Radiology

American College of Radiology MR Güvenliği Kılavuzu: 2024 Güncelleme ve Revizyonları

Ivan Pedrosa, MD, PhD- David A. Altman, MD- Jonathan R. Dillman, MD, MSc- Michael N. Hoff, PhD- Alexander M. McKinney, MD, CI-CIIP- Scott B. Reeder, MD, PhD- Jeffrey M. Rogg, MD- R. Jason Stafford, PhD- James A. Webb, RT- Dina L. Hernandez, BSRT- Robert E. Watson, MD, PhD

Radyoloji Bölümü, Texas Üniversitesi Güneybatı Tıp Merkezi, Dallas, Tex (I.P.); Radyoloji Bölümü, Mecklenburg Radiology Associates, Charlotte, NC (D.A.A.); Radyoloji Bölümü, Cincinnati Çocuk Hastanesi Tıp Merkezi, Cincinnati Üniversitesi Tıp Fakültesi, Cincinnati, Ohio (J.R.D.); Radyoloji ve Biyomedikal Görüntüleme Bölümü, Kaliforniya Üniversitesi-San Francisco, San Francisco, Kaliforniya (M.N.H.); Radyoloji Bölümü, Miami- Miller Üniversitesi Tıp Fakültesi, Miami, Fla (A.M.M.); Wisconsin Üniversitesi, Radyoloji, Medikal Fizik, Biyomedikal Mühendisliği, Tıp ve Acil Tıp Bölümleri, Madison, Wis (S.B.R.); Brown Üniversitesi Warren Alpert Tıp Fakültesi, Tanısal Görüntüleme Bölümü, Providence, RI (J.M.R.); Texas Üniversitesi MD Anderson Kanser Merkezi, Görüntüleme Fiziği Bölümü, Houston, Tex (R.J.S.); Tanısal Görüntüleme Bölümü, Rhode Island ve Hasbro Çocuk Hastanesi- Brown Üniversitesi Sağlık, Providence, RI (J.A.W.); Kalite ve Güvenlik Bölümü, Amerikan Radyoloji Koleji, Reston, Va (D.L.H.); ve Radyoloji Bölümü, Mayo Clinic, 200 1st St, Rochester, MN 55905 (R.E.W.). 28 Mayıs 2024'te alındı; 10 Temmuz'da revizyon istendi; son revizyon 20 Eylül'de alındı; 30 Eylül'de kabul edildi.

Yazışmaların adresi R.E.W. (e-posta:*watson.robert16@mayo.edu*).

Çıkar çatışmaları bu makalenin sonunda özetlenmiştir.

Ayrıca Kanal'ın bu sayıdaki başyazısına da bakınız.

Radiology 2025; 315(1):e241405 - https://doi.org/10.1148/radiol.241405 - İçerik kodları: SQ MR

American College of Radiology (ACR) MRG güvenlik kılavuzlarının 2002 yılında yayınlanmasından bu yana, klinik bakım ve araştırmalarda MRG kullanım endikasyonları genişlemeye devam etmiştir. Benzer şekilde, MRG teknolojileri de gelişti ve artık insan görüntülemesi için birden fazla alan gücü mevcut. İlk kılavuzdan bu yana çeşitli yayınlar ACR tavsiyelerini güncellemiş olsa da yapılandırılmış bir formatta tek bir kaynak eksikti. Bu doğrultuda, ACR MR Güvenliği Komitesi, insanlarda MRG ekipmanının güvenli kullanımına yönelik ACR tavsiyelerini tek bir belgede toplayan çevrimiçi ACR MR Güvenliği Kılavuzunu yakın zamanda güncellemiştir. Bu derlemede, ACR MR Güvenliği Kılavuzunun yeni yapısı açıklanmakta, yeni içerik tartışılmakta, daha fazla araştırma gerektiren bilgi boşlukları belirtilmekte ve MR Güvenliği Komitesinin MRG sistemlerinin uzaktan çalıştırılması gibi belirli konulardaki tavsiyelerinin gerekçesi açıklanmaktadır.

© RSNA, 2025

MR teknolojilerinin hasta bakımı ve araştırmada kullanımı, MR ortamlarının karmaşıklığının artmasıyla birlikte standart hale gelerek genişlemeye devam etmektedir. Ayrıca, MR muayenelerine tabi tutulan hastaların ve araştırma katılımcılarının karmaşıklığı, giderek artan sayıda yeni implante cihazların geliştirilmesi ve yaygınlaşmasıyla paralel olarak artmaya devam etmektedir. American College of Radiology (ACR) MR Güvenliği Komitesi, 20 yılı aşkın bir süredir insanlarda MR'nin güvenli kullanımı için kılavuzlar yayınlamaktadır (1–5). 2020 yılında, kılavuz metni ACR MR Güvenliği Kılavuzu (bundan sonra ACR Kılavuzu olarak anılacaktır) olarak çevrimiçi olarak yayınlanmıştır. 2022 yılında, komite MR güvenlik kılavuzlarını güncellemek ve çevrimiçi kılavuzu bölümler halinde yeniden tasarlamakla görevlendirilmiştir. Düzenli olarak yayınlanan metinlerden kapsamlı bir çevrimiçi kılavuza geçişin gerekçeleri şunlardır (*a*) Hızla gelişen MRG alanında güncellemelerin zamanında sağlanması gerekir. (*b*) MR güvenliği bilgilerinin, MR ortamlarında hasta bakımı ve araştırma katılımcılarıyla ilgilenen tüm kişiler tarafından dünya çapında erişilebilir olması gerekir; (*c*) mevcut kılavuzlar, tipik bir kılavuzda derlenebilecek miktardan çok daha fazla içerik barındırmaktadır ve (*d*) özellikle kılavuzlara yeni bölümler eklendiğinde veya revizyonlar yapıldığında ve bunlar daha sonra kılavuz formatında ayrı olarak yayınlandığında, içeriğin genel düzenini korumak zordur.

Buna göre, yeni ACR Kılavuzunun hedefleri *(a)* klinik uygulamalarda ve insan araştırmalarında MR'ın güvenli kullanımını kolaylaştırmak için tek ve aranabilir bir yerde kapsamlı ve güncel güvenlik uygulamaları sağlamak; *(b)* yeni veriler ve kanıtlar ortaya çıktıkça MR güvenlik kılavuzlarının zamanında güncellenmesini sağlamak ve *(c)* kesin uzman tavsiyesini desteklemek için verilerin eksik olduğu alanları belirtmektir. ACR Kılavuzu; gerçek dünyadaki MR klinik ve araştırma ortamlarında advers olay riskini en aza indirmek amacıyla, komite üyelerinin ortak uzman görüşüne ve mevcut literatüre dayanan en iyi uygulamalara yönelik genel kılavuzlar ve öneriler, diğerlerinin yanı sıra iş hacmiyle ilgili baskılara, mali hususlara ve potansiyel personel eksikliklerine dikkat çekmektedir. Bu inceleme, çevrimiçi kılavuzun organizasyonuna genel bir bakış sağlamakta ve komite üyelerinin MR güvenliğine ilişkin ACR kılavuzlarının önceki sürümlerinden yeni olan içeriği geliştirmek için benimsedikleri gerekçe ve yaklaşımı vurgulamaktadır. Bununla birlikte, bu inceleme kılavuz içeriğine kapsamlı bir genel bakışı kapsamamaktadır ve okuyucu ayrıntılı bilgi için ACR Kılavuzuna yönlendirilmektedir (6).

MR Güvenliği ile İlgili ACR Kılavuzunun Genel Hususları ve Yeni Yapısı

Güncellenmiş ACR Kılavuzu, temel MR ilkelerinin ve bunların MR güvenliğini nasıl etkilediğinin anlaşılmasını artırmak için bir eğitim aracı olarak hizmet etmeyi amaçlamaktadır. Bu öneriler, esnek olmayan kurallar veya uygulama gereklilikleri olarak düşünülmemeli ve yasal bir bakım standardı oluşturmak için kullanılmamalıdır.

ACR Kılavuzunun yeni organizasyonu, tesis tasarımı için ilk hususları, güvenlik politikaları ve standart işletim prosedürleri (SİP) için kılavuzları, önerilen liderlik ve uzman gözetimini ve bir MRG incelemesi öncesinde, sırasında ve sonrasındaki prosedürler için güncel önerileri içeren aşamalı bir çerçeveyi takip etmektedir. ACR Kılavuzu, bir MR tesisinin tasarımı ve işletimi hakkında ek bilgiler sağlayan çeşitli eklerle zenginleştirilmiştir.

Bu kopya sadece kişisel kullanım içindir. Kopya sipariş etmek için iletişime geçin *reprints@rsna.org*

Kısaltmalar

ACR = American College of Radiology, UTK = Uluslararası Teknik Komisyonu, MRTD= MR Tıbbi Direktörü,
RF= radyofrekans, ÖSO= özgül soğurma oranı, SİP= standart işletim prosedürü

Özet

2024'te güncellenen Amerikan Radyoloji Koleji MR Güvenliği Kılavuzu, bir MRI tesisinin güvenli işletimiyle ilgili konularda kapsamlı bir bilgi ve öneri kaynağı sağlar.

