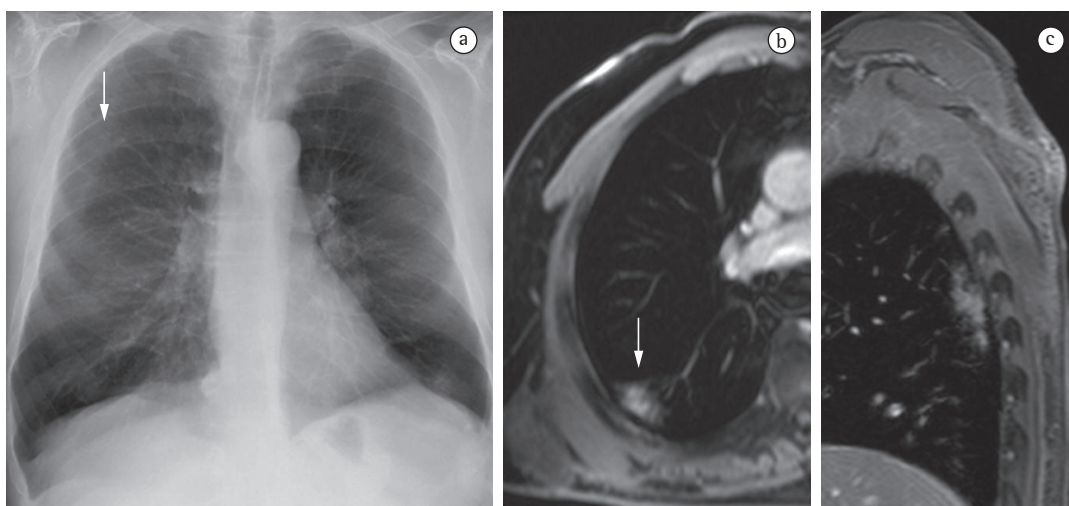


Figura 8 – Em A, radiografia de tórax mostrando uma opacidade suspeita no pulmão direito (seta). Em B, imagem de ressonância magnética axial ponderada em T1 mostrando consolidação segmentar homogênea com broncograma aéreo. Em C, imagem de ressonância magnética sagital ponderada em T1 mostrando, de forma clara, uma lesão no segmento superior do lobo inferior.

para avaliar doença pulmonar restritiva. A RM simples com contraste permite que se estime a atividade inflamatória em vários tipos de DPI, o que dá à RM clara vantagem sobre a TC, cuja capacidade de diferenciar inflamação ativa de fibrose em estágio inicial é limitada.⁽³⁷⁾

Limitações da RM de pulmão

Em indivíduos saudáveis, aproximadamente 70% do pulmão consiste em espaços cheios de ar. Devido ao fato de que esses espaços não contêm prótons, que são essenciais para gerar imagem na RM, não é possível detectar nenhum sinal. Embora os demais 30% conttenham prótons, no tecido ou no volume sanguíneo, a geração de sinais a partir desses componentes é prejudicada por dois principais fatores: ar e tecido têm propriedades magnéticas diferentes, e as incontáveis interfaces entre essas duas estruturas geram, portanto, significativos artefatos de suscetibilidade que resultam em perda de sinal de estruturas finas como os septos alveolares; e o fluxo sanguíneo é pulsátil, o que representa, juntamente com o movimento respiratório e a contração cardíaca, desafios metodológicos específicos na RM. No geral, o pulmão é provavelmente o órgão mais difícil de estudar com RM. É por isso que o pulmão é há muito considerado um buraco negro em imagens de RM de corpo inteiro e continua a ser um ponto em branco no mapa do corpo criado por meio de várias aplicações da RM. A calcificação é um achado importante, e a TC é superior à RM na visualização de calcificações e na caracterização de nódulos calcificados.

Apesar de todos os avanços tecnológicos, a maioria dos equipamentos de RM não é capaz de realizar exames de imagem torácica de alta qualidade. Os gradientes e sequências especialmente desenvolvidos por alguns fabricantes constituem um grande fator limitante. Como exemplo, a terceira *Prospective Investigation of Pulmonary Embolism Diagnosis* (PIOPED III, Investigação Prospectiva do Diagnóstico de Embolia Pulmonar),⁽³⁸⁾ um estudo multicêntrico que avaliou o uso da RM em embolia pulmonar, demonstrou que 11–52% das imagens obtidas eram de qualidade técnica ruim.⁽³⁸⁾ Isso demonstra não apenas as limitações do equipamento como também as dos funcionários que realizam os exames. O estudo PIOPED III produziu resultados ruins, tendo identificado apenas 59 (57%) dos 104 pacientes com embolia pulmonar. Uma possível

explicação é que os autores não avaliaram a perfusão pulmonar, que é altamente precisa no diagnóstico de embolia pulmonar.

