

Importância da imagem por ressonância magnética nos estudos dos processos interativos dos órgãos e sistemas

The importance of magnetic resonance image in studies about interactive processes of organs and systems

Luiz Claudio Almeida Madureira¹, Conceição Silva Oliveira², Camila Seixas³, Vanessa De Nardi⁴, Roberto Paulo Correia Araújo⁵, Crésio Alves⁵

¹Mestre em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Doutorando em Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas (PPgPIOS) do Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Bahia; ²Fonoaudióloga pela Universidade Federal da Bahia e Mestranda em Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas (PPgPIOS) do Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Bahia; ³Psicóloga pela Faculdade Ruy Barbosa e Mestranda em Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas (PPgPIOS) do Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Bahia; ⁴Fonoaudióloga pela Universidade Bandeirante de São Paulo e Mestranda em Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas (PPgPIOS) do Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Bahia; ⁵Professores do Corpo Permanente do Programa de Pós-Graduação em Processos Interativos dos Órgãos e Sistemas (PPgPIOS) do Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Bahia

Resumo

A imagem por ressonância magnética (IRM) foi desenvolvida a partir da década de 70 do século passado e se tornou uma pedra angular para a neurociência. Na IRM, os tecidos biológicos são submetidos a um campo magnético que faz com que núcleos de hidrogênio (prótons) sejam orientados, vibrem em torno do seu eixo, emitam energia e gerem imagens dos diversos tipos de tecido. A técnica de IRM fundamenta-se em três etapas: alinhamento, excitação e detecção de radiofrequência. A IRM funcional é produzida a partir da glicólise oxidativa. A técnica de imagem por difusão ponderada (IDP) explora as diferenças de propriedade de difusão da água, e a imagem por ressonância magnética por tensor de difusão (ITD) permite o estudo *in vivo* dos tecidos fibrosos. Essas técnicas tornaram possível a visualização dos diferentes processos fisiológicos, bioquímicos, celulares e moleculares, de forma a fornecer informações diretas sobre os processos interativos dos órgãos e sistemas.

Palavras-chave: Imagem por Ressonância Magnética (IRM) – Imagem por Tensor de Difusão (ITD) – Imagem por Ressonância Magnética Funcional (IRMf).

Abstract

Magnetic resonance image (MRI) was developed in the 70's and became a cornerstone for neuroscience. In MRI, the biological tissues are subjected to a magnetic field, which means that the hydrogen nuclei (protons) are targeted, vibrate on its axis, emit energy and generate images of various tissue types. The MRI technique is based on three steps: alignment, excitation and radiofrequency detection. The functional MRI is produced based on glycolysis peroxide. The technique of diffusion weighted imaging (DWI) exploits the differences of water diffusion properties and magnetic resonance of diffusion tensor imaging (DTI) enables in vivo study of fibrous tissue. These techniques have made possible the visualization of different physiological, biochemical, cellular and molecular processes to provide direct information about the interactive processes of organs and systems.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging (MRI) – Diffusion Tensor Imaging (DTI) – Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI).

INTRODUÇÃO

A tomografia computadorizada (TC) e a imagem por ressonância magnética (IRM) foram desenvolvidas em paralelo a partir da década de 70 do século passado.¹ Com o surgimento da tomografia de emissão de pósitrons, e da imagem por ressonância magnética funcional (IRMf) a neuroimagem funcional se tornou uma pedra angular para o desenvolvimento da neurociência.²

Essas tecnologias, consideravelmente menos invasivas, passaram a mostrar os tecidos biológicos de modo direto e com excelente resolução espacial da anatomia, sobretudo a IRM. Ambos os métodos foram sendo aperfeiçoados nas décadas seguintes, com aumento da resolução, velocidade de processamento, variedade de aquisições e implementação de aplicativos para potencializar a análise espacial, gráfica e funcional dos dados obtidos.¹

A IRM é uma técnica sofisticada que, desde a sua descoberta, tem contribuído significativamente tanto para o sucesso da imagiologia médica relacionada à saúde quanto no âmbito das patologias.³ Essa técnica

Recebido em 19 de fevereiro de 2010; revisado em 13 de maio de 2010.

