

Como funciona a geração de imagens por ressonância magnética

por Todd Gould - traduzido por HowStuffWorks Brasil

Introdução

Em 3 de julho de 1977, ocorreu algo que mudaria o cenário da medicina moderna, embora mal tenha sido notado fora da comunidade de pesquisas médicas: foi feito o primeiro exame de ressonância magnética em um ser humano.

Foram necessárias quase cinco horas para produzir uma imagem. E se compararmos com os padrões atuais, as imagens eram bem feias. Dr. Raymond Damadian, médico e cientista, e seus colegas Dr. Larry Minkoff e Dr. Michael Goldsmith trabalharam durante sete longos anos para chegar a esse ponto. Eles chamaram a primeira máquina de "**Indomável**", numa forma de captar o espírito de sua luta para fazer o que todos diziam ser impossível.

Agora, essa máquina se encontra na Smithsonian Institution (Instituto Smithsonian). Até 1982, havia poucos **aparelhos de ressonância magnética** nos EUA. Hoje, há milhares. Hoje podemos gerar em segundos as mesmas imagens que levavam horas antigamente.

A tecnologia deste exame é bastante complicada e nem todos a compreendem bem. Neste artigo, você vai aprender como funciona uma dessas grandes e barulhentas máquinas de ressonância magnética. O que acontece com o seu corpo enquanto você está na máquina? O que você pode ver com ela e por que tem de ficar tão imóvel durante o exame? Você vai encontrar as respostas para essas e muitas outras perguntas aqui - não perca tempo!



Foto cedida NASA

Um aparelho de ressonância

O conceito básico

Se você já viu um aparelho de ressonância magnética, deve saber que o design básico da maioria deles é quase um **cube** gigante. O cubo de um aparelho comum deve ter 2 m de altura x 2 m de largura x 3 m de comprimento, embora os modelos mais novos estejam ficando cada vez menores. Há um **tubo horizontal** que atravessa o **magneto** (ímã) da parte dianteira até a traseira. Esse tubo é uma espécie de **vão** do magneto. O paciente, deitado de costas, desliza para dentro do vão por meio de uma mesa especial. O que vai determinar se o paciente vai entrar primeiro com a cabeça ou com os pés, ou até onde o magneto irá, é o tipo de exame que será realizado. Embora os aparelhos venham em tamanhos e formatos diferentes, e os novos modelos possam ter uma certa abertura nas laterais, o design básico é o mesmo. Assim que a parte do corpo que deve ser examinada atinge o centro exato ou **isocentro** do campo magnético, o exame começa.

Em conjunto com os pulsos de energia das [ondas de rádio](#), o aparelho pode selecionar um **ponto** bem pequeno dentro do corpo do paciente e perguntar a ele, "Que tipo de tecido você é?" O ponto pode ser um cubo com lados de meio milímetro. O aparelho de ressonância percorre cada ponto do corpo do paciente, construindo um **mapa** em 2-D ou 3-D dos tipos de tecido. Então, ele junta todas essas informações para criar **imagens em 2-D** ou **modelos em 3-D**.

Mas a verdade é que esse exame fornece uma visão sem igual do interior do corpo humano. O nível de detalhes que podemos ver é extraordinário quando comparado com qualquer outro tipo de exame de imagens. A ressonância magnética é o método preferido para o **diagnóstico** de muitos tipos de traumas e doenças devido à sua incrível capacidade de **personalizar** o exame de acordo com o problema médico específico. Ao modificar os parâmetros dos exames, o aparelho de ressonância pode fazer com que tecidos do corpo apareçam de maneiras diferentes. E isso é muito útil para que o radiologista (que lê o exame) determine se algo visto é normal ou não. Se sabemos que ao fazer "A", o tecido normal terá a aparência "B", e se isso não acontecer, pode haver alguma anomalia. Os sistemas de ressonância magnética também podem fazer imagens do [sangue](#) circulando em praticamente qualquer parte do

corpo. Isto nos permite realizar estudos que mostram o **sistema arterial** do corpo sem mostrar o tecido ao seu redor. E o que é mais impressionante, em muitos casos, o aparelho consegue fazer isto sem **injeção de contraste**, que é necessária na radiologia vascular.