Temeller

- American College of Radiology 'nin (ACR) MR Güvenliği Kılavuzu'nun çevrimiçi baskısı, hızla gelişen MRI alanını ele almak için zamanında güncellenebilen yeni bir kaynaktır.
- ACR MR Güvenliği El Kitabı, MR personelinin eğitim seviyeleri ve sorumlulukları için yeni kılavuzlar sunmaktadır.
- Personel modelleri, hibrit sistemler, intraoperatif veya girişimsel MR süitleri, radyoloji departmanları dışındaki MR tesisleri (örn. radyasyon onkolojisi) ve uzaktan tarama dahil olmak üzere MR ortamlarının yeni ortaya çıkan karmaşıklıklarını ele almalıdır.
- MR sistemlerinin uzaktan çalıştırılması, hastaların görüntülenmesi için yenilikçi bir çözümdür ancak aynı zamanda MR tesislerinin güvenli bir şekilde işletilmesi için yeni zorluklar ortaya çıkarmaktadır.
- İnsanlarda MR kullanımı için yeterli güvenlik standartlarını sürdürmede MR tesislerine yardımcı olmak için kapsamlı bir politika ve standart işletim prosedürleri listesi bir kılavuz olarak sunulmaktadır.

ACR Kılavuzu, kılavuzun kapsamı dışında kalan veya diğer uzman panelleri tarafından ayrıntılı olarak ele alınan konular için mevcut diğer belgelere atıfta bulunur. Örneğin, kılavuz MRG' de kontrast madde kullanımına ilişkin tavsiyeler için ACR Kontrast Madde Kılavuzu'na (7) atıfta bulunmaktadır. Benzer şekilde, kılavuz, kardiovasküler implante edilebilir elektronik cihazları olan hastalarda MR incelemeleri için Kalp Ritmi Derneği'nin (8) güncel önerilerine atıfta bulunmaktadır.

MR Güvenliği, Politikalar ve SİP'ler

MR tesislerinde ölüm ve ciddi yaralanmalar meydana gelmiştir. MR güvenlik olayları genellikle güvenli olmayan uygulamalar, MR güvenlik politikalarına ve SİP'lere uyulmaması veya güvenlik politikaları ve SİP'lerdeki eksikliklerle bağlantılıdır. Ekipman arızaları nadiren MR güvenlik olaylarının birincil nedenidir. MR'ın riskleri statik alan (B_0) ve zamanla değişen iki alan, gradyan alanı (dB_0/dt) ve radyofrekans (RF) alanı (B_1) ile ilgilidir. B_1ve dB_0/dt ile ilişkili riskler kısmen farklı tarayıcı çalışma modları (örneğin, normal ve birinci seviye kontrollü) ile yönetilir. Bu alanlar, implante ve on-plante (yani, insülin pompaları gibi giyilen veya büyük ölçüde vücudun dışında bulunan) tıbbi cihazlarla potansiyel olarak zararlı şekillerde etkileşime girebilir.

Tanısal, arama, girişimsel ve/veya intra veya perioperatif uygulamalara yönelik tesisler de dahil olmak üzere, mıknatıs tasarımı veya alan gücüne bakılmaksızın tüm klinik ve araştırma MR tesisleri MR güvenlik politikalarını sürdürmelidir. Tesisin tavsiye edilen yönetim yapısında bir MR Tıbbi Direktörü (MRTD), bir MR Güvenlik Görevlisi ve bir MR Güvenlik Uzmanı yer alır ve bu kişilerin rolleri ve sorumlulukları açıkça tanımlanır(9). Ayrıca, yönetim yapısında yer alanların ve mümkün olduğunda diğer ilgili paydaşların (örn. radyologlar, fizikçiler, teknoloji uzmanları, ileri uygulama sağlayıcıları, hemşireler, anestezi personeli, MR teknik bakım personeli), teşvik edilmektedir. Komite düzenli olarak toplanmalı, MR ile ilgili advers olayları, güvenlik vakalarını, "ramak kala" olaylarını ve diğer MR güvenlik sorunlarını gözden geçirmeli ve rapor etmelidir (uygun olduğunda), böylece politikalar ve SİP'ler gelecekteki vakaları önlemek amacıyla gerektiğinde güncellenebilir. ACR Kılavuzu şimdi ilk kez Ek 1'de MR tesisleri için önerilen politika ve SİP'lerin kapsamlı bir listesini sunmaktadır (6).

MR Ortamı: MRI Saha Planlaması ve MR Bölgeleri

Yeni bir MRG tesisinin tasarımına ilişkin planlar, hasta güvenliği ve hasta akışına ilişkin hususları bilen deneyimli personel tarafından gözden geçirilmelidir. ACR Kılavuzundaki Ek 2, dikkate alınması gereken uygulanabilir MR güvenlik bölgelerine ayrılmış kapsamlı bir madde listesi sunmaktadır. Uygun şekilde yerleştirilmiş manyetik tehlike işaretleri MRG güvenliğinin temel direklerinden biri olmaya devam etmektedir (Şekil 1). MR güvenlik risklerini tesis içindeki fiziksel konumla ilişkili olarak daha iyi tanımlamak için artık çeşitli kaynaklardan uyarlanan üç temel tanıma vurgu yapılmaktadır (10-12).

MR Çevresi

MR Ortamı, MR sistemini çevreleyen ve hem Faraday korumalı hacmi hem de 9-G hattını içeren üç boyutlu hacimdir. Bu bölgede, bir tıbbi cihaz MR ekipmanı ve aksesuarları tarafından üretilen elektromanyetik alanlara maruz kalma nedeniyle tehlike oluşturabilir ve risk azaltma için erişim kontrolü gereklidir.

MR Kontrollü Erişim Alanı

MR Kontrollü Erişim Alanı, MR sisteminin etrafında MR ortamını (statik manyetik alanı dahil) içeren ve erişimin yetkili personelle sınırlı olduğu yerel olarak tanımlanmış alandır. MR ortamının dışındaki ek alanlar kontrollü erişim alanı içinde olabilir.

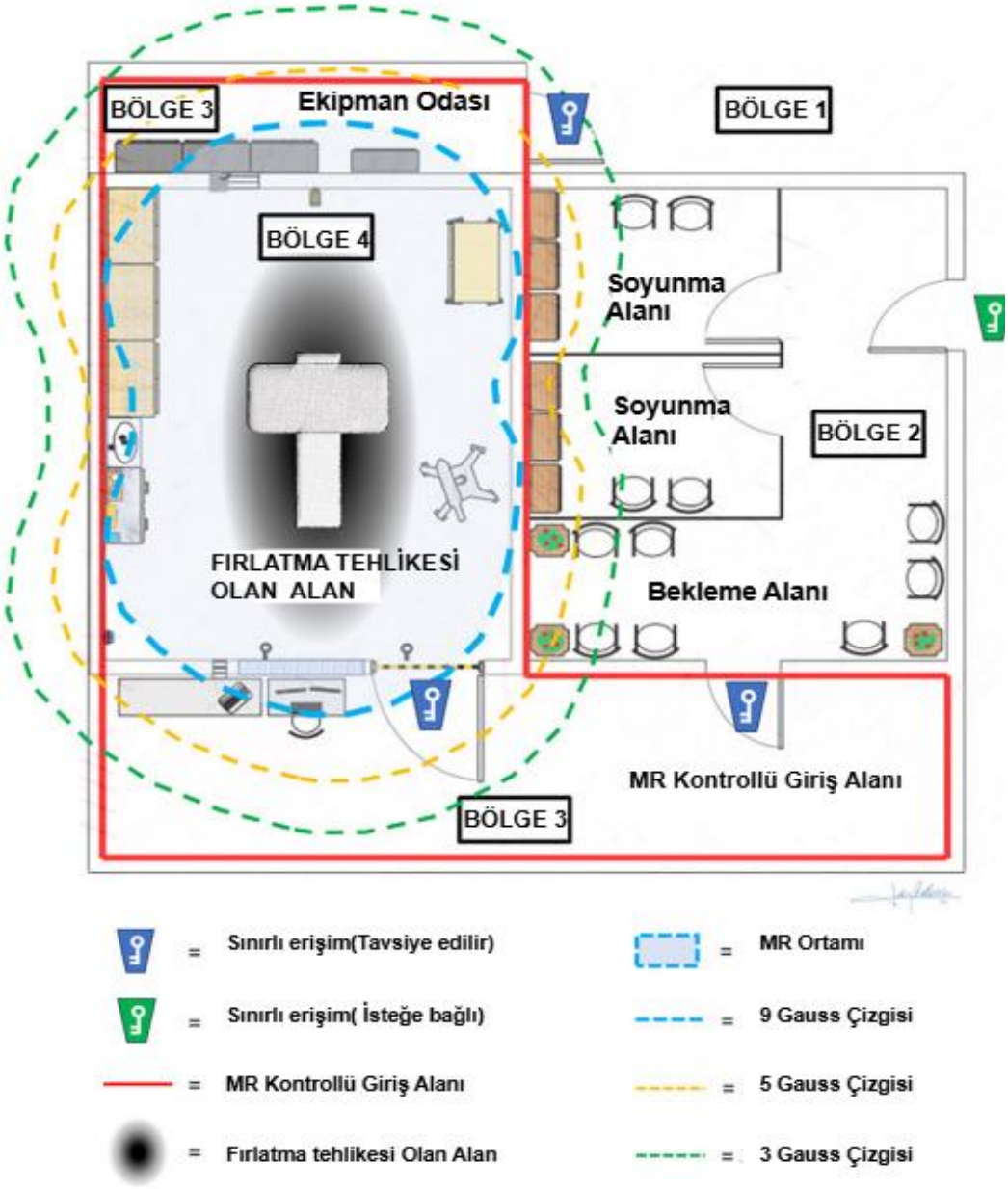
Bölge IV ile doğrudan bitişik olmasa bile süitin üstündeki, altındaki ve etrafındaki alanlara 9 G'den daha büyük bir manyetik alanın uzandığı alanlar B_0 tehlike risk alanının bir parçası ve MR Kontrollü Erişim Alanı içinde kabul edilir. Fırlatma riskleri nedeniyle, Bölge IV'e doğrudan erişim sağlayan Bölge III'e herhangi bir giriş, yalnızca belirlenmiş personelin erişimini sağlamak için erişim kontrol kartları, rozetler veya diğer teknolojilerle sınırlandırılmalıdır. Geçici olarak bu bölgede depolanan MR Güvenli Olmayan Ekipmanların emniyete alınması için Bölge III' teki bağlayıcılar için yeni bir güvenlik tavsiyesi yapılmıştır (Şekil 2).

