

# Imagem por Ressonância Magnética – do princípio à actualidade

Carlos Ferreira, 2008

## Resumo

Aplicada em diversas áreas clínicas e em investigação, a Imagem por Ressonância Magnética (MRI), conheceu ao longo dos tempos, diversos avanços desde a sua descoberta. Este artigo de revisão, pretende focar alguns pontos mais importantes desde a descoberta da MRI até algumas aplicações clínicas actuais, sem esquecer algumas das principais normas de segurança bem como produtos de contraste utilizados para aumentar o contraste tecidual.

Fundada por Raymond Damadian, a FONAR Corporation, lançou em 1980 o primeiro aparelho comercial de MRI.<sup>(1)</sup> Desde este lançamento, assistiu-se a um enorme desenvolvimento da MRI e da sua aplicação para usos clínicos por forma a obter imagens de elevada qualidade do corpo humano<sup>(1,2,3,4)</sup>.

Para que esta modalidade de imagem esteja disponível nos nossos dias tal como a conhecemos e com as suas diversas aplicações, foi necessário um enorme processo de desenvolvimento onde inúmeras pessoas tiveram a sua responsabilidade.

Olhando para o passado, vemos que este processo de desenvolvimento teve início ainda no século XIX quando, Sir Joseph Larmor em 1897, descreveu pela primeira vez o fenómeno de precessão, sendo hoje em dia denominado por precessão de Larmor em sua homenagem.<sup>(1,5)</sup>

Em 1924, Wolfgang Pauli, sugeriu a possibilidade do núcleo atómico possuir duas propriedades, o spin e o momento magnético.<sup>(6,7,8)</sup>

Na década de 1930, Isidor Isaac Rabi, após uma visita de Cornelis Jacobus Gorter ao seu laboratório, onde ambos trocaram sugestões, conseguiu observar experimentalmente o fenómeno de ressonância e determinar o momento magnético do núcleo.<sup>(1,6,7,8,9)</sup> Gorter foi, em 1942, o primeiro autor a utilizar a expressão “nuclear magnetic resonance” atribuindo a autoria da mesma a Rabi.<sup>(8,9)</sup>

Várias investigações continuaram a ser desenvolvidas até que, em 1946, Felix Bloch e Edward Purcell em conjunto com os seus colaboradores, conseguiram pela primeira vez medir o fenómeno de ressonância magnética nuclear (RMN) em substâncias sólidas (“bulk matter”), tornando assim a ressonância magnética, numa técnica passível de

ser aplicada na prática. Estes trabalhos foram publicados na revista *Physical Review* separados somente por duas semanas de diferença.<sup>(1,2,6,7,8,9,10,11,12)</sup>

Após os resultados publicados por Bloch e Purcell, a RMN foi utilizada e desenvolvida em diversos campos para análise molecular física e química, realizando-se também RMN in vivo, sendo publicados diversos trabalhos em difusão e relaxação, entre outros assuntos.<sup>(2,6,8,10,11,12)</sup>

Este uso diversificado da RMN levou a que, no início da década de 1970, Raymond Damadian (1971) apresentasse diferentes tempos de relaxação  $T_1$  e  $T_2$  em amostras de tecidos cancerosos e normais, amostras estas retiradas de ratos apresentando as amostras de tecidos cancerígenos, tempos de relaxação superiores. Estes resultados representaram uma descoberta bastante importante pois, evidenciaram pela primeira vez, uma aplicação biológica importante para a RMN.<sup>(1,2,6,8,12)</sup>

Baseado na importância dos resultados obtidos por Damadian, Paul Lauterbur desenvolveu a ideia de aplicar gradientes magnéticos em três dimensões e a técnica de “back-projection” para assim obter imagens utilizando a RMN. O seu trabalho foi bem sucedido e, em 1973, na revista *Nature*, publicou as primeiras imagens obtidas por RMN, onde estavam representados dois tubos de ensaio com água. Lauterbur continuou com o seu trabalho e, em 1974 publicou a primeira imagem de um animal vivo.<sup>(1,2,4,6,8,11,12,13)</sup>

Fundamentado no trabalho de Lauterbur, Richard Ernst em 1975<sup>(14)</sup>, sugeriu um novo método de criação de imagens. Em vez de utilizar a técnica de “back-projection” referida por Lauterbur, Ernst propôs o uso de gradientes variáveis no tempo e o recurso à Transformada de Fourier para a criação das imagens. Este método proposto por Ernst é a base dos métodos de reconstrução de imagem das técnicas de MRI dos nossos dias.<sup>(1,2,8,12,14)</sup>

