

Segurança nos exames de ressonância magnética: riscos físicos, barreiras de controle e organização do serviço.

Safety in magnetic resonance imaging examinations: physical hazards, control barriers, and healthcare service management.

Eguinaldo Lopes do Nascimento

RESUMO

A ressonância magnética não emprega radiação ionizante, e essa característica consolidou entre profissionais e pacientes a ideia de que se trata de um exame sem riscos. Os registros de eventos adversos contam outra história: o ambiente magnético concentra perigos que não existem em nenhuma outra sala de imagem, e quase todos eles decorrem de falhas de processo, não de defeito do equipamento. Este artigo revisa as quatro fontes de risco do ambiente de ressonância — campo magnético estático, gradientes comutados, radiofrequência e sistema criogênico —, examina as barreiras de controle consagradas na literatura e discute como elas se traduzem na organização de um serviço. Trata-se de revisão narrativa, construída a partir dos documentos de referência do American College of Radiology, das normas IEC 60601-2-33 e ASTM F2503, das diretrizes da ICNIRP e de artigos de revisão indexados. A análise mostra que a proteção efetiva não vem de um dispositivo isolado, mas do encadeamento de barreiras independentes: o controle de acesso por zonas, a triagem documentada e repetida, a qualificação formal da equipe e a verificação de compatibilidade de cada implante antes do exame. Mostra também que as queimaduras por radiofrequência, responsáveis pela maior parte das notificações, resultam de arranjos evitáveis de cabos e de contato pele a pele. Conclui-se que o ganho de segurança depende menos de investimento em tecnologia do que de disciplina de processo e de uma cultura que autorize qualquer integrante da equipe a interromper o exame diante de uma dúvida não resolvida.

Palavras-chave: Ressonância magnética. Segurança do paciente. Gestão de risco. Radiologia. Eventos adversos.

ABSTRACT

Magnetic resonance imaging does not use ionizing radiation, and this feature has led both professionals and patients to regard it as a risk-free examination. Adverse event records tell a

different story: the magnetic environment concentrates hazards found in no other imaging room, and nearly all of them arise from process failures rather than equipment malfunction. This article reviews the four sources of risk in the MR environment — the static magnetic field, switched gradients, radiofrequency and the cryogenic system —, examines the control barriers established in the literature and discusses how they translate into the organisation of a service. It is a narrative review based on the reference documents of the American College of Radiology, the IEC 60601-2-33 and ASTM F2503 standards, the ICNIRP guidelines and indexed review articles. The analysis shows that effective protection does not come from any single device, but from a chain of independent barriers: zone-based access control, documented and repeated screening, formal staff qualification and verification of the compatibility of every implant before the examination. It also shows that radiofrequency burns, which account for most notifications, result from avoidable cable arrangements and skin-to-skin contact. The conclusion is that safety gains depend less on technological investment than on process discipline and on a culture that authorises any member of the team to halt the examination when a doubt remains unresolved.

Keywords: Magnetic resonance imaging. Patient safety. Risk management. Radiology. Adverse events.

1 INTRODUÇÃO

A ressonância magnética ocupa hoje um lugar central no diagnóstico por imagem. Ela distingue tecidos moles com uma nitidez que nenhum outro método alcança, permite estudar função além de anatomia e dispensa por completo a radiação ionizante. Esse último atributo explica boa parte de sua reputação. Em serviços onde a proteção radiológica estrutura a rotina — dosímetros, avental plumbífero, cálculo de dose —, a sala de ressonância aparece como o lugar onde nada disso é necessário, e a ausência de um risco conhecido acaba lida como ausência de risco.

A literatura desmente essa leitura sem hesitar. Sherlock e Crues (2004) já descreviam o ambiente magnético como um espaço com perigos próprios, alguns capazes de matar em segundos, e observavam que a percepção de inocuidade era justamente o que os tornava perigosos. Quinze anos depois, Delfino et al. (2019) revisaram dez anos de notificações de eventos adversos enviadas à agência reguladora norte-americana e encontraram um padrão estável: lesões térmicas dominavam os registros, seguidas por eventos envolvendo objetos ferromagnéticos atraídos pelo ímã, e a imensa maioria dos casos não decorria de falha do equipamento. Decorria de algo que deixou de ser feito.

A diferença entre a ressonância e os métodos que usam radiação ionizante não está na existência do risco, mas na sua natureza. A dose de radiação se acumula e pode ser medida; os danos aparecem no longo prazo e a proteção se faz por atenuação e otimização. Na ressonância, o risco é imediato e categórico. O ímã supercondutor permanece ligado vinte e quatro horas por dia, inclusive com o equipamento desligado do ponto de vista do operador, e

um objeto ferromagnético que atravessasse a porta da sala de exames será atraído com força proporcional ao gradiente espacial do campo. Não há atenuação possível: há, ou não há, controle de acesso.

Esse deslocamento tem uma consequência prática que organiza este trabalho. Se o risco da ressonância é de natureza categórica e se materializa por falha de processo, então a segurança do exame é, antes de tudo, um problema de organização do serviço. As barreiras que funcionam não são dispositivos de proteção individual, e sim arranjos: quem pode entrar onde, quem pergunta o quê e quando, que evidência precisa existir antes de uma maca cruzar determinada porta, quem tem autoridade para interromper o procedimento. Panych e Madore (2018) formulam a questão de modo direto ao argumentar que compreender a física envolvida é condição necessária, mas não suficiente, para operar com segurança — o que converte conhecimento em proteção é o desenho do processo.

O problema que este artigo enfrenta pode ser enunciado assim: como os riscos físicos do ambiente de ressonância magnética se convertem em dano ao paciente e ao trabalhador, e que barreiras de controle a literatura reconhece como eficazes para interromper essa conversão. A pergunta interessa porque o intervalo entre saber que um risco existe e ter um processo capaz de contê-lo é precisamente onde os eventos adversos acontecem.

O objetivo geral é revisar e sistematizar os riscos do ambiente de ressonância magnética e as barreiras de controle correspondentes, articulando-os à organização do serviço. Como objetivos específicos, pretende-se: descrever as quatro fontes de risco do sistema de ressonância e os mecanismos pelos quais cada uma produz dano; examinar a triagem de pacientes e a verificação de compatibilidade de dispositivos implantados como barreiras de controle; analisar os riscos associados aos meios de contraste à base de gadolínio; e discutir o modelo de zonas de acesso e de qualificação de pessoal proposto pelo American College of Radiology, considerando sua aplicação em serviços brasileiros.