Intensidade magnética

Para entender como o aparelho de tomografia por ressonância magnética funciona, vamos começar pela palavra "magnética". O maior e mais importante componente em um sistema de ressonância magnética é o **magneto**. O magneto de um sistema de ressonância magnética é classificado por uma unidade de medida conhecida como **tesla**. Outra unidade de medida normalmente usada com magnetos é o **gauss** (1 tesla = 10 mil gauss). Os magnetos utilizados nos sistemas de ressonância magnética atualmente estão dentro da faixa de 0,5 a 2 tesla, ou de 5 mil a 20 mil gauss. Os campos magnéticos maiores do que **2 tesla** não foram aprovados para uso médico, apesar de haver magnetos muito mais poderosos (até 60 tesla) sendo utilizados em pesquisas. Comparado com o campo magnético de 0,5 gauss da Terra, dá para ver a força desses magnetos.

Números assim ajudam a compreender racionalmente a força magnética, mas os exemplos diários também são úteis. O local do aparelho de tomografia por ressonância magnética pode ser um lugar perigoso se não tomarmos precauções muito severas. **Objetos de metal** podem se tornar projéteis perigosos se forem levados à sala de exames. Por exemplo, clipes de papel, canetas, chaves, tesouras, hemostatos, estetoscópios e quaisquer outros objetos pequenos podem ser puxados de bolsos e do corpo de repente, voando para a abertura do magneto (onde o paciente fica) a velocidades muito altas e ameaçando qualquer um que esteja na sala. Além disso, [cartões de crédito](#), cartões de banco e qualquer outra coisa com tarjas magnéticas terão seus dados apagados pela maioria dos sistemas de ressonância magnética.

A **força magnética** exercida sobre um objeto aumenta **exponencialmente** conforme ele se aproxima do ímã. Imagine ficar a 4,6 metros de distância do magneto com um chave inglesa grande na sua mão. Você pode sentir só um puxãozinho. Aí, você se aproxima uns dois passos e o puxão fica muito maior. Quando chegar a uma distância de 1 metro do magneto, a chave provavelmente vai ser puxada da sua mão. Quanto mais massa um objeto tiver, mais perigoso ele pode ser, já que a força com a qual ele é atraído será muito maior. Baldes, [aspiradores de pó](#), tanques de oxigênio, macas, monitores [cardíacos](#) e vários outros objetos já foram puxados para dentro dos campos magnéticos de aparelhos de ressonância magnética. Dos casos que fiquei sabendo, o maior objeto a ser puxado foi uma pequena empilhadeira totalmente carregada (veja abaixo). Os objetos menores não são difíceis de tirar do magneto - basta usar a mão. Já os maiores podem precisar de uma alavanca ou talvez seja necessário desligar o campo magnético.



Foto cedida NASA

Nesse exame, dá para ver claramente os pedaços estilhaçados de um pulso humano após uma queda.



Uma pequena empilhadeira carregada que foi atraída para o vão de um aparelho de ressonância magnética

Verificação de segurança

Antes que um paciente ou membro da equipe entre na sala onde está o equipamento, ele passa por uma verificação completa em busca de objetos de metal. Até esse ponto, nós só falamos sobre os objetos externos. Mas muitas vezes, pacientes têm implantes que fazem com que seja muito perigoso ficar na presença de um campo magnético forte.

Fragmentsos metálicos no olho são muito perigosos porque um movimento desses fragmentos poderia causar danos ao [olho](#) ou até mesmo cegueira. Seus olhos não cicatrizam como o resto do seu corpo. Um fragmento de metal no seu olho que já está lá há 25 anos é tão perigoso hoje como era antes, porque não há tecido de cicatrização para mantê-lo no lugar. E pessoas com **marca-passos** não podem usar esse aparelho ou mesmo chegar perto dele, pois o magneto pode impedir o funcionamento correto do dispositivo cardíaco.

O magneto também pode mover os **clipes de aneurisma** colocados no [cérebro](#), fazendo com que eles rasguem a artéria em que foram colocados. E também há **implantes dentários** que são magnéticos. Já a maior parte dos **implantes ortopédicos**, mesmo que sejam ferromagnéticos, não causam problemas por serem encravados no osso. Mesmo os grampos de metal na maioria das partes do corpo não apresentam problema nenhum, já que após ficarem em um paciente por algumas semanas (normalmente seis semanas), os tecidos de cicatrização se formam para mantê-los no lugar.