Em 1977, Peter Mansfield publicou no *Journal of Physics C: Solid State Physics*<sup>(15)</sup> um trabalho em que propunha uma técnica de aquisição mais rápida, denominada por imagem eco-planar (EPI).<sup>(1,2,6,8,11,15)</sup> Este método desenvolvido por Mansfield é umas das técnicas de aquisição mais rápidas utilizadas na actualidade.<sup>(2,6,11)</sup> Em 1977, Mansfield e seus colaboradores, apresentaram também as primeiras imagens humanas anatómicas in vivo, representando um corte anatómico de um dedo.<sup>(1,2,8)</sup>



Ao mesmo tempo que novas técnicas de imagem eram propostas, Damadian tentava desenvolver o primeiro scanner de RMN. Este foi criado em 1977 e foi chamado de "Indomitable", fundando no ano seguinte (1978) a FONAR Corporation, a qual foi responsável por construir o primeiro scanner comercial em 1980.<sup>(1,6,12)</sup>

Antes de avançar na evolução dos scanners, é a altura para abrir um parêntesis para percebermos o porquê da evolução do nome de RMN para imagem por ressonância magnética (MRI). Para tal, é necessário recuar até à década de 70, em que se assistiu à introdução de uma nova modalidade de imagem, a Tomografia Computorizada (TC). Esta utiliza raios-x (radiação ionizante) para gerar as imagens do corpo humano. Pelo contrário, a RMN não utiliza radiação ionizante para gerar imagens semelhantes às da TC, aumentando assim o potencial interesse no uso clínico da RMN. Esta vantagem da RMN (ausência de radiação ionizante), associada à conotação negativa da palavra nuclear bem como ao desejo dos hospitais em separar os aparelhos de ressonância magnética dos departamentos de medicina nuclear, conduziu, no início da década de 80, à alteração do nome de RMN para MRI.<sup>(2,6,11,13)</sup>

Com a produção do primeiro scanner comercial pela FONAR, outras empresas, como por exemplo a General Electric (GE), a Philips, a Siemens e a Toshiba, aperceberam-se do enorme potencial que a MRI apresentava e, também se dedicaram a fabricar aparelhos de MRI.<sup>(1,6)</sup>

A procura do aparelho com o campo magnético ideal rapidamente se tornou numa questão de debate entre os investigadores uma vez que, com o aumento da intensidade de campo magnético, a relação sinal ruído aumenta e, o tempo de exame pode diminuir, devido à diminuição do número de vezes que é necessário amostrar o sinal para produzir suficiente relação sinal-ruído para criar uma imagem.<sup>(13,16,17,47)</sup>

Assim, as diferentes estratégias de marketing das diversas empresas, impulsionaram o desenvolvimento tecnológico dos aparelhos de MRI e diversos aparelhos foram lançados no mercado. Enquanto algumas empresas apostavam em aparelhos de baixa e média intensidade de campo (0.1 a 1T), a GE introduziu em 1982 o primeiro aparelho de alto campo (1,5T).<sup>(1,3,6,12,13,16)</sup>

Apesar de todos estes desenvolvimentos, a U.S. Food and Drug Administration (FDA) aprovava o uso dos equipamentos caso a caso, consoante a avaliação da

segurança dos equipamentos. Em 1985, aprovou o uso de aparelhos de ressonância magnética para uso clínico, sendo que em Dezembro de 1985<sup>(13)</sup>, apenas nove equipamentos de MRI se encontravam aprovados pela FDA. Novos testes clínicos e experiências de segurança foram realizadas até que, em 1987, a FDA classificou todos os aparelhos com intensidade de campo inferiores a 2T, como aparelhos de risco não significante.<sup>(6,13,18,19,20)</sup>

A evolução tecnológica da MRI foi uma constante preocupação das empresas e aparelhos com intensidades de campo superiores foram sendo desenvolvidos. Em 1987 surgiram os primeiros scanners de 4T.<sup>(17,20)</sup> Em Janeiro deste ano, a Siemens colocou em funcionamento o primeiro aparelho com esta intensidade de campo, sendo seguida pela GE em Julho e pela Philips no Outono.<sup>(17)</sup>

Contudo, a introdução de aparelhos com campos mais elevados tornou-se um desafio tecnológico pois, além das questões técnicas que é necessário ter em conta para desenvolver aparelhos de MRI de corpo inteiro ("whole-body scanners"), os elevados custos dos mesmos também representaram e representam uma preocupação. Estes factores levaram assim a que, apenas no início de 1998, o primeiro aparelho de 8T fosse introduzido na Universidade de Ohio.<sup>(20,21)</sup>

Os testes clínicos que foram conduzidos nos novos aparelhos, bem como as experiências de segurança realizadas que demonstraram não existir risco no uso deste aparelhos. Schenck et al, em 1992<sup>(17)</sup>, evidenciaram a segurança de aparelhos de 4T e deixaram aberta a janela de que, aparelhos com intensidade de campo mais elevada também seriam seguros. Estas evidências levaram a que a FDA, em 1996, classificasse os aparelhos com intensidades de campo até 4T como aparelhos sem risco significante. Em 2003 uma nova norma da FDA, regulou que aparelhos com intensidade de campo magnético até 8T podem ser utilizados apenas em adultos.