A justificativa é de duas ordens. Do ponto de vista assistencial, o parque instalado de equipamentos de ressonância no Brasil cresceu depressa nas últimas duas décadas, e esse crescimento aproximou do ímã categorias profissionais que não têm formação específica em segurança magnética — equipes de enfermagem, brigadistas, pessoal de limpeza, técnicos de manutenção predial. Do ponto de vista normativo, o Brasil regula com detalhe os serviços que empregam radiação ionizante, por meio da Resolução RDC nº 611 (BRASIL, 2022), mas não dispõe de norma equivalente e específica para ressonância magnética, o que transfere para cada serviço a responsabilidade de adotar referências internacionais. Saber quais são essas

referências, e o que exatamente elas exigem, deixa de ser erudição e passa a ser requisito de operação.

O texto está organizado em sete seções. Depois desta introdução, a segunda seção descreve o percurso metodológico da revisão. A terceira examina as quatro fontes de risco do sistema de ressonância, uma a uma, do campo estático ao sistema criogênico. A quarta trata da triagem de pacientes e da verificação de dispositivos implantados. A quinta discute os meios de contraste à base de gadolínio. A sexta analisa a organização do serviço, com atenção ao modelo de zonas e à qualificação da equipe, e situa a discussão no contexto brasileiro. A sétima retoma os objetivos e aponta o que permanece em aberto.

2 METODOLOGIA

Este trabalho é uma revisão narrativa de literatura, de abordagem qualitativa e finalidade descritiva. A opção pela revisão narrativa, e não pela revisão sistemática, decorre da natureza do objeto. A segurança em ressonância magnética não se constitui como um corpo de ensaios clínicos comparáveis entre si, passíveis de síntese quantitativa; o que existe é um conjunto heterogêneo de documentos normativos, guias de sociedades médicas, séries de casos e revisões de base regulatória. Sintetizar esse material exige interpretação e hierarquização de fontes, que é exatamente o que a revisão narrativa permite e a revisão sistemática, por desenho, restringe.

As fontes foram reunidas em três camadas, ordenadas por autoridade decrescente. A primeira camada é a normativa e reúne documentos que estabelecem requisitos: a norma IEC 60601-2-33, que define modos de operação e limites de exposição para equipamentos de ressonância; a norma ASTM F2503, que estabelece a marcação de dispositivos quanto à segurança no ambiente magnético; as diretrizes da International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection sobre limites de exposição a campos magnéticos estáticos (ICNIRP, 2009); e, no plano nacional, a Resolução RDC nº 50 (BRASIL, 2002) e a Resolução RDC nº 611 (BRASIL, 2022).

A segunda camada reúne os documentos de orientação profissional, em especial o ACR Manual on MR Safety, em sua edição de 2024, e as duas versões do documento de práticas seguras publicadas por Kanal et al. (2013) e Greenberg et al. (2020). Esses textos não têm força normativa, mas funcionam de fato como referência internacional: o modelo de zonas e a classificação de pessoal que deles derivam aparecem reproduzidos na maior parte da literatura subsequente.

A terceira camada é a literatura indexada. Foram consultadas as bases PubMed, SciELO e Google Acadêmico, com os descritores "MRI safety", "magnetic resonance safety", "segurança em ressonância magnética", "specific absorption rate" e "projectile effect", combinados por operadores booleanos. Priorizaram-se artigos de revisão publicados em periódicos de radiologia e física médica com revisão por pares, além de estudos originais quando traziam dados de incidência ou descrição de mecanismo de dano. A revisão de dez anos de notificações regulatórias conduzida por Delfino et al. (2019) foi incorporada por oferecer a melhor base empírica disponível sobre a distribuição real dos eventos adversos.

O recorte temporal privilegiou publicações recentes, mas admitiu obras anteriores em duas situações. A primeira é a do trabalho que descreve pela primeira vez um mecanismo e segue sendo a referência sobre ele: McJury e Shellock (2000) para o ruído acústico, Grobner (2006) para a associação entre gadolínio e fibrose sistêmica nefrogênica. A segunda é a do trabalho que consolida o panorama de riscos de forma ainda não superada, como Shellock e Crues (2004) e, no plano dos efeitos biológicos, Hartwig et al. (2009).

A análise do material seguiu três movimentos. Primeiro, os riscos foram agrupados pela fonte física que os origina, e não pela consequência clínica, de modo que o mesmo mecanismo não fosse descrito duas vezes sob rótulos diferentes. Depois, a cada risco foram associadas às barreiras de controle identificadas nas fontes normativas e de orientação. Por fim, as barreiras que não pertencem a uma fonte física específica, e sim ao arranjo do serviço — controle de acesso, triagem, qualificação de pessoal —, foram tratadas em seção própria, porque é nesse eixo, e não no eixo da física, que um serviço efetivamente se organiza.

Duas limitações precisam ficar registradas. A primeira é a ausência de dados nacionais sistematizados sobre eventos adversos em ressonância magnética: não existe no Brasil um registro público equivalente à base de notificações norte-americana, o que obriga a extrapolar dados estrangeiros para o contexto local com a cautela que toda extrapolação exige. A segunda é que revisões narrativas não são reproduzíveis no sentido estrito, já que a seleção e a hierarquização das fontes envolvem julgamento do autor; o percurso foi descrito em detalhe para que esse julgamento permaneça visível ao leitor.

3 AS QUATRO FONTES DE RISCO DO SISTEMA DE RESSONÂNCIA

Um equipamento de ressonância magnética é, do ponto de vista da segurança, quatro sistemas sobrepostos que operam ao mesmo tempo e produzem danos por mecanismos distintos. O campo magnético estático atrai e torce objetos ferromagnéticos. Os gradientes,

que variam rapidamente no tempo, induzem correntes em tecidos condutores e produzem ruído intenso. A radiofrequência deposita energia e aquece. O sistema criogênico, que mantém a bobina supercondutora, armazena hélio líquido em volume capaz de deslocar o oxigênio da sala. Separar essas quatro fontes é uma decisão analítica com consequência prática: cada uma responde a uma barreira de controle diferente, e tratar o conjunto como "o risco da ressonância" costuma produzir protocolos que cobrem bem um mecanismo e deixam os outros três descobertos (PANYCH; MADORE, 2018). O Quadro 1, ao final desta seção, sintetiza os quatro mecanismos e as barreiras que lhes correspondem.

3.1 O campo magnético estático e o efeito projétil

Uma bobina supercondutora resfriada a hélio líquido produz, nos equipamentos clínicos usuais, um campo de 1,5 ou 3,0 tesla: entre trinta e sessenta mil vezes o campo magnético terrestre (MAZZOLA, 2009). A característica que mais importa para a segurança não é, porém, a intensidade nominal: é o fato de o campo ser permanente. A bobina não é desligada entre exames, nem ao fim do expediente, nem durante a manutenção predial. Desligar o ímã exige um procedimento deliberado de perda controlada da supercondutividade, com custo elevado e várias horas de indisponibilidade. Para todos os efeitos operacionais, a sala de exames está permanentemente energizada.