Achados recentes sugerem que a RM causa considerável medo e angústia em um número significativo de pacientes.⁽³⁹⁾ Até 37% dos pacientes submetidos a RM experimentam medo e ansiedade que vão de moderados a graves, e 5–10% dos pacientes não conseguem completar a sessão de RM devido a claustrofobia.⁽³⁹⁾ A cooperação dos pacientes é condição necessária para a realização do exame porque artefatos de movimento geralmente degradam a qualidade e o valor diagnóstico da RM. Para completar o procedimento em pacientes claustrofóbicos, é necessário um exame prolongado com sequências adicionais, sedação ou anestesia geral. Isso pode resultar em desperdício de valioso tempo de escaneamento e aumento dos custos de escaneamento.⁽³⁹⁾

O custo de exames de imagem é uma consideração importante. Por causa da complexidade do sistema de imagem e dos custos de manutenção intrínsecos, a RM é inevitavelmente mais cara que a TC. Entretanto, a RM é menos cara que a combinação PET/TC, porque o equipamento completo para PET/TC tem muito mais componentes do que o equipamento para RM e por causa do custo dos radiofármacos necessários durante PET/TC. Além disso, a RM é uma modalidade mais segura que a combinação PET/TC, devido às diferenças no sistema de imagem em si. Não há relatos de que o campo magnético e a energia de radiofrequência poderosos da RM causem câncer ou anomalias fetais, diferentemente do que ocorre com a radiação ionizante usada na TC. Vale destacar que, embora se saiba que as radiografias causam câncer, o exato risco de câncer devido a exames tomográficos, mesmo múltiplos exames, ainda é desconhecido.⁽⁴⁰⁾

Considerações finais

Em conclusão, com seu rápido desenvolvimento nos últimos anos, a RM de pulmão está agora de fato na iminência de ter ampla aplicação clínica. Doença das vias aéreas e da vasculatura, bem como nódulos e câncer de pulmão, constituem agora um grande foco. Por oferecer diversas vantagens sobre técnicas convencionais de medicina nuclear, a RM é atualmente um oponente à altura da TC com multidetectores em muitas aplicações. O fato de que a RM não envolve o uso de radiação

ionizante coloca a RM de tórax na linha de frente de todos os exames de imagem transversal em crianças. A combinação única de informações estruturais e funcionais faz da RM um teste atraente para ser utilizado em todas as doenças em que as escolhas entre opções de tratamento inovadoras e caras necessitarão e beneficiar-se-ão de um número maior de parâmetros mensuráveis.