Correspondência / Correspondence: Universidade Federal da Bahia. Av. Reitor Miguel Calmon, s/n, Vale do Canela. 40.110-100 Salvador Bahia Brasil.

não pode ser considerada como “nova”.³ No entanto, suas mais recentes aplicações não se limitam apenas ao estudo estrutural dos tecidos biológicos. Atualmente, a IRM pode proporcionar melhor entendimento da fisiopatologia geral e favorecer a compreensão de fenômenos mentais⁴, permitindo aos investigadores localizar regiões do cérebro envolvidas na percepção, ação, memória, linguagem ou emoção.²

A IRM tem demonstrado alterações sutis, mas consistentes, da estrutura e do metabolismo de áreas cerebrais específicas em diversos transtornos mentais. Além disso, essa tecnologia possibilitou investigar alterações cerebrais em vias neuroquímicas, antes e depois da administração de fármacos.^{5,6} Em particular, a varredura por IRM tornou-se cada vez mais presente tanto em investigação clínica quanto em pesquisas básicas.⁷

Este trabalho tem por objetivo contextualizar a importância da IRM na compreensão dos processos interativos dos órgãos e sistemas. Para isso, são descritos os princípios físicos e técnicos do exame, seguidos por alguns exemplos da sua aplicação nos diversos estudos dos distúrbios dos órgãos e sistemas.

PRINCÍPIOS FÍSICOS E TÉCNICOS DA IRM

O termo original para o fenômeno físico que é a base tanto da IRM estrutural como da IRM funcional é “ressonância magnética nuclear”, ao invés de simplesmente imagem por ressonância magnética. O nome original surgiu das características dos núcleos de alguns elementos que, na presença de um campo magnético, tornam-se sensíveis (ressonantes) às frequências específicas de oscilação magnética.⁷ Algumas pessoas ainda utilizam o nome “ressonância magnética nuclear”, porém convencionou-se que o termo “nuclear” não deve mais ser utilizado, uma vez que ele remete à idéia de risco radioativo e, na IRM, não há radiação ionizante.⁸

Quando os tecidos biológicos são submetidos a um campo magnético, ao qual uma frequência de rádio é sobreposta, esses tecidos, por terem constituições físico-químicas distintas, emitem frequências diferentes. No cérebro, por exemplo, isso torna possível diferenciar os sinais emitidos pela substância cinzenta ou branca e também pelo líquido céfalo-raquidiano, gerando uma imagem de grande precisão espacial. No caso da IRM funcional, essa diferenciação permite detectar alterações da atividade neuronal local com a precisão de milímetros.⁹

A imagem por ressonância magnética é principalmente aplicada a “tecidos moles”. No corpo humano, todos os núcleos atômicos possuem um determinado campo magnético, o que significa que eles se comportam como pequenos ímãs. Quando o paciente é colocado no interior de um tubo capaz de gerar um elevado campo magnético, os núcleos alinham-se na direção desse campo, vibrando em torno do seu eixo

com uma frequência que depende fundamentalmente do tipo de núcleo, o que permite distinguir os diversos tipos de tecido.¹⁰

A técnica de IRM fundamenta-se em três etapas: alinhamento, excitação e detecção de radiofrequência. O alinhamento se refere à propriedade magnética de núcleos de alguns átomos, que tendem a se orientar paralelamente a um campo magnético (como uma bússola em relação ao campo magnético da terra). Por razões físicas e pela abundância, o núcleo de hidrogênio (próton) é o elemento utilizado para produzir imagens biológicas. Assim, para que esses átomos sejam orientados numa certa direção, é necessário um campo magnético intenso (30 mil vezes superior ao campo magnético da terra).⁸ Em seguida, na etapa da excitação, cada núcleo de hidrogênio “vibra” numa frequência proporcional à potência do campo magnético ao qual está submetido. O aparelho emite então uma onda eletromagnética nessa mesma frequência. Existe uma transferência de energia da onda emitida pelo equipamento para os átomos de hidrogênio, fenômeno conhecido como ressonância.⁸ Na terceira e última etapa, ocorre a detecção de radiofrequência. Nessa etapa, quando os núcleos de hidrogênio absorvem energia da onda eletromagnética, tornam-se instáveis. Ao retornar ao estado de pré-excitação, eles emitem ondas eletromagnéticas na mesma frequência (faixa de ondas de rádio). Então, o equipamento detecta essas ondas e determina a posição dos núcleos no espaço e a intensidade da energia. Essa intensidade é mostrada como “brilho” na imagem, sendo utilizada a nomenclatura “intensidade de sinal”. Dependendo da forma e do tempo de excitação dos átomos, as imagens poderão ser mais sensíveis a diferentes propriedades dos tecidos.⁸

Uma analogia útil pode ser encontrada na utilização de um diapasão para verificar a afinação das cordas de um piano. O diapasão é percutido e, enquanto vibra, é colocado em contato com o piano, de forma a transmitir essa vibração, enviando energia para as suas cordas. As cordas, que são ressonantes para a frequência do diapasão, começarão a vibrar, enquanto as cordas que não estão sintonizadas com essa frequência não vibrarão ou farão isso menos intensamente. Uma vez que o diapasão é afastado do piano, as cordas que começaram a vibrar continuarão a ressonar até que a energia absorvida seja dissipada. É essa energia residual, ou ressonante, que é análoga ao sinal da RM.⁷ Existem muitos núcleos atômicos que podem sofrer ressonância com o propósito de gerar um sinal de IRM. A exigência prática é que o número de massa (prótons + nêutrons) do elemento de interesse seja ímpar. O elemento hidrogênio é ideal para obter uma resposta ressonante de praticamente qualquer local do corpo, visto que ele tem um núcleo composto por um único próton e também é o elemento mais comum na composição do corpo humano.⁷