Os aparelhos de MRI continuaram a registar uma evolução constante e, em 2006, Vaughan et al<sup>(23)</sup> publicou as primeiras imagens de humanos usando um aparelho com uma intensidade de campo magnético de 9.4T.

Presentemente, existem no mercado equipamentos de MRI com campos mais elevados, sendo estes utilizados em imagem animal, como por exemplo o aparelho de 11.7T da Bruker BioSpin Group.<sup>(24)</sup>

Apesar de só recentemente os aparelhos de MRI de 3T começarem a ser utilizados na prática clínica, tem-se assistido a um aumento considerável destes aparelhos



quando comparados com os aparelhos de 1.5T, prevendo-se que os scanners de 3T se tornem os aparelhos standard em MRI.<sup>(3,12)</sup>

### Agentes de Contraste

Paralelamente à evolução dos scanners de MRI, e apesar de a MRI apresentar imagens com excelente diferenciação entre estruturas, cedo se chegou à conclusão de que recorrer ao uso de agentes de contraste, forneceria uma melhor diferenciação entre estruturas onde o agente estivesse presente e as estruturas onde este não estivesse.

Actualmente, existem vários agentes de contraste aprovados para uso em MRI, tendo estes diversos tipos de agente principal. Uns são baseados em gadolínio, existindo nove produtos de contraste aprovados com este agente, outros são baseados em manganésio, existindo apenas um agente de contraste com este composto principal e, outros são baseados em óxidos de ferro, existindo dois agentes de contraste aprovados com estes agentes.<sup>(25,27)</sup>

Os primeiros produtos de contraste para uso em MRI basearam-se em gadolínio tendo, a Schering, em 1981, registado a primeira patente para a produção deste tipo de agentes. O primeiro produto de contraste introduzido foi o Magnetvist (gadopentetato dimeglumina), tendo obtido a aprovação para ser utilizado em 1988.<sup>(1,25,26,27)</sup> No ano seguinte, em 1989, a Guerbet introduz no mercado francês o Dotarem (gadoterato meglumina).<sup>(25,27,28)</sup> Em 1992 é aprovado um novo agente de contraste, o ProHance (gadoteridol),<sup>(25,26,27)</sup> sendo seguido pelo Omniscan (gadodiamida) em 1993.<sup>(25,26,27)</sup>

O quinto agente de contraste baseado em gadolínio a ser produzido foi o MultiHance (gadobenato dimeglumina) tendo o seu uso sido aprovado na Alemanha em 1998.<sup>(25,29)</sup> No ano seguinte, em 1999, dois compostos baseados em gadolínio foram lançados. O Gadovist (gadobutrol) viu o seu uso aprovado na Suíça nesse ano e, em 2000, ser aprovado na Alemanha enquanto que, o OptiMARK viu ser aprovado a sua utilização em 1999.<sup>(25,26,30)</sup>

Após a aprovação dos vários compostos de gadolínio acima referidos, dois novos compostos relativamente recentes foram aprovados na Europa. Em 2004, foi lançado o Primovist (ácido gadoxético di-sódio) e em Outubro de 2005, a União Europeia aprovou uso do Vasovist (gadofosveset tri-sódio) nos vinte e cinco estados membros.<sup>(25)</sup>

Outro grupo de agentes de contraste utilizados tem por base o manganésio. Deste grupo de meios de contraste, apenas o Teslascan (mangafodipir tri-sódio) se encontra aprovado (1997) para utilização, sendo um produto de contraste específico para melhorar a detecção, caracterização e avaliação de lesões hepáticas.<sup>(25,27,31)</sup>

Os agentes de contraste baseados em partículas de óxido de ferro são outro grupo presente no mercado. O Endorem (denominado por Feridex em alguns países como por exemplo nos EUA) encontra-se aprovado desde Fevereiro de 1996 enquanto que, o Resovist foi aprovado mais recentemente (2001) na Suécia e encontra-se comercializado na Europa e em alguns países asiáticos.<sup>(25,27,32)</sup>

### Métodos de Imagem

Os desenvolvimentos tecnológicos verificados no campo da MRI são de tal forma diversificados e de extrema importância que torna-se extremamente exaustivo realizar uma descrição de todos eles daí que, apenas algumas técnicas que permitem diminuir o tempo de aquisição de imagens sejam referidas.