Essa permanência é a origem do equívoco mais comum do ambiente. Profissionais acostumados a salas de raios X ou tomografia associam o desligamento do console à cessação do risco, e entram na sala de ressonância com o equipamento "desligado" carregando tesouras, cilindros de oxigênio, cadeiras de rodas ou aspiradores de pó. Kanal et al. (2013) descrevem esse cenário como uma das principais causas de acidente grave e recomendam explicitamente que o treinamento de segurança inclua a demonstração de que o campo permanece ativo.

O mecanismo de dano é conhecido como efeito projétil. Um objeto ferromagnético que se aproxima do ímã sofre uma força de translação proporcional ao produto do campo pelo seu gradiente espacial, o que significa que a atração cresce abruptamente, e não linearmente, à medida que o objeto entra no campo de dispersão. A consequência prática é perversa: a poucos metros do ímã o objeto parece apenas levemente atraído, sensação que o profissional interpreta como controle, e a partir de determinada distância a força supera de modo súbito a capacidade de contê-lo manualmente. Objetos pequenos atingem velocidades de dezenas de metros por segundo ao serem sugados para o interior do magneto (TSAI et al., 2015).

O caso que consolidou o tema na literatura, relatado por Mazzola et al. (2019) entre os episódios de referência, ocorreu em 2001, nos Estados Unidos, quando um cilindro de

oxigênio levado à sala de exames foi atraído pelo ímã e atingiu uma criança de seis anos que realizava o exame, causando sua morte. O episódio reaparece nos documentos de orientação porque nele o equipamento funcionou exatamente como projetado: não houve defeito, houve entrada de um objeto que não deveria ter entrado. Sammet (2016) sintetiza a lição ao observar que acidentes com projéteis são, por definição, integralmente preveníveis por controle de acesso — não existe caso em que o objeto tenha se tornado ferromagnético dentro da sala.

Além da translação, o campo estático exerce torque sobre objetos alongados e sobre implantes com componentes ferromagnéticos, tendendo a alinhá-los com as linhas de campo. O torque não depende do gradiente, mas da intensidade do campo, e por isso atinge seu máximo no isocentro do magneto — justamente onde o paciente é posicionado. Para um clipe de aneurisma ferromagnético, esse torque pode significar deslocamento dentro do crânio, com consequências evidentes. É essa a razão pela qual a verificação de implantes, discutida na seção 4, não admite aproximação por semelhança: o comportamento depende do material e da geometria específicos do dispositivo (SHELLOCK; CRUES, 2004).

Há ainda efeitos biológicos diretos do campo estático, de gravidade incomparavelmente menor. Movimentos rápidos da cabeça dentro do campo de dispersão induzem correntes no labirinto vestibular e podem provocar vertigem, náusea, gosto metálico e sensação de fosfenos. A ICNIRP (2009) revisou a evidência disponível e estabeleceu limites de exposição ocupacional, observando que esses sintomas são transitórios e mitigáveis pela simples orientação de mover-se devagar nas proximidades do magneto. Hartwig et al. (2009), em revisão sobre efeitos biológicos, não encontraram evidência consistente de dano permanente atribuível à exposição ao campo estático nos níveis empregados na prática clínica.

3.2 Gradientes comutados: estimulação nervosa periférica e ruído acústico

Para localizar de onde vem cada parcela do sinal, o equipamento superpõe ao campo principal campos auxiliares de menor intensidade, os gradientes. Diferentemente do campo estático, eles são ligados e desligados milhares de vezes por segundo durante a aquisição, e é essa variação temporal, e não sua intensidade, que produz os dois riscos associados a eles (WESTBROOK; TALBOT, 2018).

O primeiro é a estimulação nervosa periférica. Pela lei de indução, um campo magnético que varia no tempo induz campo elétrico em meios condutores, e o corpo humano é um meio condutor. Quando a taxa de variação é suficientemente alta, a corrente induzida atinge o limiar de despolarização de fibras nervosas periféricas e o paciente percebe contrações musculares involuntárias, formigamento ou pequenos choques, tipicamente em

regiões de maior densidade de corrente como flancos, dorso e nariz. A norma IEC 60601-2-33 estabelece limites de taxa de variação justamente para manter a operação abaixo do limiar de desconforto, e organiza a operação do equipamento em modos: o modo normal, no qual nenhum parâmetro produz estresse fisiológico relevante; o modo controlado de primeiro nível, que ultrapassa esse patamar e exige supervisão médica; e o modo controlado de segundo nível, restrito a protocolos de pesquisa com aprovação ética (IEC, 2022; PANYCH; MADORE, 2018).

A estimulação periférica é desconfortável, mas não lesiva nos níveis permitidos pela norma (PANYCH; MADORE, 2018). Seu risco real é indireto: um paciente que sente contrações inesperadas pode se mover, arruinando a aquisição, ou entrar em pânico dentro do túnel. Daí a recomendação de avisar o paciente, antes de começar, de que essas sensações podem aparecer e são esperadas: é uma barreira de comunicação, não de engenharia, e custa trinta segundos de conversa.

O segundo risco dos gradientes é o ruído acústico. As bobinas de gradiente, percorridas por correntes elevadas dentro de um campo magnético intenso, sofrem forças de Lorentz que as fazem vibrar contra suas fixações. A vibração se propaga pela estrutura e pelo ar, e o resultado é o ruído característico do exame. McJury e Shellock (2000), em revisão que segue sendo referência, documentaram níveis de pressão sonora capazes de ultrapassar 100 dB em sequências convencionais, com valores mais altos em sequências rápidas e em equipamentos de campo mais intenso. Esse patamar excede os limites de exposição ocupacional adotados na maior parte das legislações trabalhistas.

O dano possível vai da perda auditiva temporária, relatada com frequência quando a proteção é inadequada, até a perda permanente em exposições repetidas. A barreira é simples e barata — protetores auriculares de inserção ou concha, fornecidos a todo paciente e a todo acompanhante que permaneça na sala —, o que torna as falhas nesse ponto particularmente difíceis de justificar. Shah e Aran (2023) chamam atenção para duas situações em que a proteção costuma ser negligenciada: pacientes sedados ou inconscientes, que não podem reclamar do ruído, e neonatos, em quem a colocação adequada do protetor exige cuidado específico.

3.3 Radiofrequência: taxa de absorção específica, aquecimento e queimaduras

O pulso de radiofrequência excita os núcleos de hidrogênio. Sem ele não há sinal, e sem sinal não há exame. Parte da energia transmitida, porém, é absorvida pelos tecidos e vira calor. A grandeza que quantifica essa deposição é a taxa de absorção específica, expressa em

watts por quilograma, monitorada em tempo real pelo equipamento e limitada por norma. Em modo de operação normal, o limite de corpo inteiro é de 2 W/kg, valor calculado para manter a elevação da temperatura corporal central abaixo de 0,5 °C; limites específicos e mais permissivos aplicam-se a cabeça e a extremidades, e o modo controlado de primeiro nível admite até 4 W/kg sob supervisão (IEC, 2022; PANYCH; MADORE, 2018).