Pacientes com implantes ou objetos metálicos dentro do corpo são analisados para ter certeza de que a tomografia é segura para eles. Alguns pacientes não podem utilizar o equipamento de tomografia porque os riscos são grandes demais. Quando isso acontece, sempre há um método de exame alternativo que pode ajudá-los.



Foto cedida NASA

Essas imagens comparam um indivíduo jovem (esquerda) com um homem atlético com cerca de 80 anos (centro) e uma pessoa da mesma idade com mal de Alzheimer (direita), todas feitas no mesmo nível

Não há riscos biológicos conhecidos para quem é exposto a campos magnéticos utilizados na medicina hoje em dia. Mas a maior parte das clínicas e hospitais prefere não fazer exames em **mulheres grávidas**. Isto se deve ao fato de que não foram feitas muitas pesquisas sobre os efeitos biológicos em fetos em desenvolvimento. O primeiro trimestre de uma gravidez é o mais crítico por ser o momento em que a reprodução e divisão celular ocorrem com maior rapidez. Mas a decisão de fazer ou não fazer o exame em mulheres grávidas é tomada em cada caso com uma conversa entre o radiologista e o obstetra da paciente. O benefício de realizar o exame deve ser maior do que o risco para a mãe e para o feto, por menor que ele seja. Mas as técnicas que estão grávidas e trabalham com aparelhos de ressonância magnética podem continuar a trabalhar quase que normalmente. A única diferença na maioria dos casos é que elas simplesmente ficam fora da sala de exame durante a gravidez.

Os magnetos

Há 3 tipos básicos de magnetos que são usados em sistemas de ressonância magnética. Verifique abaixo.

- Os **magnetos resistivos** consistem em muitas voltas de fios enrolados ao redor de um cilindro por onde passa uma corrente elétrica. Isso gera um campo magnético. Se a eletricidade for desligada, o campo magnético também se desliga. Esses magnetos são mais baratos de construir do que um supercondutor (veja abaixo), mas requerem grandes quantidades de eletricidade (até 50 quilowatts) para operar devido à resistência natural no fio. Para fazer esse tipo de magneto operar acima do nível de 0,3 tesla seria extremamente caro.
- Já um **magneto permanente** é o que o nome diz: permanente. Seu campo magnético sempre está presente e com força total, o que significa que não se gasta nada para manter o campo. A principal desvantagem é que são pesados demais: pesam muitas toneladas no nível de 0,4 tesla. Um campo mais forte precisaria de um magneto tão pesado que seria difícil construí-lo. E embora esse tipo de

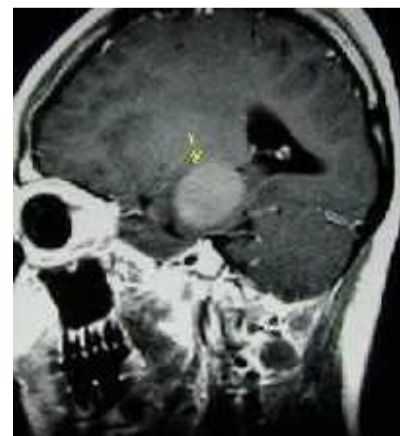


Foto cedida NASA

Essa imagem mostra o crescimento do tumor em um cérebro feminino, cortado aqui em vista lateral

magneto esteja ficando cada vez menor, ainda está limitado a campos com pouca intensidade.

- Os **magnetos supercondutores** são os mais utilizados. Um [magneto supercondutor](#) é um pouco semelhante a um magneto resistivo: ele é feito de enrolamentos de fios pelos quais passa uma corrente elétrica que cria o campo magnético. A diferença importante é que o fio é continuamente banhado em hélio líquido a uma temperatura de $-233,5^{\circ}\text{C}$. Sim, quando você fica dentro de um aparelho de ressonância magnética, fica rodeado por uma substância fria! Mas não se preocupe, ele é muito bem isolado por um vácuo, assim como o utilizado em uma [garrafa térmica](#). Esse frio quase inimaginável faz com que a resistência no fio caia a zero, reduzindo dramaticamente a necessidade elétrica do sistema e tornando muito mais econômica sua operação. Os sistemas supercondutores ainda são muito caros, mas podem facilmente gerar campos que vão de 0,5 tesla a 2,0 tesla, gerando imagens de qualidade muito melhor.