MR Fırlatma Alanı

MR Fırlatma Alanı, ferromanyetik nesnelerin fırlatma riski taşıdığı MRG sistemini çevreleyen Bölge IV içindeki alandır.

Dört MR güvenlik bölgesi büyük ölçüde değişmemiş olsa da birkaç güncelleme özel dikkat gerektirdiğinden, okuyucu ayrıntılı tanımlar için ACR Kılavuzuna yönlendirilmektedir.

9-G hattı ile ilgili olarak, Bölge III öncelikle MR Kontrollü Erişim Alanını içermektedir. Tarihsel olarak, 5-G çizgisi risk için standart bir eşik olmuştur. MRG güvenliği için 5 G (0,5 mT) manyetik saçak alanı "kalp pili çizgisi" ile eş anlamlı kabul edilmiştir (yani, kardiyovasküler implante edilebilir elektronik cihazlar için saçak alanı gerekliliklerine dayanan muhafazakâr bir eşik değeridir [13,14].



Şekil 1: Diyagram bir MR tesisinin örnek yerleşim planını göstermektedir. American College of Radiology dört bölge modeliyle ilişkili olarak "MR Kontrollü Erişim Alanı", "MR Ortamı" ve "Fırlatma Tehlikesi Olan Alan" tasvirlerine dikkat edin.

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (UEK) standardında (UEK 60601-2-33:2022) yakın zamanda yapılan bir güncelleme, saçak alanı sınırını 9 G (0,9 mT) olarak revize etmiştir (15). ACR Kılavuzu yeni UEK standardını onaylamaktadır. 9-G hattı 5-G hattının içinde yer aldığından (yani mıknatısa daha yakın olduğundan), 5-G hattını B_0 tehlike bölgesi olarak kullanmak için önceki önerileri takip eden tesislerin MR ortamının güvenliğini korumak için ayarlamalar yapması gerekmez.

Kriyojen Havalandırma Bölgesi

Daha önce Bölge III' ün bir parçası olarak kabul edilen kriyojen havalandırması için belirlenmiş alan (tipik olarak tesisin çatısında) artık ayrı olarak değerlendirilmektedir. Tipik olarak, Bölge III ve IV'ü içeren MR Kontrollü Erişim Alanları ile bitişik değildir ve MR personelinin erişimi kontrol etmesi neredeyse imkansızdır. Ancak, tesislerin bu alana erişimi kontrol etmesi ve güvenlik işaretlerini muhafaza etmesi ihtiyacı devam etmektedir.

MR Personeli ve Kadrolama

MR Personeli (MR tesisinde sürekli olarak çalışanlar) MR Personeli olmayanlardan (hastalar, ziyaretçiler veya MR Personeli kriterlerini karşılamayan personel) ayrı tutulur. MR Personeli şu şekilde sınıflandırılır;

(a) MR ortamında kendileri veya başkaları için tehlike oluşturmamalarını sağlamak üzere MRTD tarafından tanımlanan MR güvenlik eğitiminden geçmiş olan Seviye 1 *ve (b)* MR güvenlik konularının daha geniş yönleri hakkında daha kapsamlı eğitim almış olan Seviye 2. ACR Kılavuzu artık Seviye 1 ve Seviye 2 MR Personelinin eğitimi için beklenen yaygın güvenlik unsurlarına ilişkin yönergeler sunmaktadır (Tablo 1).

Güvenlik ve operasyonel verimliliğin sağlanabilmesi için, belirli durumlarda (örneğin, alternatif MR ortamlarında), Seviye 1 ve Seviye 2 MR personelinin daha ayrıntılı şekilde sınıflandırılmasına yönelik ek eğitime ihtiyaç duyulabilir. Her ne kadar belirli bir MR tesisinin personel modeli, tesisin tasarımı da dahil olmak üzere birçok faktörden etkileniyor olsa da (Örneğin, ayakta tedavi gören hastalar, yatan hastalar, acil servis, araştırma), genel olarak geçerli olan genel öneriler dikkate alınmalıdır. Her tesis, güvenliği sağlamak üzere sahada yeterli sayıda uygun eğitimli personel bulunmasını temin etmek üzere her MR alanı için asgari bir personel planı oluşturmalıdır. MR Teknologları, insan taraması için MR sistemlerini çalıştırmak üzere özel eğitim almış ve yerel gereklilikleri karşılayan sağlık uzmanlarıdır. Rutin saatlerde tarayıcı başına en az bir Seviye 2 eğitimli MR Teknoloğu gereklidir. İnsan taraması için MR tarayıcısını çalıştıran Seviye 2 MR personeli eğitimli ve sertifikalı Seviye 2 MR Teknologlarıdır. Ayrıca Bölge III' te en az bir ek MR Personeli (Seviye 1 veya Seviye 2) bulunmalıdır; Bölge II' den hasta görüşmesi veya alımı için geçici bir istisna yapılabilir.

Şekil 2: Fotoğraf Bölge III'te sedye kullanımını göstermektedir. MR açısından güvenli olmayan bir sedyenin Bölge III'te geçici olarak depolanmasına örnek. Bu tür ekipmanların geçici olarak depolanması hasta bakımını kolaylaştırmak için bazı durumlarda gerekli olsa da bağlama, MR Güvenli Olmayan ekipmanların yanlışlıkla Bölge IV'e sokulması riskini en aza indirir. Duvardaki bu ekipmanın mıknatıs odasına alınamayacağını belirten açık tabelaya dikkat edin.

Uzaktan Çalıştırma

Uzaktan çalıştırma kabiliyetlerinin (MRG konsolunun bitişik Bölge III'e uzak bir konumdaki bir operatör tarafından kontrol edildiği *uzaktan tarama* olarak da bilinir) son zamanlarda gelişmesi hastalara potansiyel faydalar sunmaktadır (örneğin, uzman MR Teknologlarına daha iyi erişim); ancak bu aynı zamanda MRG tesislerinin personel modellerine yeni karmaşıklıklar getirmektedir. Bunun gelişen bir teknoloji olduğunu kabul eden ACR Kılavuzu, MR Teknoloğunun bir hastayı veya insan araştırma katılımcısını uzaktan taradığı durumlarda öncelikli ilkenin, taranan kişilerin ve sahadaki personelin güvenliğinin her zaman sahadaki MR Teknoloğu ile aynı seviyede tutulması gerektiğini belirtmektedir.

Tesisin MRTD'i, tesislerinde taranan kişilerin güvenliği için gerekli personel ve eğitime ilişkin politikanın geliştirilmesi ve uygulanmasından sorumludur. Son yayınların, uzaktan tarama ortamlarında, tipik olarak MR Teknologları tarafından gerçekleştirilen tarama dışı görevlerin, onların yerine özel olarak eğitilmiş teknolog olmayan kişiler tarafından gerçekleştirilebileceğini önerdiği unutulmamalıdır. Bu yeni rol çeşitli şekillerde "MR teknoloğu yardımcısı" (16) veya "hasta yöneticisi" (17) olarak adlandırılmıştır. Ancak, gerekli eğitim ve akreditasyon da dahil olmak üzere bu yeni pozisyonlar için ulusal ve eyalet standartları ve lisansları şu anda mevcut değildir.

Çok sayıda potansiyel senaryonun ayrıntıları bu incelemenin kapsamı dışındadır (Şekil 3). Bununla birlikte, bazı temel unsurlar personel modeli kabul edilmelidir: *(a)* Seviye 2 MR Teknoloğu, Bölge III'te veya uzaktan MRG sisteminin tam kontrolünde olmalıdır; *(b)* tarama uzaktan yapıldığında doğrudan, yüz yüze hasta izleme sürekli olmalıdır; *(c)* hasta Bölge IV'te iken her hastaya hem hastayı hem de uzaktaki MR Teknoloğunu izleme ve onlarla iletişim kurma sorumluluğuna sahip, yerinde görevlendirilmiş Seviye 2 MR Personeli atanmalıdır. Hasta izleme ve güvenlik endişeleri nedeniyle, ACR Kılavuzu şu anda uzaktaki bir MR Teknoloğunun aynı anda birden fazla hastayı taradığı durumları tavsiye etmemektedir.

ACR MR Güvenliği Komitesi uzaktan taramanın yararlarını ve personel sorunlarını çözme potansiyelini kabul etmektedir. Bununla birlikte, MR konsolu operatörünün işlevinin MR sisteminin çalışmasıyla ilgili teknik hususların çok ötesine uzandığını da kabul etmektedir. Yardımcı teknoloji kullanırken bile MR operatörünün önemli bir rolü, hasta güvenliğini tehlikeye atabilecek durumları tespit etmektir. Bu, görüntülerin artefaktlar (örneğin, tespit edilmemiş bir yabancı cisimle ilgili), hasta sıkıntısının bir işareti olarak hareket ve denetleyici doktorla acil iletişim gerektiren akut tıbbi bulgular açısından incelenmesini içerir. Bu bilişsel görevler mevcut yazılım veya Bölge III'teki bir asistan tarafından yerine getirilemez ve tek bir operatör aynı anda birden fazla hastayı tarıyorsa güvenlik tehlikeye girebilir.

Uzaktan tarama, önceden tanımlanmış rollere sahip yeterli bir personel modeli gerektirir (Tablo 2). ACR MR Güvenliği Komitesi, uzaktan tarama için MR güvenlik kılavuzlarının teknolojideki, deneyimdeki ve eğitim standartlarındaki değişikliklerle muhtemelen gelişeceğini kabul etmektedir.