O aquecimento sistêmico controlado por esses limites raramente é o problema. Em pacientes com termorregulação comprometida — febris, sedados, gestantes, neonatos, portadores de insuficiência cardíaca ou em uso de fármacos que interferem na vasodilatação — a margem é menor, e a recomendação é operar preferencialmente em modo normal e monitorar temperatura quando o protocolo for longo (SHELLOCK; CRUES, 2004). O dano que de fato aparece nas estatísticas tem outra origem: a deposição localizada de energia.

Delfino et al. (2019), ao revisarem uma década de notificações, encontraram nas lesões térmicas a categoria mais frequente de evento adverso relacionado à ressonância, e Shah e Aran (2023) registram que mais de setenta por cento das complicações do método correspondem a queimaduras. Os mecanismos são bem estabelecidos e, em sua maioria, evitáveis. Cabos de monitorização dispostos em alça formam espiras nas quais a radiofrequência induz corrente, e o ponto de contato do cabo com a pele concentra energia suficiente para produzir queimadura de segundo ou terceiro grau. O mesmo ocorre quando o próprio corpo do paciente forma uma alça condutora: mãos entrelaçadas sobre o abdome, panturrilhas em contato, braço tocando a lateral do túnel. Tecidos úmidos de suor e eletrodos com gel ressecado completam a lista de arranjos que concentram corrente.

As barreiras correspondentes são de posicionamento, não de tecnologia: cabos dispostos retilinearmente ao longo do eixo do paciente e nunca em alça; espuma ou compressa seca interposta entre pele e pele e entre paciente e parede do túnel; remoção de roupas úmidas, adesivos transdérmicos com camada metálica e eletrodos deteriorados; e verificação da integridade do isolamento de todo cabo antes do uso. Kanal et al. (2013) recomendam que essa checagem seja formalizada como etapa de posicionamento, e não deixada à memória do técnico, precisamente porque se trata de um gesto que parece dispensável quando repetido dezenas de vezes por dia.

3.4 O sistema criogênico: quench e risco de asfixia

A bobina supercondutora opera imersa em hélio líquido a aproximadamente 4 K, e um equipamento clínico armazena entre 1.500 e 2.000 litros desse criogênio. O quench é o evento em que a bobina perde a supercondutividade e a energia armazenada no campo é dissipada

como calor, vaporizando o hélio de forma abrupta. Um litro de hélio líquido expande-se para cerca de setecentos litros de gás, de modo que um quench completo libera volume capaz de preencher várias vezes o interior da sala de exames (SHAH; ARAN, 2023).

O projeto da instalação prevê essa possibilidade por meio de uma tubulação de exaustão que conduz o gás para fora da edificação. O risco se materializa quando essa tubulação falha, está obstruída ou foi mal dimensionada: o hélio, mais leve que o ar, acumula-se do teto para baixo e desloca o oxigênio, com risco de asfixia para quem estiver na sala. A expansão súbita também eleva a pressão interna a ponto de dificultar ou impedir a abertura da porta, e a queda brusca de temperatura pode causar lesões por frio e névoa densa que elimina a visibilidade (SHAH; ARAN, 2023).

O quench pode ocorrer sozinho, por falha do sistema de refrigeração, ou ser provocado deliberadamente pelo botão de emergência instalado na sala de comando. Essa segunda possibilidade concentra um problema de treinamento recorrente: o botão de quench é frequentemente confundido com o botão de parada de emergência, que apenas interrompe a alimentação elétrica e a mesa. Acionar o quench por engano gera prejuízo elevado e dias de indisponibilidade; deixar de acioná-lo quando uma pessoa está presa contra o magneto por um objeto atraído pode custar uma vida. Greenberg et al. (2020) recomendam que a distinção entre os dois comandos, e a autoridade para acionar cada um, estejam documentadas e sejam verificadas periodicamente com toda a equipe, incluindo profissionais que atuem fora do horário comercial.

Quadro 1 - Fontes de risco do sistema de ressonância magnética e barreiras de controle correspondentes

Fonte física	Mecanismo de dano	Barreira de controle principal
Campo magnético estático	Atração e torque de materiais ferromagnéticos; efeito projétil	Controle de acesso por zonas e triagem de toda pessoa que ingressa
Gradientes comutados	Estimulação nervosa periférica; ruído acústico acima de 100 dB	Operação em modo normal; protetor auricular para paciente e acompanhante
Radiofrequência	Deposição de energia; aquecimento sistêmico e queimadura localizada	Cabos retilíneos, isolamento entre superfícies cutâneas, limite de SAR
Sistema criogênico	Quench com deslocamento de oxigênio, sobrepressão e lesão por frio	Exaustão íntegra, treinamento sobre o acionamento e evacuação imediata

Fonte: elaborado pelo autor com base em Kanal et al. (2013), Tsai et al. (2015), Panych e Madore (2018) e American College of Radiology (2024).

4 TRIAGEM DE PACIENTES E DISPOSITIVOS IMPLANTADOS

Se o campo magnético é permanente e o efeito projétil é integralmente prevenível por controle de acesso, a pergunta que organiza a prática é como saber o que atravessa a porta da

sala de exames. A resposta da literatura tem duas partes: uma triagem que se aplica a toda pessoa, e uma verificação documental que se aplica a todo dispositivo. As duas são barreiras administrativas, e é comum que sejam tratadas como burocracia que atrasa a agenda. Os registros de eventos adversos sugerem o contrário: é onde elas falham que os acidentes acontecem.

4.1 A triagem como barreira, e não como formulário

O documento de práticas seguras do American College of Radiology estabelece que toda pessoa que ingresse na área restrita deve passar por triagem, sem exceção de categoria profissional ou de hierarquia (KANAL et al., 2013). A formulação é deliberadamente ampla: abrange o paciente, o acompanhante, o médico responsável pelo caso, a equipe de limpeza, o técnico da manutenção predial e o profissional do próprio serviço que retorna de férias. O motivo é empírico. Objetos atraídos pelo ímã raramente chegam à sala nas mãos do paciente, que foi orientado a retirar tudo; chegam nas mãos de quem se considera familiarizado com o ambiente.

A triagem eficaz tem três atributos que a distinguem do preenchimento de um formulário. A primeira é ser conduzida por entrevista, e não por autopreenchimento. Pacientes idosos, com baixa escolaridade ou em situação de ansiedade omitem informações relevantes quando entregues a um questionário, e desconhecem a natureza de dispositivos que carregam há anos — é frequente que descrevam um marca-passo como "uma cirurgia no coração" ou que não associem uma tatuagem antiga a qualquer risco. O segundo atributo é a repetição: a triagem é aplicada no agendamento, quando ainda há tempo de buscar documentação, e novamente na recepção, imediatamente antes do acesso à área restrita. O terceiro é o registro, com identificação de quem conduziu a entrevista, porque uma barreira sem rastro não pode ser auditada nem melhorada (KANAL et al., 2013).