Mais magnetos

Os magnetos fazem com que os aparelhos de ressonância magnética sejam pesados, mas eles ficam mais leves a cada nova geração. Por exemplo, na instituição em que trabalho, estamos nos preparando para substituir um aparelho com oito anos e que pesa cerca de 7.711 kg por um novo que pesa 4.400 kg. O novo magneto também tem mais ou menos 1,2 m a menos do que o que usamos agora. E isso é importantíssimo para pacientes claustrofóbicos. Nosso sistema atual não pode lidar com pessoas com mais de 134 kg. Mas o novo vai acomodar pacientes que tenham até 181 kg! Cada vez mais, esses aparelhos vão se adaptando às necessidades dos pacientes.

Um campo magnético bem uniforme, ou **homogêneo**, com grande intensidade e estabilidade, é essencial para gerar imagens de alta qualidade. Ele forma o campo magnético principal. Magnetos como esses descritos acima tornam esse campo possível.

Outro tipo de magneto encontrado em todos os aparelhos de ressonância se chama **magneto gradiente**. Há 3 magnetos gradientes dentro de um aparelho. Estes magnetos têm intensidade extremamente baixa quando comparados ao campo magnético principal, variando a intensidade de 180 a 270 gauss, ou de 18 a 27 militesla. A função dos magnetos gradientes vai ficar mais clara posteriormente neste artigo.

O magneto principal coloca o paciente em um campo magnético **estável** e muito intenso, enquanto os magnetos gradientes criam um campo **variável**. O resto do aparelho de ressonância consiste em um potente sistema computacional, alguns equipamentos que nos permitam transmitir pulsos de radiofrequência para o corpo do paciente durante o exame e muitos outros componentes de segunda ordem.

Vamos descobrir mais sobre alguns dos princípios básicos envolvidos na criação de uma imagem.

Entendendo a tecnologia: Átomos

O corpo humano é composto por bilhões de átomos, os tijolos fundamentais de todo o tipo de matéria. O núcleo de um átomo gira sobre um eixo. Imagine o núcleo de um átomo como um pião que gira em algum ponto fora do seu eixo vertical.

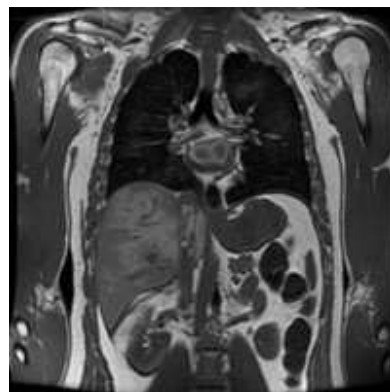
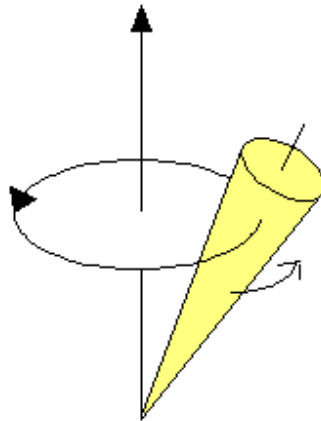


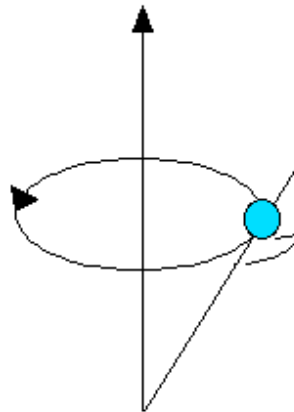
Foto cedida NASA

Imagem por ressonância que mostra alguns dos órgãos internos da parte superior do tronco



Um pião girando levemente fora do eixo vertical realiza um movimento de precessão

Campo Magnético Principal

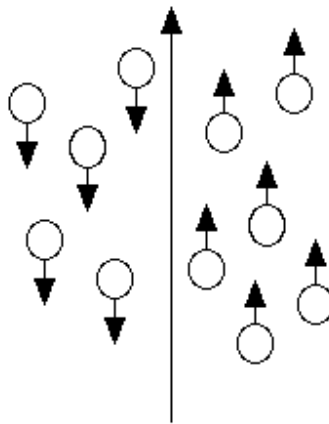


Um átomo de hidrogênio em precessão sob influência de um campo magnético

Imagine bilhões de núcleos, todos girando em todas as direções. Há muitos tipos diferentes de átomos no corpo, mas para os propósitos da ressonância magnética, os que importam são os **átomos de hidrogênio**. Ele é um átomo ideal para a ressonância magnética porque seu núcleo tem somente um **próton** e um elevado **momento magnético**. O alto momento magnético significa que, ao ser colocado em um campo magnético, o átomo de hidrogênio tem uma forte tendência em se alinhar com a direção do campo.