MR Taraması

Bölge III ve IV'e girmeden önce herhangi bir kişinin (örneğin hastalar, araştırma katılımcıları, refakatçiler, personel) kapsamlı bir şekilde taranması, MRG sırasında güvenliği sağlamak için en önemli adımlardan biri olmaya devam etmektedir. Nihayetinde, bir hastaya tarama yapılıp yapılmayacağına dair nihai karar MRTD veya hastadan sorumlu atanmış doktor tarafından verilmelidir. Sıklıkla, MRTD bu yetkiyi mevcut politikalar ve SİP'ler aracılığıyla MR Teknologlarına devreder, böylece belirlenmiş nöbetçi hekime yalnızca devam etme kararının açık olmadığı seçilmiş hastalar için danışılır. Önemli olarak, denetleyici hekim, çalışmanın yapılmaması halinde ortaya çıkabilecek riskler de dahil olmak üzere MRG incelemesinin faydasını (örneğin, tanı, bakım planı) devam etmenin risklerine karşı dengelemelidir. Bu karmaşık kararlar genellikle implante cihazları olan hastaları kapsar ve birden fazla sağlık uzmanının (örneğin doktorlar, MR güvenlik görevlisi, MR güvenlik uzmanı, cihaz üreticisi temsilcisi) katkısını gerektirebilir.

Risk tanımlama, değerlendirme ve azaltmaya yönelik bir yaklaşım güvenli tarama için tüm MRG koşullarının karşılanmamış olabileceği implante cihazlara sahip hastalar da dahil olmak üzere, MRG öncesinde yapılması gerekenler artık ACR Kılavuzunda açıklanmaktadır. İmplante edilen cihazların türünü, yerini, markasını ve modelini doğru bir şekilde belirlemek ve görüntüleme için cihaza özgü koşulları karşılayan bir MRG tarayıcısının mevcudiyetini göz önünde bulundurmak önemlidir. Tıbbi durumlar ve cihazın MRG incelemesinin tanısal kalitesi üzerindeki potansiyel etkisi gibi hastayla ilgili özelliklerin değerlendirilmesi de önemlidir (örn. değerlendirme yapılan anatomik bölgede görülen artefaktlar).

Tablo 1: Seviye 1 ve Seviye 2 MR Personeli için Beklenen MRG Güvenlik Eğitiminin Ortak Temel Unsurları

Konu	Seviye 1 MR Personeli	Seviye 2 MR Personeli
Ferromanyetik fırlatma riskleri	✓	✓
Genel manyetik alan güvenliği: "Mıknatıs Her Zaman Açık" tabelası	✓	✓
Bölge III ve IV kapı güvenliğinin ve teyakkuzun sürdürülmesinin önemi	✓	✓
MR Ortamında Acil Durum prosedürleri ve sorumlulukları, Acil Durum da dahil olmak üzere Mıknatıs Kapatma prosedürleri (söndürme)	✓	✓
Bölge III ve Bölge IV'e girmeden önce MR güvenlik taramasının önemi	✓	✓
MRTD, MRGG ve MRGU'nın rollerinin ve bu personelle nasıl iletişime geçileceğinin anlaşılması	✓	✓
Güvenlik olaylarının ve ramak kala raporlamasının öneminin ve bunun sahaya özgü mekanizmalarının anlaşılması	✓	✓
Bölge III' teki potansiyel MR Emniyetsiz ekipmanı emniyete alma prosedürleri (bağlama, kilitli depolama, vb.)	✓	✓
Alternatif MR Ortamlarında (örneğin, PET/MRI, intraoperatif veya girişimsel, 7 T) çalışma için uygun önlemler ve prosedürler	✓	✓
Bölge III ve Bölge IV'e girmeden önce uygun MR güvenlik taraması unsurları ferromanyetik algılama ekipmanının kullanımı		✓
Radyofrekansla ilgili güvenlik		✓
Zamanla değişen manyetik alanlar: PSS ve akustik gürültü		✓
Kriyojen ve su verme güvenliği		✓
İmplante cihaz güvenliği		✓
Kontrast madde güvenliği		✓
Tüm güvenlik anahtarlarının doğru kullanımı ve işlevi		✓
Statik manyetik alan güvenliği: uzamsal gradyanlar ve Lenz ile ilgili kuvvetler		✓
Termal yanık önleme		✓
Tarama sırasında hasta veya araştırma katılımcısı ile iletişim kurabilmeyi sağlayacak prosedürler		✓
Benzersiz hastaların taranması ile ilgili faktörler (örneğin, hamile, pediatrik, klostrofobik, büyük vücut habitusu ve hapsedilmiş, gözaltına alınmış veya şartlı tahliye edilmiş hastalar)		✓

Not: Seviye 1 ve 2 eğitiminin beklenen içeriği, MR Tıbbi Direktörünün (MRTD) talimatıyla, farklı MR tesisleri arasında belirli yerel ihtiyaçlara göre değişebilir. MRGU= MR Güvenlik Uzmanı, MRGG= MR Güvenlik Görevlisi, PSS= periferik sinir stimülasyonu.

Ayrıca, MRG tesisinin muayene öncesi hasta hazırlığı (örneğin, cihazın belirli bir MRG tarama moduna ayarlanması), muayene sırasında MRG sistemi işlemleri (örneğin, değiştirilmiş çekim protokolü ve teknoloji uzmanı eğitimi) ve muayene sonrası bakım (örneğin, cihazın normal çalışma moduna yeniden programlanması) için uygun SİP'lere sahip olması gerekir.

Tam Duruş ve Son Kontrol, Muayene

Hazırlık ve Tamamlama

MR Teknoloğu tarafından gerçekleştirilen "tam duruş ve son kontrolün" önemi ACR Kılavuzunda vurgulanmıştır. Artık MR güvenlik risklerinin farklı seviyelerini ele alan kademeli bir yaklaşım önerilmektedir: *(a)* Bölge IV'e girmeden hemen önce hasta, destek ekipmanı ve personel için MR güvenlik taramasının tatmin edici şekilde tamamlandığı rutin, tipik ayakta tedavi ortamı ve *(b)* rutin süreçteki öğelerin yanı sıra Bölge III veya IV'e giren tüm destek personeli ve taşıma veya destek ekipmanının kapsamlı taramasını içeren artırılmış, daha karmaşık ortamlar (örneğin, hastaneye yatırılan veya girişimsel hastalar) (örneğin, MR güvenlik koşulları, ekipmanın duvara bağlanması). Genişletilmiş son kontrol ve nihai onay süreci; sorumlu Seviye 2 MR Teknoloğu tarafından yapılan sözlü bir gözden geçirmeyi ve ikinci bir MR personelinin onayını içermektedir. Bu süreç, Evrensel Protokol'ün ameliyathane/işlem öncesi son kontrol aşamasındaki unsurlarına dayalı olarak yapılandırılmıştır (Tablo 3). İntraoperatif MRG süitleri gibi daha karmaşık senaryolarda tesis tasarımı ve işlevselliği için özel SİP'lerin uygulanması önemlidir. Buna bir örnek, tam durma ve son kontrol sürecinin bir parçası olarak MRG güvenliği perspektifinden hasta durumunda bir değişiklik olmadığını (örneğin ameliyathaneye yerleştirilen yeni bir cihaz) teyit etmektir.

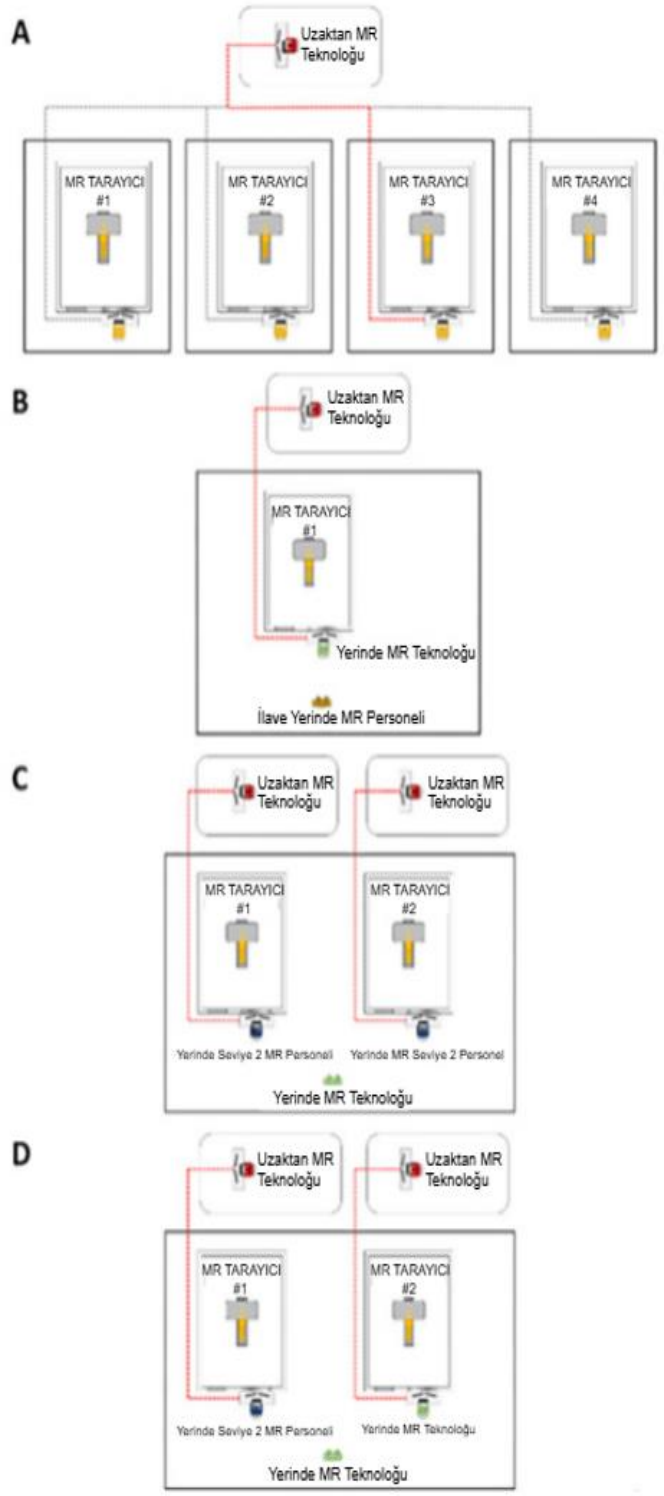
MR Alanları ve Güvenlik Endişeleri

MR teknolojisinin kullanımıyla ilgili başlıca güvenlik endişesi kaynakları arasında aşağıdakiler yer almaktadır.