Hansson et al. (2022), em estudo sobre a aderência a rotinas de triagem estruturada, observaram que a entrevista dirigida revela informações que o questionário autoaplicado não captura, e que a diferença se concentra justamente nos itens de maior consequência. O achado reforça a recomendação de que a triagem seja tarefa de profissional qualificado, com tempo alocado na agenda, e não etapa comprimida entre dois exames.

Alguns itens merecem atenção específica por serem sistematicamente esquecidos. Fragmentos metálicos intraoculares, comuns em trabalhadores que operaram esmeril ou solda sem proteção, podem deslocar-se e causar perda de visão; a suspeita justifica radiografia de órbita antes do exame. Próteses dentárias, expansores mamários com válvula metálica,

dispositivos intrauterinos, piercings e adesivos transdérmicos com camada de alumínio compõem a lista de rotina. Maquiagem definitiva e tatuagens extensas com pigmentos ferrosos podem aquecer localmente, e embora o risco seja baixo, a orientação ao paciente para relatar sensação de calor durante a aquisição é barreira suficiente (TSAI et al., 2015).

4.2 A marcação ASTM e o que ela realmente informa

A verificação de dispositivos implantados apoia-se na marcação estabelecida pela norma ASTM F2503, que substituiu a antiga e ambígua expressão "compatível com ressonância" por três categorias. Um item MR Safe não apresenta risco em nenhum ambiente de ressonância, por ser composto exclusivamente de materiais não condutores, não metálicos e não magnéticos. Um item MR Unsafe apresenta risco reconhecido e não deve ingressar na área restrita. Entre os dois, a categoria que concentra a prática clínica: MR Conditional designa o dispositivo que demonstrou segurança em condições especificadas de uso (ASTM, 2023).

A palavra decisiva é condições. Um rótulo MR Conditional não autoriza o exame; ele descreve um envelope dentro do qual o exame é seguro, e esse envelope costuma especificar intensidade máxima de campo, gradiente espacial máximo, limite de taxa de absorção específica, tempo máximo de aquisição contínua e, por vezes, região anatômica permitida. Um dispositivo aprovado para 1,5 T pode ser perigoso em 3,0 T; um implante seguro para exame de joelho pode não sê-lo para exame de tórax. Greenberg et al. (2020) insistem nesse ponto porque a confusão entre "condicional" e "seguro" é, segundo os autores, um dos erros de interpretação mais frequentes entre profissionais que tiveram treinamento apenas introdutório.

Daí decorre a regra operacional: a verificação é documental e específica. Não se verifica "marca-passos", verifica-se o modelo exato, pelo cartão do dispositivo ou pelo relatório cirúrgico, confrontado com a documentação do fabricante ou com bases de consulta consolidadas. Na ausência de identificação confiável, o exame não é realizado. Essa recomendação encontra resistência previsível na rotina, porque significa desmarcar pacientes que se deslocaram até o serviço; a alternativa, porém, é decidir por inferência sobre um dispositivo implantado dentro de um corpo, o que nenhum documento de referência admite.

O caso dos dispositivos cardíacos eletrônicos ilustra a evolução do tema. Durante décadas, marca-passos e cardiodesfibriladores configuraram contraindicação absoluta. O desenvolvimento de modelos condicionais alterou esse quadro, e hoje o exame é realizável em muitos pacientes, desde que se cumpram condições estritas: identificação do modelo,

reprogramação do dispositivo antes da aquisição por profissional habilitado, monitorização contínua durante o exame e reprogramação de retorno ao final (SHAH; ARAN, 2023). O que mudou não foi a periculosidade do campo magnético, e sim a existência de um protocolo capaz de contê-la — exemplo direto da tese de que a segurança, nesse ambiente, é função do processo.

4.3 Situações que exigem decisão individualizada

Três grupos de pacientes escapam de protocolos padronizados e exigem decisão caso a caso, documentada. O primeiro é o das gestantes. Não há evidência de efeito teratogênico atribuível à exposição ao campo magnético nos níveis clínicos, e o método é preferível a alternativas que empreguem radiação ionizante; ainda assim, a orientação predominante é realizar o exame quando a informação diagnóstica for necessária e não puder ser obtida de outro modo, preferencialmente em modo normal de operação, e evitar o meio de contraste à base de gadolínio, que atravessa a placenta (SHELLOCK; CRUES, 2004; SAMMET, 2016).

O segundo é o dos pacientes sedados, anestesiados ou inconscientes. Eles não relatam calor, dor ou desconforto, o que suprime o mecanismo de alerta que protege o paciente desperto contra queimaduras e contra posicionamento inadequado. A compensação é de vigilância: monitorização com equipamento próprio para o ambiente magnético, inspeção cuidadosa do posicionamento antes do início e presença de profissional habilitado durante toda a aquisição (KANAL et al., 2013).

O terceiro é o dos pacientes em situação de emergência, em que a pressão pelo diagnóstico rápido colide com o tempo necessário à triagem. É aqui que o controle de acesso mais cede. E é aqui que a literatura é mais categórica (GREENBERG et al., 2020): a urgência clínica não suspende a verificação, porque o dano do efeito projétil é imediato e irreversível, ao passo que o atraso diagnóstico raramente o é. Serviços que atendem emergências com frequência devem manter protocolo escrito para essa situação, definindo quem decide e com que informação mínima, em vez de deixar a decisão para o calor do momento.

5 MEIOS DE CONTRASTE À BASE DE GADOLÍNIO

O realce que caracteriza as sequências pós-contraste vem de um elemento paramagnético, o gadolínio, que encurta o tempo de relaxamento longitudinal dos tecidos em que se distribui. Em sua forma livre, ele é tóxico: compete com o cálcio em processos biológicos e se deposita em osso e fígado. Os meios de contraste empregados na prática clínica contornam essa toxicidade encapsulando o íon em um quelato, molécula que o mantém

ligado até a excreção renal (SAMMET, 2016). A estabilidade desse quelato é, portanto, a variável central da segurança do contraste, e é ela que distingue os agentes lineares dos macrocíclicos, estes últimos com estrutura em gaiola que retém o íon com maior firmeza.