Prótons possuem uma propriedade conhecida como *spin*, que é um movimento angular. Eles também possuem um momento dipolo magnético, semelhante a um pequeno ímã com pólos de força oposta. De um modo geral, as técnicas de imagem por ressonância magnética baseiam-se no princípio de que os núcleos dos átomos – que, em estado normal, giram com spins em orientações aleatórias –, quando submetidos a um campo magnético, orientam-se. Se a esses núcleos orientados for aplicada energia na forma de pulso de rádio-frequência, eles absorvem esse pulso. Assim, uma vez que essa fonte tenha sido desligada, os núcleos emitem uma quantidade de energia cuja frequência exata de ressonância depende de suas próprias características e do campo magnético.^{7,9}

IMAGEM POR IRM FUNCIONAL

Um dos maiores desafios no campo das ciências cognitivas sempre foi identificar os substratos neurais dos comportamentos. Visando a atender a esses desafios, a busca de um substrato anatômico para os transtornos afetivos avançou consideravelmente nas últimas duas décadas, graças a técnicas mais precisas e refinadas de novas metodologias de neuroimagem. Esse avanço tornou possível varrer a atividade de todo o cérebro em apenas alguns segundos.^{3,9,11} Assim, o desenvolvimento da tecnologia em neuroimagem funcional nos últimos cinco anos está provocando um rápido progresso no conhecimento das funções cerebrais, o que resultou numa explosão de achados novos na psiquiatria.^{3,9,11}

O conceito subjacente à IRMf é de que qualquer atividade de células neurais requer energia, a qual é produzida através de reações químicas que envolvem glicose e consumo de oxigênio (glicólise oxidativa).³ Portanto, em áreas com maior atividade neuronal, há oferta de oxigênio maior que o consumo local. Isso causa um aumento da concentração regional de hemoglobina saturada de oxigênio (oxihemoglobina), molécula que tem propriedades magnéticas diferentes da hemoglobina não saturada (desoxihemoglobina). Assim, o gradiente de oxihemoglobina/desoxihemoglobina das vênulas locais provoca uma distorção do campo magnético, o que possibilita observar pequenas variações da intensidade do sinal que, por sua vez, está relacionado com a ativação cerebral.^{8,9,12}

O exame é realizado de modo a obter imagens que mostrem mudanças do funcionamento cerebral durante tarefas de estimulação relacionada com a atividade que se quer estudar. Dessa forma, o indivíduo realiza uma série de tarefas enquanto o aparelho adquire as imagens, as quais serão analisadas posteriormente.^{4,8} Nesse processo, é possível submeter o paciente a estímulos visuais, auditivos, sensitivos e mesmo olfativos e gustativos. A principal vantagem é a possibilidade de repetir várias vezes cada estudo no mesmo indivíduo, já que não há exposição à radiação ionizante ou necessidade de injeção de contraste.^{2,8}

Vale ressaltar que a IRMf é uma ferramenta que permite a gravação *in vivo* da atividade encefálica, visando a esclarecer a localização e o funcionamento dos diversos processos interativos inerentes à atividade cerebral humana. Essa ferramenta caracteriza uma das técnicas de imagem mais empregadas na neurociência atual, gerando um crescente número de artigos publicados na área (Figura 1).

Figura 1. Número de artigos (originais e revisões) publicados em revistas incluídas no PubMed. Reproduzida de RÍOS-LAGO².

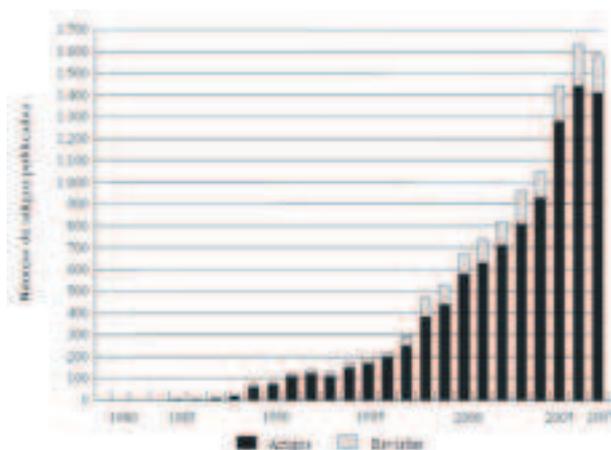


Imagem por difusão ponderada

Talvez a mais bem sucedida técnica de IRM funcional atualmente disponível seja a chamada imagem por difusão ponderada (IDP), que explora as diferenças das propriedades de difusão da água entre os tecidos e fornece importantes pistas para a sua estrutura e organização geométrica. A contribuição da IDP tem sido notável, devido à robusta visualização das lesões que ela permite apenas alguns minutos após o início da isquemia cerebral.¹³