Dentro do **vão** do equipamento, o campo magnético passa diretamente pelo centro do tubo em que colocamos o paciente. Isto significa que se um paciente estiver deitado lá, os prótons de hidrogênio do seu corpo irão se alinhar na direção dos pés ou da cabeça. A grande maioria desses prótons vai **se anular**, ou seja, para cada um alinhado na direção dos pés, haverá um na direção da cabeça para anulá-lo. Apenas uns poucos prótons em cada milhão não são anulados. Isto pode não parecer muito, mas o valor total de átomos de hidrogênio no corpo vai nos dar exatamente o que precisamos para criar imagens maravilhosas.

Campo Magnético Principal



Todos os prótons de hidrogênio vão se alinhar com o campo magnético em um dos dois sentidos. A grande maioria acaba se anulando, mas, como mostramos aqui, em qualquer amostra sempre há um ou dois prótons "extras".

Dentro do campo magnético, esses bilhões de prótons "extras" ficam alinhados e prontos. E agora?

Entendendo a tecnologia: RF (radiofrequência)

O aparelho de ressonância magnética usa pulsos de RF ([radiofrequência](#)) direcionados somente ao hidrogênio. O aparelho direciona esse pulso para a área do corpo que queremos examinar. E ele faz com que os prótons naquela área **absorvam a energia** necessária para fazê-los girar em uma direção diferente. E é a essa parte que se refere à palavra "**ressonância**" do termo ressonância magnética. O pulso de RF força os prótons (somente 1 ou 2 que não se anularam em cada milhão) a girar em uma frequência e direção específicas. A frequência específica de ressonância é chamada de **frequência de Larmor** e é calculada com base no tecido cuja imagem vai ser gerada e na intensidade do campo magnético principal.

Geralmente, estes pulsos de RF são aplicados através de uma **bobina**. Os aparelhos de ressonância magnética vêm com diferentes bobinas projetadas para diferentes partes do corpo: joelhos, ombros, pulsos, cabeça, pescoço e outras. Essas bobinas geralmente se adaptam ao contorno da parte do corpo cuja imagem irão gerar, ou ao menos ficam bem próximas a elas durante o exame. Quase que ao mesmo tempo, os três **magnetos gradientes** entram em ação. Eles são organizados de tal maneira dentro do magneto principal que ao serem ligados e desligados rapidamente e de maneiras determinadas, **alteram** o campo magnético principal em um nível bem **localizado**. E isto significa que podemos selecionar a área exata da qual queremos uma imagem. Em termos técnicos, chamamos essas áreas de "**fatias**". Imagine um pedaço de pão com fatias de largura menor que alguns milímetros. As porções da ressonância magnética têm esse nível de precisão. É possível "fatiar" qualquer parte do corpo em qualquer direção, dando uma grande vantagem sobre qualquer outro tipo de exame de imagens. E, além disso, não é preciso mover o aparelho para obter uma imagem de uma direção diferente, pois ele pode manipular tudo com os magnetos gradientes.

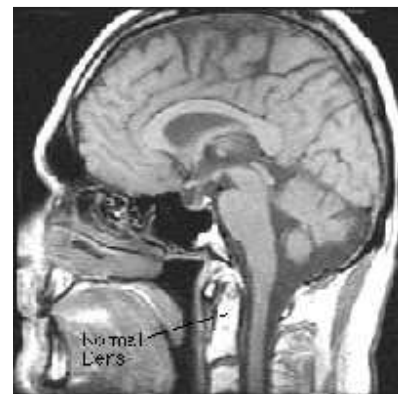


Foto cedida NASA

Comparadas com a maioria das imagens geradas por tomografia computadorizada, as feitas por ressonância magnética costumam ser mais detalhadas e ter mais contraste

Quando o pulso de RF é desligado, os prótons de hidrogênio começam a retornar lentamente (em termos relativos) aos seus **alinhamentos naturais** dentro do campo magnético e **liberam** o excesso de

energia armazenada. Ao fazer isso, eles emitem um sinal que a bobina recebe e envia para o computador. Esses dados matemáticos são convertidos por meio de uma **transformada de Fourier**, em uma imagem que podemos colocar em um filme. E é por isso que falamos tanto que este é um exame de "imagens".