As reações adversas agudas ocorrem em frequência baixa e são, em sua maioria, leves: náusea, cefaleia, sensação de calor, urticária localizada. Shah e Aran (2023) compilam incidências que variam de 0,07% a 2,4% para eventos agudos, com reações graves entre 0,004% e 0,7% e reações potencialmente fatais entre 0,001% e 0,01%. São números baixos em termos relativos, mas que adquirem outra dimensão quando multiplicados pelo volume de exames de um serviço de grande porte, e justificam a exigência de que o ambiente disponha de material e de equipe treinada para atendimento de anafilaxia. E esse atendimento ocorre fora da sala do magneto: carrinho de emergência convencional é composto de material ferromagnético e não ingressa na área restrita, o que obriga a prever a retirada rápida do paciente como parte do protocolo.

A preocupação de maior repercussão na última década é de outra ordem. Grobner (2006) descreveu a associação entre a administração de contraste à base de gadolínio e o desenvolvimento de fibrose sistêmica nefrogênica em pacientes com insuficiência renal grave, uma condição progressiva e sem tratamento estabelecido, caracterizada por endurecimento da pele e comprometimento de órgãos internos. O mecanismo proposto envolve a permanência prolongada do quelato na circulação de pacientes que não excretam adequadamente, favorecendo a dissociação e a liberação do íon livre.

A resposta regulatória e clínica a esse achado é um dos exemplos mais claros de barreira eficaz na história recente do método. Passou-se a estratificar o risco pela taxa de filtração glomerular, a evitar agentes de menor estabilidade nos pacientes com função renal comprometida e a restringir a indicação aos casos em que o realce é indispensável. Onde essas condutas foram adotadas, os casos novos tornaram-se raros (SHAH; ARAN, 2023). O episódio ilustra que o controle de um risco identificado depende menos da retirada do agente do que da seleção de quem o recebe — o que, uma vez mais, é um problema de triagem.

Mais recentemente, a atenção voltou-se para a deposição de gadolínio em tecidos de pacientes com função renal normal. McDonald et al. (2015) demonstraram, em análise de tecido cerebral de pacientes submetidos a múltiplos exames com contraste, a presença de depósitos do elemento em núcleos da base, com correlação entre a quantidade depositada e o número de administrações prévias. O achado é robusto; sua interpretação clínica, não. Até o momento não se estabeleceu consequência funcional atribuível a esses depósitos, e a literatura mantém a questão em aberto.

Nos dois casos, o que separa o risco do dano é a mesma coisa que separa nas seções anteriores: uma pergunta feita antes. A barreira do contraste é a triagem renal, e ela é operacional, não conceitual — significa ter na rotina um valor de taxa de filtração glomerular recente para o paciente que vai receber gadolínio, um critério escrito dizendo a partir de qual valor o agente muda ou o exame sai sem contraste, e alguém com autoridade para aplicar esse critério quando o pedido médico diz o contrário. Serviços que tratam a função renal como informação desejável, e não como condição de administração, reproduzem no contraste o mesmo arranjo que produz acidentes na porta da Zona III: a regra existe, mas nada no fluxo obriga a consultá-la.

A conduta que decorre desse estado de incerteza é a de prudência proporcional: administrar contraste apenas quando a informação diagnóstica o justifique, empregar a menor dose eficaz, preferir agentes macrocíclicos e registrar a exposição acumulada de pacientes que realizam exames seriados, como ocorre no seguimento de esclerose múltipla ou de doença oncológica (SAMMET, 2016). Não se trata de contraindicar, e sim de reconhecer que contrastar é uma decisão clínica com custo, e não um passo automático do protocolo.

6 ORGANIZAÇÃO DO SERVIÇO: ZONAS, PESSOAL E CULTURA DE SEGURANÇA

As seções anteriores descreveram riscos e barreiras isoladamente. Um serviço, porém, não opera por barreiras isoladas: opera por um arranjo espacial, uma divisão de responsabilidades e um conjunto de rotinas que precisam sustentar-se mutuamente. É esse arranjo que o modelo de zonas e a classificação de pessoal propostos pelo American College of Radiology tentam formalizar, e é sua adoção, mais do que qualquer item de equipamento, que separa serviços seguros de serviços que ainda não tiveram um acidente.

6.1 As quatro zonas de acesso

O modelo divide o espaço físico em quatro zonas de restrição crescente. A Zona I compreende as áreas públicas externas ao ambiente magnético, como corredores e sala de espera, e não tem restrição de circulação. A Zona II é a área de transição, onde o paciente é recebido, entrevistado, troca de roupa e deposita seus pertences; é supervisionada, mas ainda não restrita. A Zona III é a primeira área de acesso controlado, abrange a sala de comando e os corredores imediatamente adjacentes, e nela o ingresso depende de autorização e supervisão de pessoal qualificado. A Zona IV é a sala do magneto, de maior risco, com acesso

restrito e sinalização própria (KANAL et al., 2013; AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY, 2024). O Quadro 2 resume a divisão e o regime de acesso de cada zona.

A força do modelo está menos na nomenclatura do que na exigência de uma barreira física real entre a Zona II e a Zona III. Porta com fechadura controlada, sinalização visível e indicação permanente de que o campo magnético está ativo não são elementos decorativos: são o que converte uma regra escrita em impedimento efetivo. Serviços que mantêm a porta da Zona III aberta por conveniência operacional — para facilitar o trânsito da equipe, para ventilar, porque a fechadura enguiçou — desativam na prática a barreira que o modelo inteiro pressupõe, ainda que o manual do serviço continue a descrevê-la.

A demarcação da linha dos 0,5 mT, o chamado limite de exclusão, complementa o modelo. É a partir dessa isolinha que dispositivos eletrônicos implantados podem sofrer interferência, e sua marcação no piso orienta tanto a equipe quanto o público (KANAL et al., 2013). Na prática brasileira, a Resolução RDC nº 50 (BRASIL, 2002) estabelece requisitos de projeto físico para ambientes de ressonância, inclusive quanto à blindagem e ao controle de acesso, e funciona como a referência nacional mais próxima do modelo de zonas, ainda que com grau de detalhamento consideravelmente menor.

Quadro 2 - Zonas de acesso do ambiente de ressonância magnética

Zona	O que abrange	Regime de acesso
Zona I	Áreas públicas externas ao ambiente magnético	Livre, sem restrição
Zona II	Recepção, entrevista de triagem, vestiário e guarda de pertences	Supervisionado, ainda sem restrição física
Zona III	Sala de comando e corredores adjacentes	Restrito; ingresso apenas com autorização e supervisão
Zona IV	Sala do magneto	Restrito, sinalizado; campo permanentemente ativo

Fonte: elaborado pelo autor com base em Kanal et al. (2013) e American College of Radiology (2024).

6.2 Níveis de qualificação e a delimitação de responsabilidades

À divisão do espaço corresponde uma divisão de pessoas. O documento de referência distingue o pessoal não qualificado, que só ingressa na área restrita acompanhado e após triagem, do pessoal qualificado, subdividido em dois níveis. O nível 1 reúne profissionais com treinamento básico, suficiente para circular com segurança na área restrita, mas não para decidir sobre a realização de exames em situações duvidosas. O nível 2 reúne profissionais com formação aprofundada, incluindo os mecanismos de aquecimento por radiofrequência e

de estimulação nervosa periférica, habilitados a avaliar dispositivos implantados e a autorizar o acesso de terceiros (KANAL et al., 2013; GREENBERG et al., 2020).