Imagem por tensor de difusão

A imagem por ressonância magnética por tensor de difusão (ITD) consiste em uma técnica relativamente nova, que permite o estudo *in vivo* dos tecidos fibrosos.¹⁴ Esse tipo de IRM proporcionou uma verdadeira revolução tecnológica na área da neurociência, já que vem sendo utilizado especialmente na análise da substância branca cerebral e tem se mostrado mais sensível nas medições intracerebrais do que outros tipos de IRM.^{13,15}

A ITD é uma técnica que permite mapear a difusão média da água. Difusão é o termo utilizado para descrever o movimento aleatório das moléculas de água em estado líquido. Esse fenômeno existe em diversos tecidos humanos, incluindo o sistema nervoso, e tem sido usado para ampliar a compreensão do funcionamento cerebral.¹⁶

A ITD determina a magnitude e a direção tridimensional do movimento das moléculas de água

que se localizam no interstício do parênquima cerebral. Do ponto de vista da IRM, o tecido biológico pode ser considerado composto de moléculas de água, quer em estado livre (60% – 80%), quer vinculadas à superfície de macromoléculas. A intensidade de difusão normal varia conforme a estrutura da região estudada.^{3,16}

A ITD pode ser usada para mapear duas variáveis relacionadas com a microestrutura tecidual: a difusibilidade da água e a anisotropia fracionada (AF). Um corpo é anisotrópico em relação a uma propriedade física quando essa propriedade tem valores diferentes, segundo a direção considerada. A difusão anisotrópica ocorre quando há restrição ao movimento da água, ou seja, quando existem barreiras para o seu movimento que influenciam o seu sentido de orientação. Esse fato pode ser bem observado na substância branca, na qual as membranas dos axônios e bainhas de mielina constituem barreiras ao movimento da água e levam a difusão a ocorrer ao longo dos mesmos.¹ Assim, a medida de AF representa a orientação do eixo das estruturas dos feixes de fibras ao longo do qual as moléculas de água se movem de modo preferencial.¹⁷ A trajetória de trechos de substância branca, definida pela técnica de ITD, está fundamentada nas restrições ao movimento de prótons impostas pela topografia do axônio.^{18,19}

Através de medidas quantitativas de AF, a ITD propicia a visualização da direção das fibras nervosas, revelando o comportamento tecidual. Isso permite a análise da arquitetura dos tecidos e, conseqüentemente, o estudo das estruturas cerebrais sadias e doentes.^{1,20}

Desenvolvimentos posteriores fizeram com que os dados obtidos através da ITD fossem visualizados de formas cada vez mais avançadas, até chegar ao uso da tractografia, que consiste em uma visualização das estruturas em 3D e em cores. Essa técnica permite a reconstituição virtual dos feixes neuronais, sugerindo como as conexões cerebrais se apresentam *in vivo*.¹

Existem, na literatura, muitas opções sobre o melhor método de quantificar e analisar os dados obtidos através da ITD. Análises estatísticas ainda são sugeridas, o que evidencia ser essa uma área ainda em expansão.²¹ Muitos estudos precisam ser realizados para que, no futuro, possamos usufruir com mais segurança dessa técnica que contribuiu e continuará contribuindo para o avanço das ciências neurológicas.

APLICAÇÕES DA IRM NOS PROCESSOS INTERATIVOS DOS ÓRGÃOS E SISTEMAS

Evolução

Há alguns anos, a IRM restringia-se a exames de regiões específicas do corpo. Tal restrição devia-se aos longos períodos necessários à realização do exame, principalmente quando comparados aos de outros procedimentos para diagnóstico, como radiografia convencional, TC, testes de medicina nuclear e ultrassonografia. No entanto, a IRM de todo o corpo tem evoluído para testes diagnósticos que envolvem uma

variedade de indicações nos últimos anos. Significativos avanços na tecnologia da IRM e melhorias no processamento dos dados tornaram possível fazer a imagem de todo o corpo humano em um único exame.^{11,22} Atualmente, com a utilização de bobinas de superfícies especiais, a IRM de corpo inteiro para pesquisar metástases demora aproximadamente 15 minutos. Isso torna o procedimento menos demorado que a combinação tradicional dos outros procedimentos diagnósticos supracitados, somando-se a isso a vantagem da não-exposição do paciente à radiação ionizante.^{22,23}