Statik Manyetik Alan (B_0)

Çoğu insan MR sistemi için her zaman açık kalan güçlü, değişmeyen alan, metalik implantlar, cihazlar ve nesneler üzerindeki potansiyel kuvvetlerde temel bir rol oynar. B_0 genellikle mıknatıs deliği içinde sabittir ve mıknatısın dışında hızla daralır. ABD Gıda ve İlaç Dairesi veya FDA, 9-G hattının yeni UTK standardını B_0 tehlike alanı olarak kabul etmektedir.

Mıknatıs deliğinin merkezinden statik manyetik alan bölgesinin saçaklarına kadar manyetik alandaki hızlı uzamsal değişim, MR sistemi etrafındaki konumun bir fonksiyonu olarak B_0 daki değişim oranını tanımlayan uzamsal alan gradyanı olarak adlandırılır (metre başına tesla veya santimetre başına gauss cinsinden ölçülür). Risk açısından, nesneler üzerindeki dönme torku kuvvetleri öncelikle B0 alan kuvveti tarafından belirlenir ve mıknatısın deliği içinde en yüksektir, ötelemeli yer değiştirme kuvvetleri ise genellikle uzaysal alan gradyanının en büyük olduğu mıknatısın kenarına yakın yerlerde en yüksek olma eğilimindedir.



Şekil 3: Diyagram, uzaktan MR taramasında olası personel senaryolarının örneklerini göstermektedir. Başka olası durumlar da mevcut olabilir ve her bir sahadaki MR Tıbbi Direktörü tarafından ele alınmalıdır. **(A)** Bir uzak konsol tek bir veya birden fazla MR tarayıcıya bağlanabilir. Ancak, tek bir uzak teknolog tarafından belirli bir zamanda birden fazla tarayıcıyla eşzamanlı uzaktan izleme ve/veya tarama (yani, aktif bağlantı) şu anda önerilmemektedir. Bu örnekte, uzak konsol dört farklı MR tarayıcısına bağlıdır, ancak uzak MR Teknoloğu yalnızca 3 numaralı tarayıcıyla aktif bir bağlantı kurmuştur. 3 (kırmızı kesikli çizgi). **(B)** Bölge III başına tek tarayıcı. Sahadaki Seviye 2 MR Teknoloğu, uzaktan tarama yapan Seviye 2 MR Teknoloğu ile etkileşim halindeyken hastayı izler. Yerinde çalışan ek bir MR Personeli, yerinde çalışan MR Teknoloğuna yardımcı olur. **(C)** Bölge III'ü paylaşan iki tarayıcı ve özel MRG güvenlik eğitimi almış tesis içi Seviye 2 personel, uzaktan tarama yapan Seviye 2 MR Teknoloğu ile etkileşim halindeyken sorumlu oldukları tek bir hastayı izler. Bir MRG tesisi Seviye 2 MR Teknoloğu her zaman sahadadır ve bu durumda izleme personeline hemen ulaşabilir. **(D)** Bölge III'ü paylaşan iki tarayıcı ve özel MRG güvenlik eğitimi almış tesis içi Seviye 2 Personel ile uzaktan tarama yapan Seviye 2 MR Teknoloğu ile etkileşim halindeyken sorumlu oldukları tek bir hastayı izleyen Seviye 2 MR Teknoloğu. MR tarayıcı 2'deki hastayı izleyen Seviye 2 MR Teknoloğu MR tarayıcı 1'deki MR Seviye 2 Personeline yardımcı olamayacağından, bu durumda bir MR tesisi Seviye 2 MR Teknoloğu her zaman sahadadır ve izleme personelinin hemen ulaşabileceği bir konumdadır.

Ferromanyetik bir nesne silindirik bir delikli mıknatısın yüzüne doğru taşınırken, hızla artan öteleme kuvvetlerine maruz kalır ve potansiyel olarak tehlikeli bir projeksiyona neden olur. ACR Kılavuzu, statik manyetik alan (B_0) ve uzaysal alan gradyanı (Şekil 4) arasındaki farkları gösteren yeni şemalar içermektedir.

Zamanla Değişen RF Manyetik Alan (B_1)

MR'da termal yanıkların birincil kaynağı, iletilen B1 alanı tarafından oluşturulan elektrik alanlarıdır. Bu alanlar, özellikle lokal empedansın yüksek olduğu bölgelerde lokalize ısınmaya neden olabilir (18).

RF birikimindeki potansiyel farklılıkları ve dahili vücut bobini ile gönderme-alma bobini kullanıldığında doku ısıtma bölgelerini göstermek için yeni şemalar sağlanmıştır (Şekil 5). Bu tür farklılıkları anlamak, bir hasta için en iyi RF bobininin seçilmesinde çok önemlidir. Doku ısınmasının yaygın potansiyel kaynakları ve risk azaltma yaklaşımları, son yıllarda sıklıkla karşılaşılan belirli sorunlar (örneğin, elektrik ileten giysiler, piercingler, ilaç dağıtım yamaları ve pedleri) dahil olmak üzere tartışılmaktadır.

MR üreticilerinin doku ve toplam vücut ısınması riskini nasıl tahmin ettiklerine ilişkin bazı önemli parametreler açıklığa kavuşturulmuştur. Spesifik absorpsiyon oranı (SAO) (watt/kilogram cinsinden), MRI'da insan dokusu tarafından RF enerjisinin absorpsiyon oranını tahmin eder; bu, RF gücünün biyolojik dokuya bağlandığı kütle normalize edilmiş orandır (19). SAO, hastadaki enerji emilim oranının bir tahmini olup, toplam enerji dozu değildir. Buna karşılık, bir MRI muayenesi sırasında hasta tarafından emilen toplam enerji, spesifik enerji dozu, spesifik emilen enerji veya spesifik emilim (kilogram başına joule veya kilogram başına kilojoule cinsinden) olarak adlandırılır. SAO sınırları, kısa süreli RF ile ilişkili tüm vücut ve lokal doku ısınmasını önlemek için tasarlanmıştır, spesifik enerji dozu sınırları ise muayene sırasında verilen net enerjinin güvenliği (yani, çekirdek sıcaklık artışlarına, rahatsızlığa veya fizyolojik strese neden olma olasılığı) konusunda kılavuz sağlamak için geliştirilmiştir (20). SAO ve spesifik enerji dozu ölçümleriyle ilişkili potansiyel riskler hakkında bir tartışma ACR Kılavuzunda yer almaktadır.

Zamanla Değişen Manyetik Alan Gradyanı (dB_0/dt)

MR sistemleri B_0 alanını modüle etmek için manyetik alan gradyanlarını kullanır. Gradyanlar, MR sinyalinin uzamsal lokalizasyonu için zaman içinde hızla değiştirilir ve çeşitlendirilir; bunlar zamansal değişim oranlarıyla (yani dB_0/dt cinsinden) tanımlanır.

Tablo 2: Uzaktan MR Tarama Teknolojisi Kullanıldığında Ortak Sorumluluklar/Görevler

A	B	C	D
Seviye 2 eğitimli Yerinde MR Teknoloğu	Yerinde İzleme Seviye 2 MR Personeli (MR Teknoloğu veya özel eğitimli MR Teknoloğu olmayan)	Yerinde Ek Seviye 1 veya Seviye 2 Personel	Uzaktan MR Teknoloğu
1. Hasta/araştırma katılımcısı MR güvenlik tarama sürecini tamamlayın. 2. Hastayı/araştırma katılımcısını, bunlarla sınırlı olmamak üzere uygun unsurları içerecek şekilde MR tarayıcısına yerleştirin: a. Fizyolojik izleme ekipmanının ve diğer ekipmanların kabloların/kabloların uygun şekilde güvenli yerleştirilmesi ile kurulması. b. Yalıtım dolgusunun yerleştirilmesi vb. c. Uygun işitme koruması sağlayın ve uygun şekilde kullanıldığından emin olun hasta/araştırma katılımcısı tarafından. d. Acil durum sıkışma alarmı sağlayın. 3. Bölge IV'te bir hasta/araştırma katılımcısı olduğunda Bölge III ila IV'te bulunun veya Seviye 2 MR güvenlik eğitimine sahip teknolog olmayan bir kişiyi denetleyin. 4. Bir değişiklik olması durumunda izleme Seviye 2 Personeline yardımcı olun Bölge III ve IV'teki hastanın/araştırma katılımcısının tıbbi durumu veya acil durumu	1. Hastanın Bölge III ve IV'te olduğu süre boyunca Bölge III'te bulunmalı ve muayene öncesinde ve sırasında hasta/araştırma katılımcısı ve uzaktaki MR Teknoloğu ile her zaman iletişim kurabilmelidir. 2. Özel olarak atanmış her bir hastayı/araştırma katılımcısını Bölge IV'te bulundukları süre boyunca aşağıdakileri içerecek ancak bunlarla sınırlı olmayacak şekilde sürekli olarak izleyin: a. Hasta/araştırma katılımcısı acil durum bildirimine derhal yanıt verin (örneğin, topu sıkmak) ve yerinde yanıtın uygun olduğu diğer sözlü iletişim. b. Olası kontrast madde reaksiyonlarına, kontrast madde ekstravazasyonuna, olası aşırı ısınma ve/veya yanık endişesine ve diğer ilgili sorunlara yanıt verin. c. Uzaktan MR tarama Teknoloğu için irtibat noktası olarak hizmet vermek ve gerekli hasta/araştırma katılımcısı talimatlarının iletilmesine yardımcı olmak (örneğin, hasta hareketiyle ilgili konular vb.).	1. Saha güvenliğinin sağlanmasına yardımcı olun. 2. Acil durumlarda yardımcı olmak (örneğin, bir kod ekibi için Bölge III'ü aramak ve erişim sağlamak).	1. MR taraması gerçekleştirin, görüntüleri değerlendirin/izleyin ve etkin bir şekilde koordine edin MRG alımının tüm yönleriyle ilgili olarak hasta sahası personeli ile ve hasta güvenliğini korumak.