A classificação resolve um problema que qualquer serviço reconhece: a responsabilidade difusa. Quando todos são genericamente responsáveis pela segurança, ninguém responde pela decisão de deixar entrar, e a decisão acaba tomada por quem está mais próximo da porta. Nomear um responsável técnico pela segurança em ressonância, com autoridade para estabelecer rotinas e para interditar procedimentos, converte um princípio em cadeia de comando.

O treinamento, para funcionar, precisa alcançar quem normalmente fica de fora. Equipes de limpeza manipulam baldes, escadas e aspiradores; profissionais de manutenção predial trazem ferramentas; equipes de emergência chegam com macas, cilindros e desfibriladores; brigadas de incêndio carregam extintores, cuja entrada na Zona IV exige versões específicas não ferromagnéticas. Nenhum desses grupos costuma constar do plano de capacitação de um serviço de imagem, e todos figuram nos relatos de acidentes. Greenberg et al. (2020) recomendam que a periodicidade do treinamento seja anual e que sua realização seja documentada individualmente.

6.3 A exposição ocupacional da equipe

A literatura de segurança em ressonância magnética concentra-se no paciente, e com razão: é ele quem permanece no isocentro do magneto. A equipe, porém, tem um perfil de exposição próprio, e em alguns aspectos mais desfavorável. O paciente realiza um exame; o técnico realiza dezenas por dia, ao longo de anos, e se aproxima do magneto repetidamente para posicionar bobinas, ajustar acessórios e atender intercorrências.

A exposição ocupacional ao campo estático ocorre, sobretudo, por movimento. Como a corrente induzida depende da variação do campo percebida pelo corpo, é o deslocamento do profissional dentro do campo de dispersão, e não a permanência parado nele, que produz vertigem, náusea e gosto metálico. A ICNIRP (2009) estabeleceu limites de exposição ocupacional considerando esse mecanismo, e a recomendação prática que dele decorre é modesta e eficaz: aproximar-se e afastar-se do magneto devagar, evitando movimentos bruscos de cabeça junto à abertura do túnel.

A exposição ao ruído é a mais subestimada. Protetores auriculares são sistematicamente fornecidos ao paciente e raramente utilizados pela equipe que permanece na sala durante a aquisição, situação frequente em exames com sedação, em pacientes pediátricos e em procedimentos intervencionistas. McJury e Sherlock (2000) já registravam essa

assimetria, que permanece atual: o profissional que acompanha vários exames por turno acumula exposição superior à de qualquer paciente individual.

Some-se a isso o risco de lesão musculoesquelética, pouco discutido em textos de segurança magnética e relevante na rotina. Bobinas de superfície são pesadas, a transferência de pacientes da maca para a mesa é manual na maior parte dos serviços e o espaço em torno do magneto costuma ser restrito, o que impõe posturas desfavoráveis. A prevenção aqui é de organização do trabalho — dimensionamento de equipe, dispositivos de transferência, pausas — e não encontra resposta em nenhum documento de segurança em ressonância, o que ilustra que a proteção do trabalhador nesse ambiente depende de fontes normativas que os guias do método não cobrem.

6.4 O que os registros de eventos adversos ensinam

A revisão de dez anos de notificações conduzida por Delfino et al. (2019) oferece o retrato mais consistente disponível sobre como os acidentes efetivamente ocorrem. Três achados organizam a leitura. O primeiro é a predominância das lesões térmicas, que respondem pela maior parte dos registros e decorrem, quase sempre, de posicionamento inadequado de cabos ou de contato pele a pele — falhas de gesto, não de projeto. O segundo é a persistência dos eventos com projéteis ao longo de toda a série, apesar de décadas de divulgação do modelo de zonas, o que sugere que a difusão do conhecimento não acompanhou a expansão do parque instalado. O terceiro é a raridade de eventos atribuíveis a defeito do equipamento.

A implicação prática é incômoda e vale ser enunciada sem rodeios: investir em equipamento mais moderno quase não mexe na taxa de eventos adversos, porque não é ali que eles se originam. O que reduz é disciplina de processo — a triagem que se repete, a porta que permanece trancada, a espuma que se interpõe entre as pernas do paciente, o cabo que se estende em linha reta. São gestos de baixo custo e alta repetição, e é precisamente a repetição que os torna vulneráveis à erosão silenciosa.

Sobre essa erosão incide o último elemento, o menos tangível e o mais decisivo. Kanal et al. (2013) recomendam que qualquer integrante da equipe, independentemente de cargo, tenha autoridade explícita para interromper um exame diante de uma dúvida de segurança não resolvida. A recomendação parece óbvia, mas raramente se sustenta na prática: um técnico que interrompe o exame de um paciente encaminhado por um médico sênior, por não conseguir identificar o modelo de um implante, precisa que essa autoridade esteja escrita e

tenha sido afirmada antes do episódio. Sem isso, a barreira existe no manual e não existe no corredor.

6.5 O contexto brasileiro

A transposição desse arranjo para a realidade brasileira encontra três dificuldades. A primeira é normativa. O país regula os serviços que empregam radiação ionizante com considerável detalhe, por meio da Resolução RDC nº 611 (BRASIL, 2022) e das instruções normativas que a acompanham, mas não dispõe de norma específica para ressonância magnética com o grau de exigência que o ACR Manual on MR Safety estabelece. Na ausência dela, a adoção das referências internacionais depende da iniciativa de cada serviço, e a qualidade da segurança passa a variar conforme a cultura institucional.

A segunda é de infraestrutura. Nem todo serviço ocupa uma edificação projetada para abrigar um magneto, e a instalação em área adaptada dificulta a implementação do modelo de zonas em sua forma plena — não há espaço para uma Zona II funcional, a sala de comando abre diretamente para um corredor de circulação geral, a porta da Zona III não tem controle de acesso. Nesses casos, a recomendação praticável é compensar a limitação física com rigor processual: sinalização redundante, triagem conduzida sempre pelo mesmo profissional, conferência dupla antes do acesso.

A terceira é formativa. A segurança em ressonância magnética ocupa carga horária modesta nos currículos de tecnologia em radiologia e é praticamente ausente na formação de enfermagem e medicina, ainda que profissionais dessas áreas circulem rotineiramente pela área restrita. Mazzola et al. (2019), ao revisarem o tema em língua portuguesa, apontam essa lacuna como um dos principais obstáculos à consolidação de uma cultura de segurança nos serviços nacionais, e defendem a educação permanente como resposta mais efetiva do que a aquisição de dispositivos de detecção.