Sistema cardiovascular

No ambiente IRM, as medidas da função cardíaca são mais acessíveis do que através da eletrocardiografia (ECG) ou oxímetro de pulso. Uma série de medidas psicofisiológicas pode ser derivada, incluindo frequência cardíaca global, bradicardia orientada e antecipatória, taquicardia orientada ou relacionada a esforço e variabilidade batimento a batimento da frequência cardíaca.²⁴

No diagnóstico da aterosclerose de vasos periféricos e centrais, a IRM de corpo inteiro tem sido um importante instrumento de pesquisa. Assim, é possível rastrear todo o sistema vascular do paciente, quanto à presença de estenoses relevantes, em uma única sessão, permitindo antecipar as intervenções terapêuticas. Os dados atuais sugerem que a IRM de corpo inteiro tem excelente sensibilidade e especificidade na detecção de lesões ateroscleróticas de vasos, coração e do sistema nervoso central. Uma análise completa atualmente leva cerca de uma hora.²²

A demência vascular, depois da doença de Alzheimer, é o tipo mais comum de demência, ocorrendo em 5,2% das pessoas com idade superior a 90 anos. O declínio cognitivo na DV está associado a isquemias pequenas ou lesões vasculares em todo o cérebro, predominantemente nos gânglios basais, hipocampo e substância branca.¹³ Vale ressaltar que, além de viabilizar o diagnóstico da doença vascular, a neuroimagem também é uma técnica promissora na investigação de pacientes com suspeita de déficit cognitivo leve.²⁵

Sistema respiratório

Os padrões respiratórios também respondem fortemente às atividades cognitivas e emocionais e estão relacionados com as respostas cardíacas. A função motora respiratória é mais facilmente examinada dentro do ambiente IRM através de bandas respiratórias, termistores ou transdutores de pressão diferencial. No entanto, a rede de controle respiratório pode ser examinada com analisadores de gás respiratório e (ou) ventilação controlada. O efeito global dos níveis de CO₂ no fluxo arteriolar cerebral é particularmente relevante nos procedimentos de neuroimagem (incluindo IRMf)

que dependem de respostas hemodinâmicas para atividade neural.²⁴

Sistema nervoso e medidas psicofisiológicas

A psicofisiologia relaciona funções mentais e individuais com as atividades fisiológicas, conforme tem sido verificado nos últimos anos por meio da imagiologia funcional do cérebro. Ao longo do tempo, as medidas autonômicas periféricas estimularam as pesquisas psicofisiológicas, fazendo com o que os processos cognitivos e emocionais sejam mensuráveis.^{2,24} No campo das doenças cerebrais orgânicas, a utilidade das técnicas de neuroimagem na rotina clínica é amplamente aceita. Os métodos mais acessíveis, como a TC, a IRM e a TC por emissão de fóton único (*single photon emission computed tomography* – SPECT) são recursos importantes para o diagnóstico diferencial de demências.²⁵

Ao longo dos últimos 20 anos, tem havido uma crescente compreensão de como os centros do tronco cerebral suportam o controle homeostático. Porém a influência do papel das regiões mais altas do tronco no suporte cognitivo, afetivo e comportamental dos processos autoregulatórios ainda é menos compreendida. Assim, as técnicas de neuroimagem, incluindo tomografia por emissão de pósitrons e IRMf, tem promovido avanços substanciais na investigação da função cerebral *in vivo*.²⁴ Por outro lado, a espectroscopia de prótons por imagem de ressonância magnética tem sido usada, na última década, para investigação *in vivo* dos aspectos fisiopatológicos dos distúrbios psiquiátricos, possibilitando a avaliação não-invasiva do metabolismo cerebral por meio da avaliação de determinadas funções bioquímicas.^{23,26,27}

Hoje em dia, sabe-se que cada ramo do sistema nervoso autônomo pode, independentemente, promover a regulação de padrões complexos de órgãos que envolvem reações autonômicas. São notórias as interações dos processos mentais com os corporais internos. Isto permite que vários sistemas corporais sejam mantidos dentro de limites homeostáticos estreitos. Assim, são necessários diferentes estados fisiológicos meta-estáveis para lidar eficazmente com as mudanças cognitivas e as exigências ambientais. Como consequência, as medidas psicofisiológicas individuais fornecem informações específicas de como a atividade simpática e parassimpática regulam os sistemas orgânicos específicos, incluindo o cardíaco, o respiratório, o circulatório, o sistema intestinal, os olhos, os músculos esqueléticos, as vísceras e a pele.²⁴