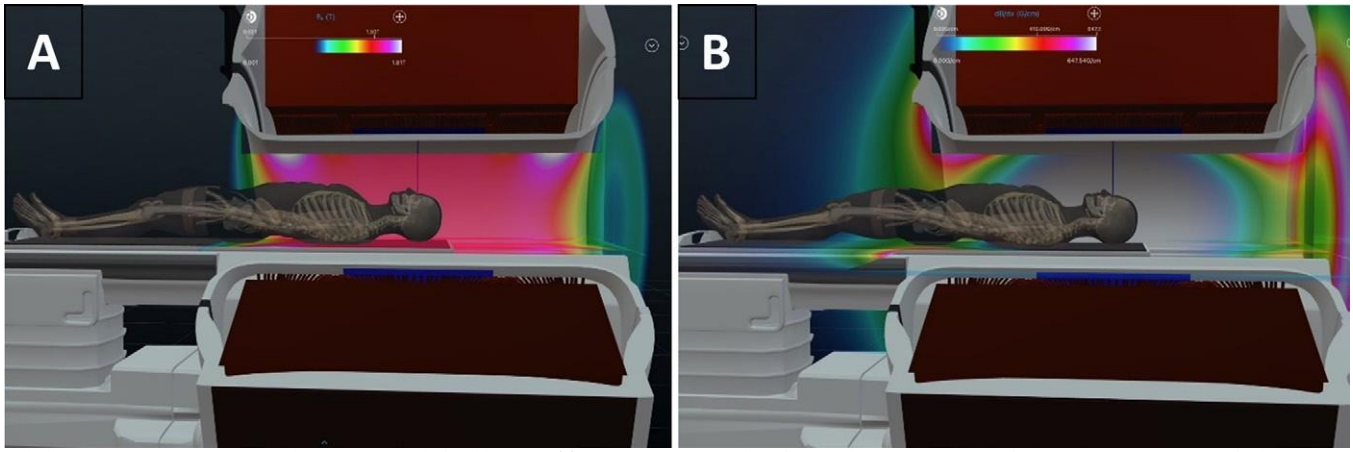
Not: Bunlar MR Tıbbi Direktörü tarafından belirlenen ihtiyaçlara, politikalara ve prosedürlere göre tesisler arasında değişiklik gösterebilir. Yerinde MR Personeli tarama öncesinde, sırasında ve sonrasında hastayı sürekli olarak izlemeli ve onunla iletişim kurmalıdır. B sütunundaki personel A sütunundakiyle aynı kişi olabilir. American College of Radiology 'nin MR Güvenliği Kılavuzu'ndan (6) izin alınarak uyarlanmıştır.

Tablo 3: Tam Durdurma ve Son Kontrol Sürecinde Doğrulama Unsurları

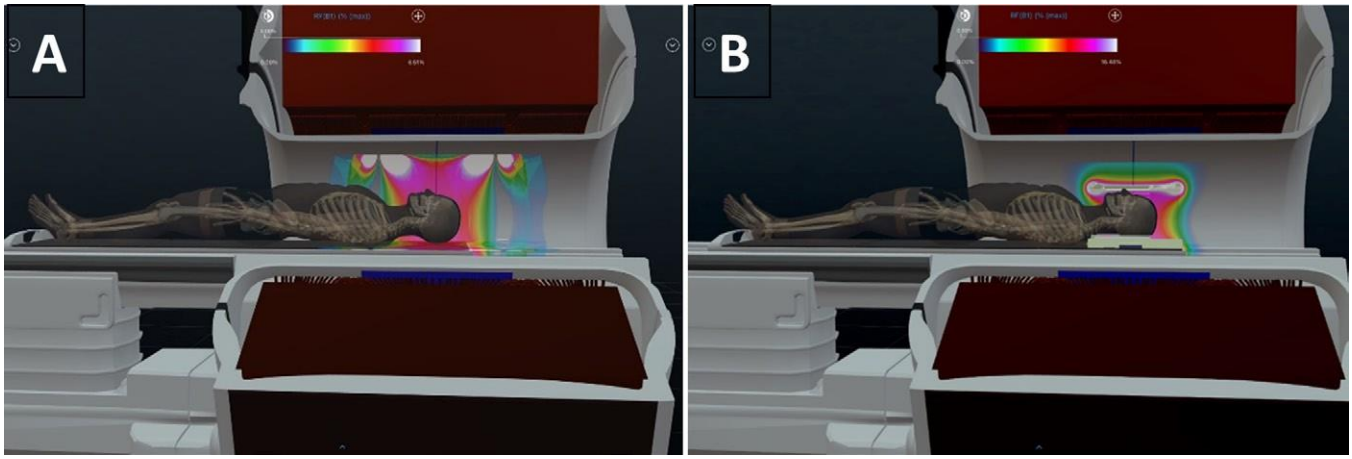
Element	Rutin	Artırılmış
Hasta tanımlama ve görsel muayene	✓	✓
Gerçekleştirilecek muayene, potansiyel kontrast madde kullanımını ve ilgili kontrast madde risk değerlendirmesinin tamamlanmasını içerir	✓	✓
Uygun şekilde gerçekleştirilen tarama	✓	✓
İmplante edilmiş veya on-planted edilmiş cihazların uygun şekilde hazırlanması,	✓	✓
Bölge III'te iken hastanın durumunda değişiklik olmaması	✓	✓
Bölge IV'e girecek tüm destek personeli için kapsamlı tarama		✓
Bilinci kapalı, yanıt vermeyen, bilinç düzeyi değişmiş hastaların artırılmış taramasının uygun şekilde tamamlanması		✓
Hastanın ve Bölge IV'e girecek taşıma veya destek ekipmanının, fırlatma riski (örn. çelik oksijen tüpleri), yanma riski (örn. bağlanmamış EKG elektrotları ve kablosu) veya diğer güvenlik sorunları oluşturabilecek gizli veya daha önce fark edilmemiş potansiyel tehlikeli öğelerin varlığı açısından dikkatli bir şekilde görsel olarak incelenmesi (Örneğin, hastane çarşaflarındaki RT etiketleri)		✓
Potansiyel gadolinyum bazlı kontrast madde enjeksiyonu için erişilecek uygun port veya hattı belirleme		✓
Hastanın MR sistem odasına girmesine izin vermeden önce Bölge IV'te bağlanması gereken ekipmanın uygun şekilde sabitlendiğinden emin olun		✓
Bölge III' te iken ekipman durumunda değişiklik olmadığından emin olun		✓

Not. -EKG= elektrokardiyogram, RT= radyofrekans tanımlama
American College of Radiology 'nin MR Güvenliği Kılavuzu'ndan (6) izin alınarak uyarlanmıştır.

Gradyanların hızlı bir şekilde değiştirilmesi, güçlü bir B_0 alanının varlığında Faraday yasası tarafından tanımlanan güçlü mekanik kuvvetlere yol açan güçlü anahtarlama elektrik akımlarının kullanılmasını gerektirir. Sonuç olarak, MR sistemleri, FDA tarafından önemli bir risk olarak kabul edilen ve işitme koruması gerektiren 99 A ağırlıklı desibeli aşan ses basınçları üretebilir (21). Sinir ve kas hücreleri, hızla değişen gradyan manyetik alan değişimiyle indüklenen akımlarla uyarılabilir.