A EPI, apesar de muito antiga (introduzida em 1977 por Mansfield), permite diminuir o tempo de aquisição, apresentando-se como o actual método de aquisição de imagem mais rápido, permitindo adquirir imagens em tempo real.<sup>(1,2,6,8,11,15)</sup>

Outra técnica bastante importante é a imagem paralela que, como a EPI, permite diminuir o tempo de aquisição das imagens.<sup>(33,34,35,36,37)</sup> Esta técnica, inicialmente introduzida por Carlson em 1987<sup>(33)</sup>, utiliza múltiplos elementos que permitem captar o sinal de MRI e algoritmos específicos de reconstrução de imagem para produzir a imagem, diminuindo assim, como foi referido, o tempo de aquisição. A imagem paralela foi desenvolvida por diversos investigadores até que, em 1997, Sodickson e Manning<sup>(34)</sup> apresentaram a SiMultaneous Acquisition of Spatial Harmonics (SMASH) em que, antes de aplicar a Transformada de Fourier para obter a imagem, os sinais de cada elemento da antena são combinados no espaço k, segundo um factor de ponderação atribuído ao sinal registado por cada elemento.<sup>(34,35)</sup> Em 1999, Pruessman et al<sup>(36)</sup> publicaram uma nova abordagem de imagem paralela. Nesta abordagem, estabelece-se um perfil de sensibilidade de cada elemento da antena e executa-se um mapeamento sistemático da zona coberta por cada elemento. Em seguida



existe a aplicação da transformada de Fourier obtendo as imagens adquiridas por cada elemento, sendo estas combinadas numa única imagem, consoante os perfis de sensibilidade e zona coberta por cada elemento.<sup>(35,36)</sup>

Assim, todos os desenvolvimentos acima referidos, bem como inúmeros outros que não mencionados por tornarem esta revisão extremamente longa, contribuíram para tornar a MRI como técnica de imagem de excelência no meio clínico e de investigação.

Em investigação pois além da sua elevada resolução espacial, da sua elevada resolução temporal (permite realizar exames em tempo real), a ausência de radiação ionizante torna-a um método extremamente seguro para utilizar em humanos. No meio clínico, com as vantagens acima referidas, associada à sua enorme capacidade de diferenciação tecidual, permite obter imagens de diversas partes do corpo, por exemplo do cérebro, da mama, do coração e do sistema vascular, entre outros, o que torna válida a aplicação da MRI em diversas áreas clínicas.<sup>(3,11,12,35,37)</sup>

### Segurança em MRI

Antes de abordar algumas das áreas clínicas e de investigação em que a MRI é utilizada, é necessário ter em conta alguns procedimentos de segurança. Estes, têm sido revistos ao longo dos anos, sendo publicado inúmeros trabalhos e artigos.

As principais preocupações prendem-se com os efeitos do campo magnético estático, os efeitos dos gradientes, o ruído, os efeitos dos campos de radiofrequência e a segurança dos pacientes e cuidados a ter com eles.<sup>(18,20,21,38,39,40,41,42,43)</sup>

Associados ao forte campo magnético estático, apesar de não se conhecerem efeitos biológicos consideráveis, é necessário ter em conta os efeitos de atracção que estes exercem em matérias ferromagnéticas, podendo assim causar danos graves ao aparelho ou acidentes com graves consequências para os pacientes, caso um objecto seja atraído pelo aparelho enquanto um paciente se encontra no seu interior. Assim, recomenda-se a total ausência deste tipo de objectos nas proximidades de um aparelho de MRI quer se encontrem pessoas no interior da sala do aparelho quer esta esteja vazia.<sup>(18,20,21,39,41,42,43)</sup>

Os gradientes de campo magnético utilizados podem estimular os nervos ou músculos dos pacientes por causa das correntes eléctricas que induzem sendo que, a indução destes efeitos, depende de vários factores como por exemplo as propriedades eléctricas do tecido, a polaridade do sinal e a distribuição da corrente no corpo, entre outros. Associados a estes efeitos, níveis de ruído elevados podem ser registados, devido à rápida alteração de corrente que existe nas bobines de gradiente. Com o aumentar progressivo da intensidade dos gradientes, é necessário extremo cuidado na realização dos exames, por forma a não se atingirem os valores máximos recomendados pelas normas de segurança.<sup>(18,41,42,44,45)</sup>

Os campos de radiofrequência utilizados pelo aparelho de MRI, são transformados em calor no corpo do paciente, o que pode potenciar o aumento da temperatura do paciente bem como o aparecimento de algumas queimaduras. Preocupadas com este assunto, as diversas entidades competentes, debruçaram-se sobre esta temática e definiram valores para uma taxa de absorção ("specific absorption rate – SAR"), que quantifica a quantidade de radiofrequência absorvida pelo paciente. Apesar de diversos estudos realizados que demonstraram que não existe um aumento excessivo da temperatura dos pacientes, é necessário ter em conta os valores de SAR definidos para que não se causem danos aos pacientes.<sup>(18,20,23,38,40,41,42,43,46)</sup>