Essas dificuldades não são exclusividade brasileira, e não justificam a inação. Nenhuma das barreiras mais eficazes descritas neste artigo depende de investimento significativo: trancar uma porta, entrevistar em vez de entregar um formulário, interpor uma espuma, estender um cabo em linha reta e treinar a equipe de limpeza são medidas ao alcance de qualquer serviço, independentemente de porte ou de natureza jurídica.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo partiu de uma pergunta sobre como os riscos físicos do ambiente de ressonância magnética se convertem em dano e que barreiras interrompem essa conversão. O percurso permite responder aos objetivos propostos.

Quanto à descrição das fontes de risco, a revisão mostrou que o equipamento concentra quatro mecanismos independentes, com naturezas distintas. O campo estático, permanentemente ativo, produz dano por atração e torque de materiais ferromagnéticos, com consequências potencialmente fatais e integralmente preveníveis por controle de acesso. Os gradientes comutados produzem estimulação nervosa periférica, desconfortável mas contida por norma, e ruído acústico capaz de superar 100 dB, com risco auditivo real e barreira trivial. A radiofrequência deposita energia e responde pela maior parte das lesões efetivamente notificadas, quase sempre por arranjos evitáveis de cabos e de contato cutâneo. O sistema criogênico introduz um risco de baixa probabilidade e alta gravidade, cuja contenção depende da integridade da exaustão e do treinamento sobre o acionamento do quench.

Sobre a triagem e a verificação de dispositivos, o exame da literatura indica que a eficácia delas depende de atributos que costumam ser sacrificados na rotina: entrevista em vez de autopreenchimento, repetição em dois momentos do fluxo, registro rastreável e verificação documental do modelo exato de cada implante. A marcação estabelecida pela norma ASTM F2503 organiza essa verificação, desde que a categoria condicional seja lida pelo que ela é — um envelope de condições, e não uma autorização.

No terreno dos meios de contraste, a trajetória da fibrose sistêmica nefrogênica oferece o exemplo mais bem documentado de risco identificado e controlado por seleção de pacientes, sem abandono do agente. A questão da deposição tecidual em pacientes com função renal normal permanece aberta quanto ao significado clínico, e sustenta uma conduta de prudência proporcional em vez de restrição.

Já na organização do serviço, o modelo de zonas e a classificação de pessoal mostraram-se menos um esquema conceitual do que uma engenharia de responsabilidades. Sua adoção no Brasil encontra limitações normativas, de infraestrutura e de formação, nenhuma das quais impede a implementação das medidas de maior impacto, que são também as de menor custo.

A conclusão que atravessa o conjunto é que a segurança em ressonância magnética não se compra. Ela se organiza. Os dados de notificação convergem para um ponto único: os acidentes decorrem do que deixou de ser feito, e não do que falhou. Isso desloca o problema

do terreno da engenharia para o da gestão e da educação permanente, e torna a qualificação continuada da equipe o investimento de maior retorno disponível a um serviço de imagem.

Permanecem questões que este trabalho não resolve e que merecem investigação. A ausência de um registro nacional de eventos adversos em ressonância magnética impede conhecer a real distribuição dos incidentes em serviços brasileiros e obriga a trabalhar com extrapolações; a construção desse registro é tarefa de política pública, mas pode começar por iniciativas institucionais de notificação interna. Estudos que avaliem a aderência efetiva ao modelo de zonas em serviços nacionais, assim como o impacto de programas estruturados de capacitação sobre a taxa de quase-acidentes, ofereceriam a base empírica que hoje falta. Investigar o significado clínico da deposição de gadolínio em pacientes submetidos a exames seriados é, por fim, a questão em aberto de maior alcance no tema do contraste.

REFERÊNCIAS

AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY. ACR Manual on MR Safety. Reston: American College of Radiology, 2024.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM F2503-23e1: Standard Practice for Marking Medical Devices and Other Items for Safety in the Magnetic Resonance Environment. West Conshohocken: ASTM International, 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 611, de 9 de março de 2022.

DELFINO, J. G. et al. MRI-related FDA adverse event reports: a 10-yr review. *Medical Physics*, v. 46, n. 12, p. 5562-5571, 2019.

GREENBERG, T. D. et al. ACR guidance document on MR safe practices: updates and critical information 2019. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, v. 51, n. 2, p. 331-338, 2020.

GROBNER, T. Gadolinium: a specific trigger for the development of nephrogenic fibrosing dermopathy and nephrogenic systemic fibrosis? *Nephrology Dialysis Transplantation*, v. 21, n. 4, p. 1104-1108, 2006.

HANSSON, B. et al. MR-safety: evaluation of compliance with screening routines using a structured screening interview. *Journal of Patient Safety and Risk Management*, v. 27, n. 2, p. 76-82, 2022.

HARTWIG, V. et al. Biological effects and safety in magnetic resonance imaging: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 6, n. 6, p. 1778-1798, 2009.

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP). Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. Health Physics, v. 96, n. 4, p. 504-514, 2009.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60601-2-33: Medical electrical equipment - Part 2-33. Genebra: IEC, 2022.

KANAL, E. et al. ACR guidance document on MR safe practices: 2013. Journal of Magnetic Resonance Imaging, v. 37, n. 3, p. 501-530, 2013.

MAZZOLA, A. A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. Revista Brasileira de Física Médica, v. 3, n. 1, p. 117-129, 2009.

MAZZOLA, A. A. et al. Segurança em imagem por ressonância magnética. Revista Brasileira de Física Médica, v. 13, n. 1, p. 76-91, 2019.

McDONALD, R. J. et al. Intracranial gadolinium deposition after contrast-enhanced MR imaging. Radiology, v. 275, n. 3, p. 772-782, 2015.

McJURY, M.; SHELLOCK, F. G. Auditory noise associated with MR procedures: a review. Journal of Magnetic Resonance Imaging, v. 12, n. 1, p. 37-45, 2000.

PANYCH, L. P.; MADORE, B. The physics of MRI safety. Journal of Magnetic Resonance Imaging, v. 47, n. 1, p. 28-43, 2018.

SAMMET, S. Magnetic resonance safety. Abdominal Radiology, v. 41, n. 3, p. 444-451, 2016.

SHAH, A.; ARAN, S. A review of magnetic resonance (MR) safety: the essentials to patient safety. Cureus, v. 15, n. 10, e47345, 2023.

SHELLOCK, F. G.; CRUES, J. V. MR procedures: biologic effects, safety, and patient care. Radiology, v. 232, n. 3, p. 635-652, 2004.

TSAI, L. L. et al. A practical guide to MR imaging safety: what radiologists need to know. RadioGraphics, v. 35, n. 6, p. 1722-1737, 2015.

WESTBROOK, C.; TALBOT, J. MRI in practice. 5. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2018.