Şekil 4: Yüksüz MRI tarayıcıları veya bobinleri için 1,5T MRI tarayıcısında **(A)** statik B0manyetik alanının ve **(B)** uzamsal alan gradyanının üç boyutlu gösterimi. Tarayıcının yakın tarafı, enerjilerin/alanların MRG tarayıcı deliği ve odası boyunca üç boyutlu olarak gösterilebilmesi için şeffaf hale getirilmiştir. Statik manyetik alan B0 ve uzaysal alan gradyanının gücü ve uzaysal dağılımı gösterilmektedir. MRI tarayıcısının merkezindeki homojen statik manyetik alanda, uzamsal alan gradyanının gücünün ve dolayısıyla ferromanyetik malzemeler ve nesneler üzerindeki potansiyel öteleme kuvvetlerinin minimum olduğuna dikkat edin. En büyük öteleme kuvvetleri, bu mıknatısın uzamsal alan gradyanı ile ölçeklenir ve bu da MRI tarayıcı deliğinin girişindeki (ve çıkışlarındaki) radyal uçların veya sınırların yakınında en üst düzeye çıkar. Görüntüler Emanuel Kanal, MD, Presbyterian Üniversitesi Hastanesi, Pittsburgh Üniversitesi Tıp Merkezi'nin izniyle MagnetVision (Advanced Magnetic Analytics) kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 5: Yüksüz MRI tarayıcıları veya bobinleri için 1,5T MRI tarayıcısında iletilen radyofrekans (RF) (B1) salınımlı manyetik alanların üç boyutlu tasviri. Tarayıcının yakın tarafı, enerjilerin/alanların MRI tarayıcı deliği boyunca üç boyutlu olarak gösterilebilmesi için şeffaf hale getirilmiştir. **(A)** RF verici donanımı olarak kullanılan tarayıcının vücut RF bobini ile iletilen RF (B1) salınımlı manyetik alanların uzamsal dağılımı gösterilmektedir. **(B)** RF verici donanımı olarak verici-alıcı kafa RF bobini kullanıldığında iletilen RF (B1) salınımlı manyetik alanların uzamsal dağılımı gösterilmektedir. Aynı tarayıcıda RF iletimi için bir gönderme-alma başlığı RF bobini kullanıldığında iletilen RF alanlarının nasıl daha küçük bir hacmi kapsadığına dikkat edin. Görüntüler Emanuel Kanal, MD, Presbyterian Üniversitesi Hastanesi, Pittsburgh Üniversitesi Tıp Merkezi'nin izniyle MagnetVision (Advanced Magnetic Analytics) kullanılarak oluşturulmuştur.

Ticari insan MRG sistemlerinde giderek artan yüksek performanslı gradyan sistemleri bağlamında, bu endişeler yakın zamanda farklı tarama modlarını tanımlayan IEC standardı 60601-2-33'te (15) ele alınmıştır. Klinik sistemler genellikle cihazların ve implantların indüklenmiş gerilimler, titreşim, potansiyel olarak kalıcı hasar veya daha fazla ısınma yaşayabileceği normal ve birinci seviye modlarla sınırlıdır. MR operatörleri, MR sistemi satıcısı tarafından sağlanan bilgileri kullanarak cihazlar için önerilen dB_0/dt sınırlarını anlayabilmeli ve uygulayabilmelidir.

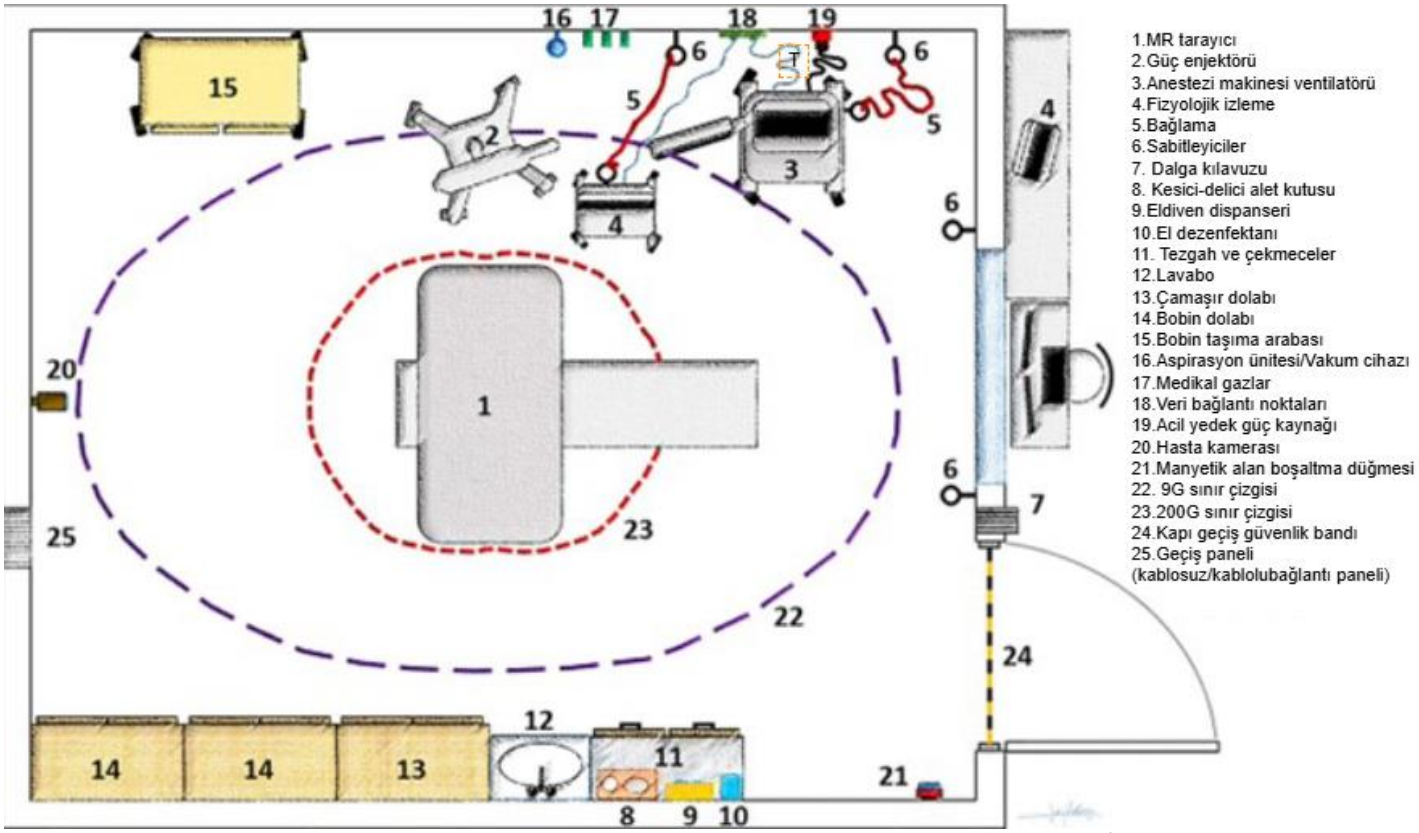
MR Ortamındaki Nesneler ve Tıbbi Cihazlar

Hastalar veya araştırma katılımcıları, RF iletimi aralığında olduklarında (örneğin, RF iletimi için yerleşik vücut bobini kullanıldığında tarayıcı deliği içinde) iç çamaşırları dahil tüm giysileri çıkarmalı ve yerinde sağlanan MR Güvenli cepsiz giysiler giymelidir.

MR Ortamıyla etkileşime girebilecek giysi ve nesnelerin sayısı artmaya devam etmekte ve genel olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır: *(a)* hastaya periferik ekipmanlar, nesneler ve diğer taşınabilir öğeler (örneğin, intravenöz kutuplar, anestezi makineleri, enjeksiyon pompaları); ve *(b)* hastanın içindeki tıbbi cihazlar (örneğin, kardiyovasküler implante edilebilir elektronik cihazlar, anevrizma klipsleri) ve vücudunun dışındaki, en azından kısmen yerleştirilmiş cihazlar (örneğin, insülin pompaları, sürekli glikoz monitörleri, işitme cihazları). ACR Kılavuzu, her iki kategori için de Amerikan Test Malzemeleri Derneği (yani ASTM International) (12) tarafından belirlenen standart *MRG* etiketleme terimlerini (*MR Güvenli*, *MR Koşullu*, *MR Güvensiz*) uygulamaya devam etmektedir.

Taşınabilir Metalik Nesneler ve Ekipmanlar

Bölge III ve/veya IV'te depolanması veya bulunması amaçlanan taşınabilir metalik veya kısmen metalik nesneler uygun şekilde MR güvensiz veya MR koşullu olarak etiketlenmelidir.



Şekil 6: Diyagram, yatan hasta tesisindeki bir MR sisteminin tipik yapılandırmasını göstermektedir. Bölge IV'ün tasarımı, anestezi gerektirenler gibi daha karmaşık MR incelemeleri sırasında optimum çalışma akışını göz önünde bulundurmalıdır. Anestezi ventilatörü ve fizyolojik hasta izleme ekipmanı için tipik olarak kapıdan uzakta özel bir alan ayrılması tavsiye edilir. Benzer şekilde, anestezi uzmanları, hemşireler, solunum teknisyenleri ve hastayı destekleyen diğer personel de görevlerini yerine getirmek için özel bir alana sahip olmalıdır. Tarayıcı kapısı ile hasta arasında açık bir yol olması, MR Teknoloğu ve hemşirelik personelinin hastaya kolay erişimini ve tıbbi bir acil durumda hastanın Bölge IV dışına hızlı bir şekilde taşınması için bir rota sağlar. Fioor üzerindeki 9-G çizgisine ek olarak, 200-G çizgisi önerilir, çünkü bu sınır genellikle Bölge IV'te sıklıkla kullanılan MR Koşullu ekipman için etiketlemede belirtilir. Güvenilir bağlama bu ekipmanın 200-G çizgisini geçmesini önler. Bu örnek bir yapılandırmadır ve herhangi bir tesisteki belirli cihazlar için uygun fizik testleri gerekebilir.

MR Güvenli Olmayan taşıma ekipmanı (örneğin tekerlekli sandalyeler, sedyeler) hasta bakımını kolaylaştırmak için geçici olarak Bölge III' e getirilirse, belirlenmiş MR Personeli tarafından doğrudan denetlenmeli, fiziksel olarak sabitlenmeli, bağlanmalı ve ekipmanın Bölge IV eşiğini geçmesini önlemek için Bölge III içinde her zaman izlenmelidir.

Cep telefonları özel bir zorluk teşkil etmektedir. Bölge III' te yaygın olarak bulunmalarına rağmen, Bölge IV'e getirildiklerinde mermi haline gelebilirler. Tesisler cep telefonu güvenliğini sağlamak için politikalar ve SİP' ler geliştirmelidir. Personel için cepsiz önlüklerin kullanılması ve güvenli Bölge III deposu bu ve diğer potansiyel tehlikeler (örn. anahtarlar, pansuman makası) konusunda yardımcı olabilir.