Mas como a imagem é convertida em uma foto que nos revela os detalhes que procuramos?

Visualização

A maioria dos exames de imagem usa **contraste injetável**, ou corantes, em certos procedimentos. E o exame que estamos estudando não é diferente. O que é diferente é o tipo de contraste utilizado, como ele funciona e o motivo de sua utilização.

O contraste ou corante utilizado em uma [radiografia](#) e em uma tomografia computadorizada funcionam da mesma maneira porque ambos usam raios X (**radiação ionizante**). Estes agentes funcionam **impedindo** que os [fótons](#) do raio X passem pela área em que estão localizados e atinjam o filme. Isto causa diferentes níveis de **densidade** no filme, tanto no raio X quanto na tomografia computadorizada. Mas não se preocupe, essas tintas não têm impacto fisiológico direto sobre os tecidos do corpo. Quanto à maneira de agir, o contraste utilizado na ressonância magnética tem uma diferença fundamental.

Ele funciona **alterando o campo magnético local** do tecido que está sendo examinado. Tecido normal e anormal não irão reagir da mesma maneira a essa pequena alteração e criarão sinais diferentes. Estes **sinais variantes** são transferidos para as imagens, permitindo que visualizemos vários tipos de anomalias nos tecidos e processos de doenças melhor do que veríamos sem o contraste.

Agora que você sabe como funciona o aparelho de ressonância magnética, vamos ver quais situações podem pedir esse tipo de exame.

Vantagens

Por que o seu médico pediria uma ressonância magnética? Porque a única maneira melhor de ver seu corpo por dentro é abri-lo. A tomografia por ressonância magnética é ideal para:

- diagnosticar **esclerose múltipla**
- diagnosticar **tumores** na [glândula pituitária](#) e no [cérebro](#)
- diagnosticar **infecções** no cérebro, medula espinal ou articulações
- visualizar **ligamentos rompidos** no pulso, joelho e tornozelo
- visualizar **lesões no ombro**
- diagnosticar **tendinite**
- avaliar **massas** nos tecidos macios do corpo
- avaliar **tumores ósseos, cistos e hérnias de disco** na coluna
- diagnosticar **derrames** em seus estágios iniciais

E essas são apenas algumas das muitas razões pelas quais um exame de ressonância deve ser realizado.

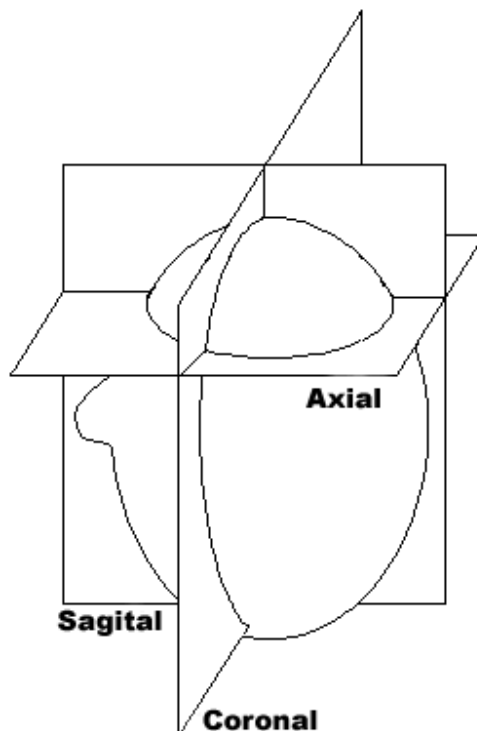
O fato de os aparelhos de ressonância não usarem radiação ionizante é um conforto para muitos pacientes, assim como o fato de os materiais de contraste terem uma incidência de **efeitos colaterais** muito pequena. Outra grande vantagem da ressonância magnética é sua capacidade de gerar imagens de **qualquer plano**. A tomografia é limitada a um só plano, o plano axial (na analogia do pão, o plano axial seria a maneira que normalmente fatiamos pães para fazer torradas). Já um aparelho de ressonância magnética é capaz de criar **imagens axiais** e imagens no **plano sagital** (como se o pão



Foto cedida NASA

Essa ressonância magnética mostra a vista lateral da parte superior do tronco. Note como os ossos da espinha são evidentes.

fosse cortado no sentido de sua extensão) e **coronal** (imagine as camadas de um bolo) ou qualquer nível entre esses. E o que é melhor, o paciente não precisa fazer nenhum movimento. Se você já fez um exame de raio X, sabe que cada vez que eles tiram uma foto diferente, você tem de se mexer. Os 3 magnetos gradientes de que já falamos permitem que o aparelho de ressonância escolha a parte exata do corpo da qual se quer gerar uma imagem e oriente o corte das "fatias".