Considerando simultaneamente os dados fisiológicos e a neuroimagem, é possível compreender a interação cérebro e corpo em vários níveis. Por exemplo, sintomas psiquiátricos frequentemente estão presentes em transtornos neurológicos como acidentes vasculares encefálicos, tumores cerebrais, doença de Parkinson (fundamentada na associação da depressão com

mudanças de atividade no tálamo médio-dorsal e no córtex pré-frontal dorso-medial em pacientes portadores de DP), coréia de Huntington e epilepsias. Esses sintomas muitas vezes surgem como primeira manifestação da doença neurológica. As manifestações psiquiátricas podem acontecer sob a forma de síndromes depressivas, alterações cognitivas, mudanças de personalidade e sintomas psicóticos. Portanto, a doença cerebral orgânica é um diagnóstico diferencial a ser considerado em pacientes que apresentam quadro psiquiátrico primário.^{2,6,24,28} Vale ressaltar ainda que a neuroimagem também tem importância relevante na investigação do possível acometimento central em patologias como o lúpus eritematoso sistêmico e a síndrome de imunodeficiência adquirida.⁴

A imagem por ressonância magnética tridimensional é a melhor opção para estudos anatômicos do cérebro *in vivo*. Este tipo de estudo envolve uma metodologia capaz de reconstruir e analisar modelos tridimensionais do cérebro através de um programa de computador.²⁹ Assim, a IRM é considerada o exame mais adequado para diagnosticar indivíduos com suspeita de aneurismas intracranianos.³⁰ Além disso, ainda no campo da IRM estrutural, um dos achados mais frequentes em pacientes com transtornos mentais é a hiperintensidade de substância branca (SB), reportada em indivíduos com transtornos afetivos, esquizofrenia e doença de Alzheimer.^{4,9} Na doença vascular subcortical, a IRM frequentemente revela uma difusa hiperintensidade da SB, também chamada leucoaraios.¹³

Atualmente a IRM é cada vez mais utilizada no diagnóstico de pacientes com esclerose múltipla (EM) com envolvimento da medula espinhal. Além disso, a IRM pode também ser útil em pacientes que não tem envolvimento da medula espinhal, porque as lesões da medula espinhal assintomáticas são comuns na EM e incomuns em outros transtornos da SB. Ademais, foi demonstrado que a tractografia por tensor de difusão é uma ferramenta robusta para analisar a medula espinal de pacientes com EM.¹⁹ Dentro deste contexto, a ITD é o mais novo método de IRM para estudar mielina *in vivo*. Essa técnica está baseada no fato fisiológico de que a mielina representa uma barreira para as moléculas de água. A ITD permite a detecção precoce de alterações na substância branca, bem como o acompanhamento detalhado para o controle do tratamento.¹³

Sistema músculo-esquelético

Uma rara aplicação, que até agora mostrou bons resultados, é o uso da IRM de corpo inteiro para a detecção de osteonecrose, uma grave complicação de múltiplas quimioterapias em crianças. Outra importante aplicação dessa tecnologia é a detecção precoce e o acompanhamento de espondiloartrites.²²

A IRM desempenha um papel cada vez mais importante no diagnóstico da doença músculo-

esquelética. Ela tem uma vantagem decisiva sobre a radiografia convencional, devido ao fato de quase todos os pacientes com espondiloartrites terem envolvimento da coluna torácica. A visualização adequada da coluna torácica, sem interferência de estruturas que a recobrem, é uma dificuldade notória no uso da radiografia convencional, embora não represente problema com a IRM.²²

Vale ressaltar que técnicas como a electrogastrografia (EGG), que mede ondas elétricas na parede muscular no estômago, podem indexar o equilíbrio simpato-vagal gastrointestinal e são utilizáveis no ambiente da IRM.²⁴

Órgãos dos sentidos

Inúmeros estudos cognitivos e emocionais tem utilizado a pupila como um índice de emoção ou atenção. Por isso, dentro do ambiente da IRMf, rastreadores do olho são utilizados para acompanhar a fixação do olhar e fornecer informações sobre o tamanho pupilar.²⁴

A IRM também permite aprofundar os conhecimentos a respeito de enfermidades relacionadas a problemas auditivos.³¹

Outras aplicações

Uma aplicação emergente da IRM é a medição da gordura visceral e subcutânea para a avaliação dos riscos de morbi-mortalidade.²²

A IRM de corpo inteiro está sendo cada vez mais utilizada no diagnóstico e acompanhamento de tumores como dos múltiplos mielomas e linfomas malignos.²²

A IRM por tensor de difusão também tem sido essencial para a caracterização do processo de adoecimento e de envelhecimento, constituindo-se numa importante técnica de investigação neuropatológica. No processo de envelhecimento e nas patologias do sistema nervoso, a difusão da água é alterada devido às mudanças na microestrutura dos tecidos. Fundamentados nessa alteração, diversos estudos utilizando a ITD tem sido realizados com o objetivo de investigar os processos degenerativos do sistema nervoso central. Entre esses processos podemos citar isquemia, desmielinização, inflamação e neoplasia. O uso desta técnica tem sido importante também para auxiliar nas intervenções cirúrgicas, nas radioterapias e no acompanhamento dos efeitos, em regiões específicas do cérebro, de tratamentos com drogas.^{2,32}