Referências

- Webb WR. Magnetic resonance imaging of the mediastinum, hila, and lungs. *J Thorac Imaging*. 1985;1(1):65-73.
- Kauczor HU, Kreitner KF. MRI of the pulmonary parenchyma. *Eur Radiol*. 1999;9(9):1755-64.
- Mendonça-Dias MH, Gaggelli E, Lauterbur PC. Paramagnetic contrast agents in nuclear magnetic resonance medical imaging. *Semin Nucl Med*. 1983;13(4):364-76.
- Ley S, Kauczor HU. MR imaging/magnetic resonance angiography of the pulmonary arteries and pulmonary thromboembolic disease. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2008;16(2):263-73, ix.
- Ley-Zaporozhan J, Puderbach M, Kauczor HU. MR for the evaluation of obstructive pulmonary disease. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2008;16(2):291-308, ix.
- Biederer J, Hintze C, Fabel M. MRI of pulmonary nodules: technique and diagnostic value. *Cancer Imaging*. 2008;8:125-30.
- Ohno Y, Koyama H, Nogami M, Takenaka D, Yoshikawa T, Yoshimura M, et al. STIR turbo SE MR imaging vs. coregistered FDG-PET/CT: quantitative and qualitative assessment of N-stage in non-small-cell lung cancer patients. *J Magn Reson Imaging*. 2007;26(4):1071-80.
- Eibel R, Herzog P, Dietrich O, Rieger CT, Ostermann H, Reiser MF, et al. Pulmonary abnormalities in immunocompromised patients: comparative detection with parallel acquisition MR imaging and thin-section helical CT. *Radiology*. 2006;241(3):880-91.
- Lillington GA. *Disease-a-Month*. St Louis: Mosby-Year Book; 1991. p. 271-318.
- Cronin P, Dwamena BA, Kelly AM, Carlos RC. Solitary pulmonary nodules: meta-analytic comparison of cross-sectional imaging modalities for diagnosis of malignancy. *Radiology*. 2008;246(3):772-82.
- Koyama H, Ohno Y, Kono A, Takenaka D, Maniwa Y, Nishimura Y, et al. Quantitative and qualitative assessment of non-contrast-enhanced pulmonary MR imaging for management of pulmonary nodules in 161 subjects. *Eur Radiol*. 2008;18(10):2120-31.
- Ohno Y, Koyama H, Dinkel J, Hintze C. Lung Cancer. In: Kauczor HU, editor. *MRI of the lung*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2009. p. 179-216.
- Schmidt GP, Baur-Melnyk A, Herzog P, Schmid R, Tiling R, Schmidt M, et al. High-resolution whole-body magnetic resonance image tumor staging with the use of parallel imaging versus dual-modality positron emission tomography-computed tomography: experience on a 32-channel system. *Invest Radiol*. 2005;40(12):743-53.
- Ohno Y, Koyama H, Onishi Y, Takenaka D, Nogami M, Yoshikawa T, et al. Non-small cell lung cancer: whole-body MR examination for M-stage assessment--utility for whole-body diffusion-weighted imaging compared with integrated FDG PET/CT. *Radiology*. 2008;248(2):643-54.
- Yung GL, Fedullo PF. Pulmonary Thromboembolic Disease. In: Fishman A, Elias JA, editors. *Fishman's Pulmonary Diseases and Disorders*. New York: McGraw-Hill Medical Pub Division; 2008. p. 1297-330.
- Castañer E, Gallardo X, Ballesteros E, Andreu M, Pallardó Y, Mata JM, et al. CT diagnosis of chronic pulmonary thromboembolism. *Radiographics*. 2009;29(1):31-50; discussion 50-3.
- Fink C, Ley S, Kroeker R, Requardt M, Kauczor HU, Bock M. Time-resolved contrast-enhanced three-dimensional magnetic resonance angiography of the chest: combination of parallel imaging with view sharing (TREAT). *Invest Radiol*. 2005;40(1):40-8.
- Kluge A, Luboldt W, Bachmann G. Acute pulmonary embolism to the subsegmental level: diagnostic accuracy of three MRI techniques compared with 16-MDCT. *AJR Am J Roentgenol*. 2006;187(1):W7-14.
- Ohno Y, Higashino T, Takenaka D, Sugimoto K, Yoshikawa T, Kawai H, et al. MR angiography with sensitivity encoding (SENSE) for suspected pulmonary embolism: comparison with MDCT and ventilation-perfusion scintigraphy. *AJR Am J Roentgenol*. 2004;183(1):91-8.
- Stein PD, Woodard PK, Hull RD, Kayali F, Weg JG, Olson RE, et al. Gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography for detection of acute pulmonary embolism: an in-depth review. *Chest*. 2003;124(6):2324-8.
- Oudkerk M, van Beek EJ, Wielopolski P, van Ooijen PM, Brouwers-Kuyper EM, Bongaerts AH, et al. Comparison of contrast-enhanced magnetic resonance angiography and conventional pulmonary angiography for the diagnosis of pulmonary embolism: a prospective study. *Lancet*. 2002;359(9318):1643-7.
- Ley S, Fink C, Zaporozhan J, Borst MM, Meyer FJ, Puderbach M, et al. Value of high spatial and high temporal resolution magnetic resonance angiography for differentiation between idiopathic and thromboembolic pulmonary hypertension: initial results. *Eur Radiol*. 2005;15(11):2256-63.
- Nikolaou K, Schoenberg SO, Attenberger U, Scheidler J, Dietrich O, Kuehn B, et al. Pulmonary arterial hypertension: diagnosis with fast perfusion MR imaging and high-spatial-resolution MR angiography--preliminary experience. *Radiology*. 2005;236(2):694-703.
- Kreitner KF, Ley S, Kauczor HU, Mayer E, Kramm T, Pittner MB, et al. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension: pre- and postoperative assessment with breath-hold MR imaging techniques. *Radiology*. 2004;232(2):535-43.
- Kreitner KF, Kunz RP, Ley S, Oberholzer K, Neeb D, Gast KK, et al. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension - assessment by magnetic resonance imaging. *Eur Radiol*. 2007;17(1):11-21.
- Bhalla M, Turcios N, Aponte V, Jenkins M, Leitman BS, McCauley DI, et al. Cystic fibrosis: scoring system with thin-section CT. *Radiology*. 1991;179(3):783-8.
- Brody AS, Molina PL, Klein JS, Rothman BS, Ramagopal M, Swartz DR. High-resolution computed tomography of the chest in children with cystic fibrosis: support for use as an outcome surrogate. *Pediatr Radiol*. 1999;29(10):731-5.
- Robinson TE. High-resolution CT scanning: potential outcome measure. *Curr Opin Pulm Med*. 2004;10(6):537-41.
- Levin DL, Chen Q, Zhang M, Edelman RR, Hatabu H. Evaluation of regional pulmonary perfusion using ultrafast magnetic resonance imaging. *Magn Reson Med*. 2001;46(1):166-71.