Por fim, mas não menos importante, é necessário adoptar procedimentos de segurança com o próprio paciente. Estes dizem respeito à realização de um conjunto de perguntas prévias, antes mesmo dos pacientes ou qualquer outra pessoa se aproximar de um aparelho de MRI. Este inquérito é de extrema importância, devido às contra-indicações, relativas ou absolutas, que existem para se ser autorizado a entrar dentro da sala de um aparelho de MRI. Não porque realizar um exame ou entrar dentro da sala seja perigoso mas, porque existem certos aparelhos médicos ou objectos que podem causar problemas. Como exemplo podemos referir a presença de corpos estranhos metálicos nos olhos (por exemplo pequena limalha de ferro) que, com a aproximação do indivíduo ao aparelho de MRI, pode ser atraída e, o indivíduo corre o sério risco de cegar. Outros objectos que, usualmente transportamos connosco no dia a dia, como por exemplo chaves, moedas, canetas, também são atraídos pelo magneto e, podem colocar em causa a nossa própria segurança bem como a de todos os que nos rodeiam ao entrarmos dentro da sala do aparelho de MRI



pelo que, todos os objectos que possam ser atraídos pelo aparelho, não podem entrar dentro da sala.<sup>(18,20,21,41,42,43)</sup>

Um grande número de trabalhos e investigações têm sido conduzidos na área da segurança e publicados em jornais e revistas de referência. Para mais informação sobre o assunto, as referências bibliográficas indicadas sobre este tema contém referências a outros trabalhos publicados e, na internet, nos sites [www.mrisafety.com](http://www.mrisafety.com), <http://www.imrser.org>, estão disponíveis, gratuitamente, listas de trabalhos publicados nesta área.

### Aplicações Clínicas

Das inúmeras aplicações da MRI, serão referidas apenas algumas, salientando-se as que, nos últimos tempos, reconheceram a MRI com uma modalidade bastante importante.

Na imagem da mama a MRI, apesar de ter sido realizada pela primeira vez à cerca de 30 anos, apenas nos últimos anos foi aplicada com bastante entusiasmo.<sup>(12,48,50,51)</sup> Este entusiasmo recente deve-se à publicação em 2003, da primeira edição do American College of Radiology (ACR) Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS) MRI<sup>(12,49)</sup> e aos últimos desenvolvimentos dos aparelhos de MRI, que permitem que a MRI apresente, entre outras características, elevada resolução temporal e espacial, que, associadas à elevada sensibilidade e capacidade para detectar cancros ocultos na mamografia, ecografia mamária e no exame clínico da mama, tornam a MRI num modalidade de imagem com bom desempenho.<sup>(48,50,51)</sup> Usada no rastreio de pacientes com alto risco, na avaliação de pacientes com um diagnóstico novo de cancro da mama, na avaliação e monitorização da resposta dos pacientes ao tratamento de quimioterapia adjuvante e na avaliação de pacientes com metástases axilares de adenocarcinoma cujo local primário é desconhecido, a MRI permite um diagnóstico de elevada acuidade.<sup>(48,50,51)</sup>

No futuro, com a crescente utilização clínica de aparelhos de MRI de elevados campos, que permite aumentar a relação sinal-ruído, a MRI da mama pode beneficiar do aumento da resolução espacial e diminuição do tempo de exame.<sup>(12,48,50,51)</sup> O aumento da intensidade do campo magnético, permite também aumentar a diferença espectral entre a gordura e a água, o que permite a realização de espectroscopia na mama para discriminar com maior exactidão tecido normal, tecido maligno e tecido necrótico. Uma maior aplicação de sequências de difusão, permitirá determinar com maior exactidão a malignidade da lesão pois, como estudos recentes

demonstraram, estas apresentam um decréscimo na difusão.<sup>(48,50,51,52)</sup>

Na área da cardiologia (ver Figura 36), área que apresenta bastantes desafios à MRI devido, por exemplo, ao movimento cardíaco, os últimos avanços verificados, têm afirmado a MRI como modalidade importante na área do diagnóstico e investigação. Estudos recentes demonstram que a relação sinal-ruído superior, uma relação espacial e temporal mais elevada e um menor tempo de exame dos aparelhos de 3T em comparação com aparelhos de 1.5T, permitem a realização de exames com maior qualidade de imagem.<sup>(12,50,51,52,53)</sup>