Fatias axiais, coronais e sagitais

Desvantagens

Embora esse tipo de exame seja ideal para diagnosticar e avaliar vários problemas, ele tem suas desvantagens. Verifique abaixo.

- Há muitas pessoas que não podem fazer esse exame por questões de segurança (por exemplo, pessoas com **marca-passos**) e há pessoas que são **grandes demais** para entrar na máquina.
- O número de pessoas com **claustrofobia** no mundo é muito grande. E estar em um aparelho de ressonância magnética é uma experiência muito incômoda para elas.
- Durante o exame, a máquina faz muito **barulho**. São sons de batidas contínuas e rápidas. Por isso, os pacientes recebem protetores ou fones de ouvido para abafar o barulho (na maioria dos centros de exame de ressonância magnética, você pode até levar uma [fita cassete](#) ou [CD](#) para ouvir). O barulho é criado pelo aumento da corrente elétrica nos fios dos magnetos gradientes que estão enfrentando a resistência do campo magnético principal. Quanto mais forte o campo principal, mais alto o barulho dos magnetos gradientes.
- Os pacientes devem **ficar completamente imóveis** durante longos períodos de tempo. Estes exames podem durar de 20 a 90 minutos ou mais. E mesmo o menor movimento da parte do corpo sendo examinada pode fazer com que as imagens fiquem completamente distorcidas e tenham de ser refeitas.
- Equipamentos ortopédicos (pinos, placas, articulações artificiais) na área do exame podem causar graves **distorções** nas imagens. Isso porque o equipamento cria uma alteração significativa no campo magnético principal. Lembre-se, é essencial que haja um campo uniforme na hora de gerar boas imagens.

- Os equipamentos de ressonância são extremamente **caros**, o que acaba deixando os exames caros também.

Os benefícios quase que ilimitados da ressonância magnética para a maior parte dos pacientes batem de longe suas poucas desvantagens.

O futuro do exame de ressonância magnética

O futuro desse exame parece ser limitado apenas pela nossa imaginação. Esta tecnologia ainda está engatinhando, se compararmos com outras. Ela tem sido usada em larga escala por menos de 20 anos (quando comparamos com os mais de 100 anos dos raios X).

Há muitos **aparelhos menores** em desenvolvimento para gerar imagens de partes específicas do corpo. Por exemplo, um aparelho no qual você simplesmente coloca o seu braço, joelho ou pé já são utilizados em algumas áreas. Nossa capacidade de visualizar o sistema arterial e venoso melhora a cada dia. O **mapeamento das funções do cérebro** (examinar o cérebro de uma pessoa enquanto ela realiza uma tarefa física específica, como apertar uma bola ou olhar um tipo específico de foto) está ajudando os pesquisadores a compreender melhor [como funciona o cérebro](#). Além disso, há pesquisas em algumas instituições que visam gerar imagens da dinâmica da ventilação dos [pulmões](#), através do uso de gás hélio-3 hiperpolarizado. E o desenvolvimento de maneiras novas e melhoradas de gerar imagens de derrames em seus estágios iniciais também está em progresso.

Prever o futuro dos exames de ressonância magnética é um mero exercício de especulação, mas não tenho dúvidas de que será um futuro bastante empolgante para nós que trabalhamos na área e benéfico para os pacientes de quem cuidamos. A tomografia por ressonância magnética é um campo com futuro virtualmente ilimitado. Espero que este artigo tenha ajudado a entender melhor os princípios básicos de como ela funciona!

(*) Tabela 21.1 – Coeficientes de sensibilidade magnética de núcleos.

Núcleo	Sensibilidade reativa
¹ H	1,0
² H	0,0096
¹³ C	0,016
²³ Na	0,093
³¹ P	0,066
¹⁹ F	0,830

(*) Eduardo A. C. Garcia, Biofísica, 1ª Ed. 2009. Edit. Savier. (ISBN 85-7378-081-9).