30. Sridharan S, Derrick G, Deanfield J, Taylor AM. Assessment of differential branch pulmonary blood flow: a comparative study of phase contrast magnetic resonance imaging and radionuclide lung perfusion imaging. *Heart*. 2006;92(7):963-8.
31. Levin DL, Hatabu H. MR evaluation of pulmonary blood flow. *J Thorac Imaging*. 2004;19(4):241-9.
32. Chen Q, Mai VM, Bankier AA, Napadow VJ, Gilbert RJ, Edelman RR. Ultrafast MR grid-tagging sequence for assessment of local mechanical properties of the lungs. *Magn Reson Med*. 2001;45(1):24-8.
33. Sundaram TA, Gee JC. Towards a model of lung biomechanics: pulmonary kinematics via registration of serial lung images. *Med Image Anal*. 2005;9(6):524-37.
34. Middleton H, Black RD, Saam B, Cates GD, Cofer GP, Guenther R, et al. MR imaging with hyperpolarized ^3He gas. *Magn Reson Med*. 1995;33(2):271-5.
35. Puderbach M, Eichinger M, Haeselbarth J, Ley S, Kopp-Schneider A, Tuengerthal S, et al. Assessment of morphological MRI for pulmonary changes in cystic fibrosis (CF) patients: comparison to thin-section CT and chest x-ray. *Invest Radiol*. 2007;42(10):715-25.
36. Eibel R. Pneumonia. In: Kauczor HU, editor. *MRI of the lung*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2009. p. 255-77.
37. Marten K, Molinari F. Interstitial lung disease. In: Kauczor HU, editor. *MRI of the lung*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2009. p. 277-91.
38. Stein PD, Chenevert TL, Fowler SE, Goodman LR, Gottschalk A, Hales CA, et al. Gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography for pulmonary embolism: a multicenter prospective study (PIOPED III). *Ann Intern Med*. 2010;152(7):434-43, W142-3.
39. Hollenhorst J, Münte S, Friedrich L, Heine J, Leuwer M, Becker H, et al. Using intranasal midazolam spray to prevent claustrophobia induced by MR imaging. *AJR Am J Roentgenol*. 2001;176(4):865-8.
40. Huda W. Radiation doses and risks in chest computed tomography examinations. *Proc Am Thorac Soc*. 2007;4(4):316-20.

Sobre os autores

Bruno Hochhegger

Radiologista Geral. Departamento de Pneumologia, Complexo Hospitalar Santa Casa de Porto Alegre; Radiologista Torácico. Hospital Moinhos de Vento, Porto Alegre (RS) Brasil.

Edson Marchiori

Professor de Radiologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ) Brasil

Klaus Irion

Radiologista Torácico. *Liverpool Heart and Chest Hospital*, Liverpool, Reino Unido

Arthur Soares Souza Jr

Professor de Radiologia. Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto, São José do Rio Preto (SP) Brasil.

Jackson Volkart

Radiologista Torácico. Hospital Moinhos de Vento, Porto Alegre (RS) Brasil.

Adalberto S. Rubin

Pneumologista. Complexo Hospitalar Santa Casa de Porto Alegre, Porto Alegre (RS) Brasil.