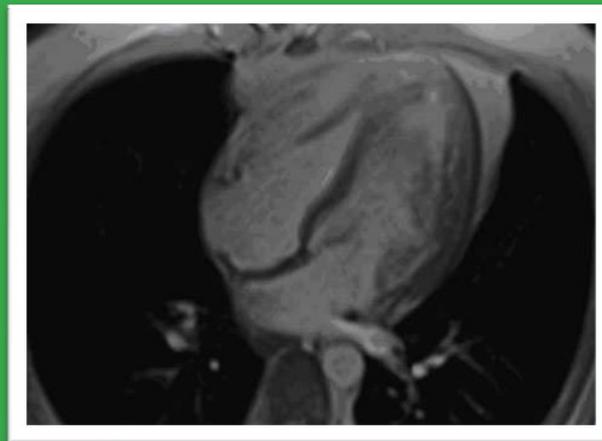


Figura 36 - - Imagem cardíaca de quatro câmaras T2 FLASH obtida a 3T. Fonte: Terry Duggan Jahns (12) Com a permissão de [www.eradimaging.com](http://www.eradimaging.com)

Os exames de MRI cardíaca requerem uma equipa de médicos cardiologistas, médicos radiologistas e técnicos de radiologia especializados na área, sendo realizados para avaliar a morfologia e função do coração, válvulas e grandes vasos associados, avaliar a perfusão e a viabilidade do miocárdio e é extremamente útil na realização da angiografia coronária.<sup>(12,37,50,51,52,53)</sup>

Com a constante evolução tecnológica que se tem verificado ao longo do tempo, espera-se que as técnicas utilizadas em MRI cardíaca sejam optimizadas e se desenvolvam novas técnicas para assim, se atingirem melhores resultados quando comparados com os actuais e, proporcionarem a possibilidade de se começar a obter informação fisiológica e metabólica.<sup>(52,53)</sup>

A capacidade dos aparelhos de MRI em fornecer excelente caracterização tecidual em conjunto com os vários mecanismos de contraste, as imagens em vários planos, a incapacidade de visualizar directamente as áreas de interesse, a capacidade de obter fornecer informação funcional e estrutural e a ausência de radiação ionizante (aspecto importante na protecção dos pacientes e profissionais de saúde), abriram novas portas à utilização da MRI em procedimentos de intervenção.<sup>(54,55,56,57)</sup> Estes



procedimentos de intervenção englobam todos os procedimentos menos invasivos em que a MRI é utilizada como modalidade de imagem para os guiar, bem como os procedimentos cirúrgicos invasivos (por exemplo cirurgias abertas).<sup>(54,56)</sup> A utilização da MRI nestes procedimentos visam tornar os mesmos mais eficientes, mais eficazes e diminuir a invasividade dos mesmos.<sup>(54,55,56)</sup>

Apesar da aplicação inicial da MRI a procedimentos de intervenção ter enfrentado algumas dificuldades por causa do desenho dos equipamentos de MRI (equipamentos fechados), novos equipamentos têm sido desenvolvidos (equipamentos abertos) que permitem acesso parcial ou total ao doente, consoante a configuração dos aparelhos de MRI.<sup>(55,56,57)</sup> A evolução verificada também nos sistemas de monitorização do paciente, sistemas terapêuticos e instrumentos utilizados nas cirurgias ou em procedimentos terapêuticos, permitiram que existam cada vez mais sistemas e instrumentos seguros em MRI, aumentando assim o número e variedade de instrumentos e aparelhos que podem entrar dentro da sala do aparelho, aumentando assim, o número e a diversidade de procedimentos intervencionais realizados.<sup>(55,56,57)</sup> Como exemplo dos vários procedimentos podemos referir a ablação por rádio-frequência guiada por MRI, a biópsia guiada por MRI, o mapeamento térmico, a angiografia de intervenção por MRI, neurocirurgias, entre outros.<sup>(54,55,57)</sup>

Emergindo como uma modalidade de excelência em procedimentos de intervenção, novos desenvolvimentos tecnológicos são esperados (como por exemplo, o desenvolvimento de robôs seguros em MRI), possibilitando o aumento das potencialidades da MRI no campo da intervenção.<sup>(54,55,56,57)</sup>

A MRI Funcional (fMRI) muitas vezes refere-se ao blood-oxygenation-level-dependent (BOLD) contraste, efeito que está associado à relação entre a resposta hemodinâmica e a actividade neuronal. Este efeito foi descrito pela primeira vez em 1990, por Ogawa et al<sup>(58)</sup> sendo que, os primeiros estudos publicados que demonstram a relação entre o efeito BOLD e actividade neuronal foram publicados pouco tempo depois.<sup>(59)</sup> Actualmente, a fMRI utilizando o efeito BOLD, é um dos métodos preferenciais para medir a actividade cerebral.<sup>(51)</sup>