CONCLUSÃO

As técnicas de neuroimagem funcional tornaram possível a visualização dos diferentes processos fisiológicos, bioquímicos, celulares e moleculares. Desta maneira, o registro de sinais fisiológicos através da IRM fornece informações diretas sobre a interação cérebro-corpo e vice-versa. Assim, a IRM tem sido utilizada em medidas cardiovasculares,

respiratórias, eletrodermais e expressões pupilares de processos neurais centrais, dentre outras aplicações.

A utilidade de ambas, IRM estrutural e IRMf, na expansão do conhecimento neurofisiológico e trajetórias funcionais do desenvolvimento cerebral está se tornando mais e mais evidente. O uso cada vez maior da IRM em instituições de pesquisa e clínica, bem como o risco associado relativamente baixo, vem gerando um número cada vez maior de investigadores interessados nessa tecnologia. No entanto, a utilização eficaz da IRM, bem como a interpretação dos seus resultados, exige a compreensão do comportamento e da psicopatologia de interesse. Além disso, o uso adequado da IRM também implica em domínio de conhecimentos relacionados com a origem do sinal e com a forma através da qual este sinal é produzido e manipulado.

A evolução das técnicas de IRM tem gerado equipamentos de resolução espacial cada vez maior, bobinas para aquisição mais rápida de imagens e novos tipos de sequências de pulso. Esses e outros aprimoramentos, junto com os métodos para análise de dados, tem aumentado a perspectiva de melhorar a aplicabilidade diagnóstica das técnicas de IRM. Assim, será possível a detecção cada vez mais precoce de doenças, proporcionando maior número de opções de tratamento aos pacientes, o que certamente aumentará a probabilidade de obtenção de melhores respostas clínicas. Em última análise, a evolução das técnicas de IRM contribuirá significativamente para ampliar a compreensão dos processos interativos dos órgãos e sistemas, proporcionando assim melhor qualidade de vida para os pacientes e seus familiares.

REFERÊNCIAS

1. ENGELHARDT, E.; MOREIRA, D.M. A substância branca cerebral: localização dos principais feixes com anisotropia fracionada direcional. **R. Bras Neurol.**, Rio de Janeiro, v.44, n.2, p.19-34, 2008.
2. RÍOS-LAGO, Marcos. Neuropsicología y resonancia magnética funcional: conceptos generales. **Radiología**, Madrid, v.50, n.5, p.351-365, 2008.
3. PAGANI, E. et al. Basic concepts of advanced MRI techniques. **Neurol. Sci.**, Milano, v.29, p.290-295, 2008. Supl.3.
4. ROCHA, E.T. et al. Novas técnicas de neuroimagem em psiquiatria: qual o potencial de aplicações na prática clínica? **R. Bras. Psiquiatr.**, São Paulo, v.23, p.58-60, 2001. Supl. I.
5. BUSATTO FILHO, G.; SOARES, J.C.; BRESSAN, R.A. Apresentação: Neuroimagem em psiquiatria. **R. Bras. Psiquiatr.**, São Paulo, v.23, p.1, maio 2001. Supl.1.
6. SKAF, C.R. et al. Meningeoma frontal numa paciente com síndrome depressiva maior crônica. **R. Bras. Psiquiatr.**, São Paulo, v.21, n.2, p.114-116, 1999.
7. HUNT, R.H.; THOMAS, K.M. Magnetic resonance imaging methods in developmental science: a primer. **Dev. Psychopathol.**, New York, v.20, p.1029-1051, 2008.
8. AMARO JÚNIOR, E.; YAMASHITA, H. Aspectos básicos de tomografia computadorizada e ressonância magnética. **R. Bras. Psiquiatr.**, São Paulo, v.23, p.2-3, 2001. Supl. I.
9. ARCURI, S.M.; MCGUIRE, P.K. Ressonância magnética funcional e sua contribuição para o estudo da cognição em esquizofrenia. **R. Bras. Psiquiatr.**, São Paulo, v.23, p.38-41, 2001. Supl. 1.