Começando por ser uma actividade de investigação utilizada em estudos cognitivos e neuropsicológicos (ver Figura 37), a fMRI foi aplicada à prática clínica sendo utilizada em várias aplicações, como por exemplo, no planeamento cirúrgico.<sup>(12,35,51)</sup>

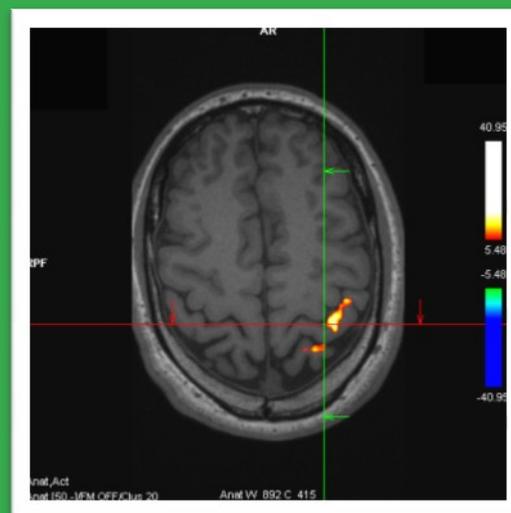


Figura 37 - Mapa de activação funcional de um paradigma motor realizado a 3T. Com a permissão de José Rebola

A fMRI realizada em aparelhos de elevados campos, permite uma melhor relação sinal-ruído e verifica-se um aumento do sinal BOLD que permite identificar áreas activas que, a campos mais baixos não eram identificáveis.<sup>(51,53,60)</sup> Os aparelhos de alto campo serão, provavelmente, os mais utilizados no futuro e, os primeiros resultados publicado por Vaughan et al<sup>(23)</sup> de imagens de humanos usando um aparelho de 9.4T corroboram a qualidade e as vantagens de se utilizarem aparelhos de alto campo em MRI.<sup>(23,60)</sup>

No futuro, para uma melhor compreensão da actividade funcional, os avanços tecnológicos esperados (por exemplo imagem paralela e o uso de antenas dedicadas de múltiplos canais) não serão suficientes.<sup>(51,53,60)</sup> É necessário adoptar uma abordagem multimodal e recorrer a um conjunto de técnicas não invasivas (por exemplo o electroencefalograma), aprofundando ao mesmo tempo o conhecimento da resposta hemodinâmica para assim, se atingir uma maior compreensão da actividade funcional.<sup>(60)</sup>

A realização de estudos dinâmicos também é possível com a utilização da MRI. Esta aplicação é possível de realizar desde 1996 quando a FONAR introduziu o Stand-Up<sup>TM</sup> MRI, tendo o seu nome sido alterado posteriormente para Fonar UPRIGHT<sup>®</sup> Multi-Position<sup>TM</sup> MRI.<sup>(61)</sup> Este aparelho permite a realização de exames com o paciente sentado, deitado ou em pé, podendo realizar flexão e extensão da zona de interesse. Vários estudos têm sido publicados sobre o tema, demonstrando as vantagens da realização dos exames de MRI em várias posições, permitindo um diagnóstico clínico mais preciso.<sup>(61,62)</sup> Para mais informação sobre o assunto, é possível consultar, gratuitamente, o site da FONAR em <http://www.fonar.com/standup.htm>.



## Conclusões e perspectivas

Os avanços tecnológicos verificados na área da MRI permitiram abrir a porta a uma nova modalidade de imagem, bastante utilizada na actualidade. A sua capacidade de excelente diferenciação tecidual, aliada à elevada resolução temporal e espacial e à não utilização de radiação ionizante, torna-a uma modalidade com elevado poder nas áreas clínica e científica.

Os actuais equipamentos, já potenciam o uso da MRI em novas áreas, por exemplo o caso da imagem molecular (imagem de acontecimentos a nível celular e sub-celular)<sup>(63)</sup> esperando-se que, o desenvolvimento dos equipamentos actuais e o florescimento do uso de aparelhos de 7, 9.4 e 11.7T (este em desenvolvimento no Laboratório Europeu Neurospin<sup>(64,65)</sup>), permitam aumentar a qualidade das imagens adquiridas e potenciar o desenvolvimento e crescimento das actuais técnicas bem como o desenvolvimento de novas técnicas que permitam aumentar a qualidade clínica e investigacional da MRI.

## Agradecimentos

Ao Dr. Hugo Ferreira da Siemens, venho agradecer a aquisição e tratamento das imagens funcionais. Ao José Rebola, Dra. Terry Dugan-Jahns e Eradimaging agradeço a permissão para a inclusão de imagens. Ao Professor John Schenck e Professor Frank G. Shellock pelos artigos e apoio disponibilizados. ■

## Referências Bibliográficas:

1. Magnetic Resonance – Technology Information Portal. MRI History. (2008) [acedido a 16 de Setembro de 2008] Disponível em: <http://www.mrtip.com/serv1.php?type=db1&db=MRI%20History>
2. Hornak, J.P. The basics of MRI. (2008) [acedido a 16 de Setembro de 2008] Disponível em: <http://www.cis.rit.edu/htbooks/mri/inside.htm>
3. Bell, R. A. Magnetic resonance in Medicine in 2020. Imaging Economics (Dezembro de 2004). [acedido a 16 de Setembro de 2008] Disponível em: [http://www.imagingeconomics.com/issues/articles/2004-12\\_02.asp](http://www.imagingeconomics.com/issues/articles/2004-12_02.asp)
4. Toga, Arthur W., Mazziotta, John C. Brain Mapping – The Methods. Cademic Press (2002), 2ª edição, Capítulo 12, pp.: 291-313.
5. Meadows, Michael. Precession and Sir Joseph Larmor. Concepts in Magnetic Resonance, Vol.11 (nº 4) (1999), pp: 239-241.
6. Huettel, Scott A., Song, Allen W., McCarthy, Gregory. Functional Magnetic Resonance Imaging. EUA: Sinauer Associates (2004), 1ª edição.
7. Gil, Victor M.S., Gerald, Carlos F.G.C. Ressonância Magnética Nuclear, Fundamentos, Métodos e Aplicações. Coimbra: Fundação Calouste Gulbenkian (2002), 2ª Edição, capítulo 1, pp: 3-4.
8. Rinck, Peter A. A short history of magnetic resonance imaging. Spectroscopy Europe, Vol. 20 (nº 1) (2008), pp: 7-9.
9. Ramsey, Norman F. Early History of Magnetic Resonance. Phys. Perspect. Vol. 1 (nº 2) (1999), pp: 123-135.
10. Toga, Arthur W., Mazziotta, John C. Brain Mapping – The Methods. Cademic Press (2002), 2ª edição, Capítulo 14, pp.: 351-378.
11. Toga, Arthur W., Mazziotta, John C. Brain Mapping – The Methods. Cademic Press (2002), 2ª edição, Capítulo 16, pp.: 399-426.
12. Dugan-Jahns, Terry. The Evolution of Magnetic Resonance Imaging:3T MRI in Clinical Applications. Eradimaging (2008) [acedido a 19 de Setembro de 2008] Disponível em: <http://eradimaging.com/site/article.cfm?ID=426>
13. Scherzinger, Ann L. E Hendee, William R. Basic Principles of Magnetic Resonance Imaging – an Update. In High-tech medicine [special issue], The Western Journal of Medicine, Vol. 143 (nº 6) (1985), pp: 782-792.
14. Kumar, A. , Welti, D., Ernst, R.R. Imaging of Macroscopic objects by NMR Fourier Zeugmatography. Naturwissenschaften, Vol. 62 (1975).
15. Mansfield, Peter. Multi-planar image formation using NMR spin echoes. J. Phys. C.: Solid State Phys., Vol. 10 (1977), pp: L55-L58.
16. McFarland, Eric W., Rosen, Bruce R. NMR Instrumentation and Hardware Available at Present and in the Future. Cardiovasc. Intervent. Radiol., Vol. 8 (nº 5) (1986), pp. 238-250.
17. Schenck, Jonh F., Dumoulin, C.L., Redington, R.W., Kressel, H. Y., Elliot, R. T., McDougall, I. L. Human exposure to 4.0-Tesla magnetic fields in a whole-body scanner. Med. Phys., Vol. 19 (nº 4) (1992), pp.: 1089-1098.
18. Shellock, Frank G., Crues, John V. MR Procedures: Biologic Effects, Safety and Patient Care. Radiology, Vol. 232 (nº 3) (2004), pp.: 635-652.
19. Schenck, Jonh F. Physical interactions of static magnetic fields with living tissues. Progress in Biophysics and Molecular Biology, Vol. 87 (2005), pp.: 185-204.
20. Schenck, John F. Safety of Strong, Static Magnetic Fields. Journal of Magnetic Resonance Imaging, Vol. 12 (nº 1) (200), pp.: 2-19.
21. Kangarlu, A., Burgess, R.E., Zhu, H., Nakayama, T., Hamlin, R.L., Abduljalil, A.M., Robitaille, P.M.L. Cognitive, Cardiac, and Physiological Safety Studies in Ultra High Field Magnetic Resonance Imaging. Magnetic Resonance Imaging, Vol. 17 (nº 10) (1999), pp: 1407-1416.