10. SILVA, A.C. **Algoritmos para diagnóstico assistido de nódulos pulmonares solitários em imagens de tomografia computadorizada.** 2004. 140f. Tese (Doutorado) - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
11. SASSI, R.B.; SOARES, J.C. Ressonância magnética estrutural nos transtornos afetivos. **R. Bras. Psiquiatr.**, São Paulo, v.23, p.11-14, 2001. Supl. 1.
12. RENVALL, V. Functional magnetic resonance imaging reference phantom. **Magn. Reson. Imaging**, New York, v.27, n.5, p.701-708, 2009.
13. URRESTA, F.L.; MEDINA, D.A.; GAVIRIA, M. Diffusion MRI studies in vascular cognitive impairment and dementia. **R. Bras. Psiquiatr.**, São Paulo, v.25, n.3, p.188-191, 2003.
14. RAGIN, A.B. et al. Whole brain diffusion tensor imaging in HIV-associated cognitive impairment. **AJNR Am. J. Neuroradiol.**, Oak Brook, v.25, n.2, p.195-200, 2004.
15. SUNDARAM, S.K. et al. Diffusion tensor imaging of frontal lobe in autism spectrum disorder. **Cereb. Cortex**, New York, v.18, n.11, p.2659-2665, 2008.
16. ALEXANDER, A.L. et al. Diffusion tensor imaging of the brain. **Neurotherapeutics**, Orlando, v.4, n.3, p.316-329, July 2007.
17. MUELLER, H.P. et al. Diffusion tensor imaging and tractwise fractional anisotropy statistics: quantitative analysis in white matter pathology. **Biomed. Eng. Online**, London, v.6, p.42, 2007.
18. CROW, T.J. Assimetria cerebral e lateralização da linguagem: déficits nucleares na esquizofrenia como indicadores de predisposição genética. **R. Psiquiatr. Rio Gd. Sul**, Porto Alegre, São Paulo, v.26, n.2, p.122-134, 2004.
19. VAN HECKE, W. et al. A Diffusion Tensor Imaging group study of the spinal cord in multiple sclerosis patients with and without T2 spinal cord lesions. **J. Magn. Reson. Imaging**, Chicago, v.30, n.1, p.25-34, 2009.
20. KINDLMANN, G.; TRICOCHE, X.R.; WESTIN, C.F. Delineating white matter structure in Diffusion Tensor MRI with anisotropy creases. **Med. Image Anal.**, London, v.11, n.5, p.492-502, Oct. 2007.
21. HONGTU, Z. et al. A statistical framework for the classification of tensor morphologies in diffusion tensor images. **Magn. Reson. Imaging**, New York, v.24, n.5, p.569-582, 2006.
22. MAGER, A.K. et al. Role of whole-body magnetic resonance imaging in diagnosing early spondyloarthritis. **Eur. J. Radiol.**, Limerick, v.71, n.2, p.182-188, Aug. 2009.
23. BRANDÃO, L.A.; DOMINGUES, R.C. **Espectroscopia de prótons do encéfalo: princípios e aplicações.** Rio de Janeiro: Revinter, 2002.
24. GRAY, M.A. et al. Physiological recordings: basic concepts and implementation during functional magnetic resonance imaging. **Neuroimage**, Orlando, v.47, n.3/8, p.1105-1115, Sept. 2009.
25. PARENTE, D.B.; CARVALHO, A.C.P.; GASPARETTO, E.L. O uso potencial da sequência tensor de difusão por ressonância magnética no diagnóstico diferencial entre doença de Alzheimer e déficit cognitivo leve. **Radiol. Bras.**, São Paulo, v.41, n.3, p.198, 2008.
26. LAFER, B.; AMARAL, J.A. de M.S. Espectroscopia de próton por ressonância magnética: aplicações em psiquiatria. **R. Psiquiatr.Clin.**, São Paulo, v.27, n.3, maio/jun. 2000.
27. VIEIRA, C.; FAY, E. da S.M.; NEIVA-SILVA, L. Avaliação psicológica, neuropsicológica e recursos em neuroimagem: novas perspectivas em saúde mental. **Aletheia**, Canoas, n.26, p.181-195, 2007.
28. CARDOSO, E.F. et al. Depression in Parkinson's disease: convergence from voxel-based morphometry and functional magnetic resonance imaging in the limbic thalamus. **Neuroimage**, Orlando, v.47, p.467-472, 2009.
29. TRINDADE, A.P.; LEITE, C.C. Estudo da anatomia superficial do cérebro pela ressonância magnética tridimensional. **Radiol. Bras.**, São Paulo, v.39, n.6, p.396, 2006.
30. SPOTTI, A.R. et al. Angiografia pela ressonância magnética nos aneurismas intracranianos : estudo comparativo com a angiografia cerebral. **Arq. Neuro-Psiquiatr.**, São Paulo, v.59, n.2-B, p.384-389, 2001.
31. SEN, P.; BASSER, P. A model for diffusion in white matter in the brain. **Biophys. J.**, New York, v.89, n.5, p.2927-2938, 2005.
32. ALEXANDER, A. et al. Diffusion tensor imaging of the brain. **Neurotherapeutics**, Orlando, v.4, n.3, p.316-329, 2007.