Hasta bakımı için hemen gerekli olmayan nesneler, odada bir hasta bulunuyorsa Bölge IV'e girmemelidir (yani, bu nesneleri hasta bulunmadan önce sokmaya çalışın). MR Koşullu ekipmanın girişi, koşulların açık bir şekilde belgelenmesi ve ilgili personel arasında iletişim ile birlikte üretici tavsiyelerine uygun olmalıdır. Özellikle, Bölge IV'e giren bazı MR Koşullu ve tüm MR Güvenli Olmayan ekipmanların bir duvara bağlanması gerekir. Bağlayıcıların kullanımı kritik öneme sahiptir, çünkü çadır içi ekipmanın MRG tarayıcısına mermi olacak kadar yaklaşmasını önlemek içindir. Bağlama ipi bir konum hatırlatıcısı olarak ele alınmalıdır; bağlama ipinin nesneleri yerinde tutmak ve fırlatılmaları önlemek için yeterince güçlü olacağı varsayılmamalıdır. Bu nedenle, Bölge IV'ün tasarımı sırasında bağların konumunun dikkate alınması önemlidir (Şekil 6, 7).

Tıbbi Cihazlara Sahip Hastalar ve Araştırma Katılımcıları

Tıbbi cihazlar (implante edilmiş ve on-planted) (*a*) aktif cihazlar (yani, pil gibi bir enerji kaynağı içeren veya endüktif olarak bağlanma yeteneğine sahip [22,23]) veya (*b*) pasif cihazlar (yani, içsel bir elektrik güç kaynağı içermeyen) olarak sınıflandırılabilir. Belirli cihaz kategorileri için bazı kurallar önerilmiş olsa da aktif ve pasif tıbbi cihazların artan sayısı ve karmaşıklığı (her biri doğası gereği farklıdır) evrensel kurallar geliştirmeyi neredeyse imkansız hale getirmektedir. MR Personeli, MRG' den önce üretici bilgilerini ve tarama koşullarını iyice gözden geçirmelidir. Metal içeren tüm pasif implantlar tanım gereği ya MR Koşullu ya da MR Güvensizdir. Bazı yaygın cihazlara ilişkin hususlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Acil Durumlar

MRG tesisleri, ekipmanlarına ve ortamlarına özgü acil durumları ele almak için politikalar ve SİP'ler geliştirmelidir. Bunlar arasında MR Personelinin farklı acil durum anahtarlarının işlevselliği ve MRG süitindeki konumu hakkında yeterli eğitimi yer almaktadır: *(a)* MRG taramasını ve masa hareketini derhal durdurmak için tasarlanmış acil durdurma; *(b)* varsa kesintisiz güç kaynağı da dahil olmak üzere tüm süitin ve bilgisayar odasının elektrik gücünü kesmek için kullanılan acil güç kapatma; ve *(c)* manyetik alanı hızlı bir şekilde kapatmak için kullanılan acil durum mıknatıs kapatma (söndürme). Politikalar ve SİP'ler ayrıca yangın acil durumlarına ve hızlı klinik kötüleşmeye (örn,

Bölge IV dışında hasta bakımı için belirlenmiş bir alan da dahil olmak üzere hastaların ve/veya araştırma katılımcılarının "kod" durumu).

Özel Hasta ve Personel Hususları

MR Ortamında belirli personel, hastalar veya araştırma katılımcıları için özel hususlar mevcuttur. Örnekler arasında hamile sağlık hizmeti sağlayıcıları, hastalar veya araştırma katılımcılarının yanı sıra klostrofobi veya anksiyete yaşayan veya sedasyon gerektiren bireyler, büyük vücut habitusuna sahip olanlar ve mahkumlar veya tutuklular yer almaktadır. Şu anda mevcut olan araştırmalar, 3T veya daha az dahil olmak üzere rutin klinik MRG uygulamasında kullanılan manyetik alanlara maruz kalmanın hamile kişi veya gelişmekte olan fetüs üzerinde herhangi bir zararlı etkisi olduğunu göstermemiştir. Hamilelik biliniyor veya şüpheleniliyorsa, ACR Kılavuzu, hastaya ve/veya fetüse muayene yapmanın fayda sağlayacağı ve hasta bakımı için aynı bilgileri elde etmenin başka pratik bir yolu olmadığı durumlarda, Normal Çalışma Modunda (tüm vücut ortalama SAR, 2 W/kg) 3T'ye kadar MRI kullanımını desteklemektedir (25).

Şekil 7: Fotoğraf Bölge IV'te bağlayıcıların kullanımını göstermektedir. Ekipmanı 200-G hattının dışında tutmak için Bölge IV'te bir MR Koşullu ventilatörün bağlanması örneği (üretici kılavuzları bu ekipmanın 300-G hattının dışında çalıştırılması gerektiğini belirtmektedir). Bu tesis 200-G hattı için fioor üzerindeki işaretleri kullanır (siyah oklar). Bağlama ipinin (beyaz ok) işlevinin statik manyetik alan tarafından çekildiğinde ekipmanın bir mermi haline gelmesini önlemek olmadığını unutmayın. Bunun yerine, bağlar ekipmanın bir mermi haline gelecek kadar yaklaşmasını önlemek için uygun uzunluğa sahip olmalıdır. Bağlayıcıların Bölge IV'teki konumu, Bölge IV'ün tasarımı sırasında, tesisin MRG süitinin işlevselliğine yönelik planı (örneğin, anestezi kullanımı) göz önünde bulundurularak dikkatle planlanmalıdır. Yan taraftaki MR Koşullu intravenöz direğe dikkat edin; bu tesisteki intravenöz direkler sarı renklidir ve MR koşullarıyla etiketlenmiştir (ok başı). Bu model 10 000 G'ye kadar kullanım için güvenlidir. Bu tesiste Bölge IV'teki yan kapı, hastaları bitişikteki anjiyografi süitine taşımak için kullanılır. Manuel J. Rojas Jr, BSRS, R.T.(R), (MR), MRSO, University of Texas Southwestern'in izniyle.

Amerikan Obstetrisyenler ve Jinekologlar Koleji'nin güncel kılavuzları, US ile birlikte MRG'yi "gebe hasta için tercih edilen görüntüleme teknikleri olarak kabul etmektedir, ancak bunlar ihtiyatlı bir şekilde ve yalnızca ilgili bir klinik soruyu yanıtlaması veya başka bir şekilde hastaya tıbbi fayda sağlaması beklendiğinde kullanılmalıdır" (26). MRG'de 3T'den daha yüksek alanlara maruz kalmanın riskleri bilinmemektedir. Benzer şekilde, ACR Kılavuzu, hamilelikle ilgili durumları araştırmak için 3T'ye kadar MRG sistemleri kullanan araştırma çalışmaları için hamile araştırma katılımcılarının (yani, araştırmaya katılmayı kabul eden) kaydedilmesini desteklemektedir. Ancak, gebelikle ilgili olmayan durumları araştırmak için MRG kullanan diğer araştırma çalışmaları için gebe hastaların kaydedilmesini önermez.

Alternatif MR Ortamları

Son yirmi yılda, geleneksel olmayan MRG süiti tasarımlarının ve alternatif MR Ortamlarının sayısının artması, birçok tesisin operasyonlarına karmaşıklık katmıştır. Birçoğu radyoloji departmanlarının dışında yer alırken (örn. radyasyon onkolojisinde MR simülatörleri, perioperatif MR, mobil MR sistemleri), radyoloji departmanlarındaki diğerleri ek uzmanlık gerektirmektedir (örn. girişimsel MR süitleri, PET/MRI). Ayrıca, geleneksel 1,5 ve 3T sistemlerin ötesinde klinik kullanım için FDA tarafından ultra yüksek alan güçlü (5T, 7T), düşük alan güçlü (0,55T) ve ultra düşük alan güçlü bakım noktası (<0,1T) MRG sistemleri dahil olmak üzere yeni sistemler onaylanmıştır.

Bu nedenle, kurumsal politikalar, hastanın, MR personelinin ve bu alternatif ortamlarda hastayla ilgilenebilecek diğer kişilerin güvenliğini sağlamak için sorumlu personelin tanımlanmasını içermelidir. Daha da önemlisi, bu tür politikaların MR güvenlik bölgelerinin belirlenmesinde farklı klinik senaryolarda meydana gelebilecek potansiyel dinamik değişiklikleri dikkate alması gerekir. Örneğin, bir ameliyathane ile entegre MRG ünitesinin bulunduğu ortamda, normalde Bölge II olarak belirlenen alanlar, özel bir giriş kapısından Bölge IV'e erişim gerektiğinde geçici olarak işlevsel ancak geleneksel olmayan bir Bölge III haline gelebilir (Şekil 8). Seviye 2 personeli bu alternatif senaryolarda Bölge IV'e hasta, personel ve ekipman erişimini dikkatle kontrol etmelidir.

Alternatif MR Ortamlarında çalışan personel en az Seviye 1 MR eğitimine sahip olmalı veya Seviye 2 MR Personeli tarafından taranmalı ve doğrudan denetlenmelidir. Ultra düşük alan güçlü MR sistemlerinin şu anda nispeten düşük riske sahip olduğu düşünülmektedir (27). Yeni ultra düşük alan güçlü MR sistemlerinin ortaya çıkışı ve değişkenliği göz önüne alındığında, tesisler bu cihazların depolanması ve kullanımı için SİP'ler geliştirmeli ve gerektiğinde Seviye 2 eğitimli MR Personelinin katılımını göz önünde bulundurmalıdır. Bu tür alternatif ortamlar için spesifik hususlar ACR Kılavuzunda tartışılmış ve Tablo 5'te özetlenmiştir.

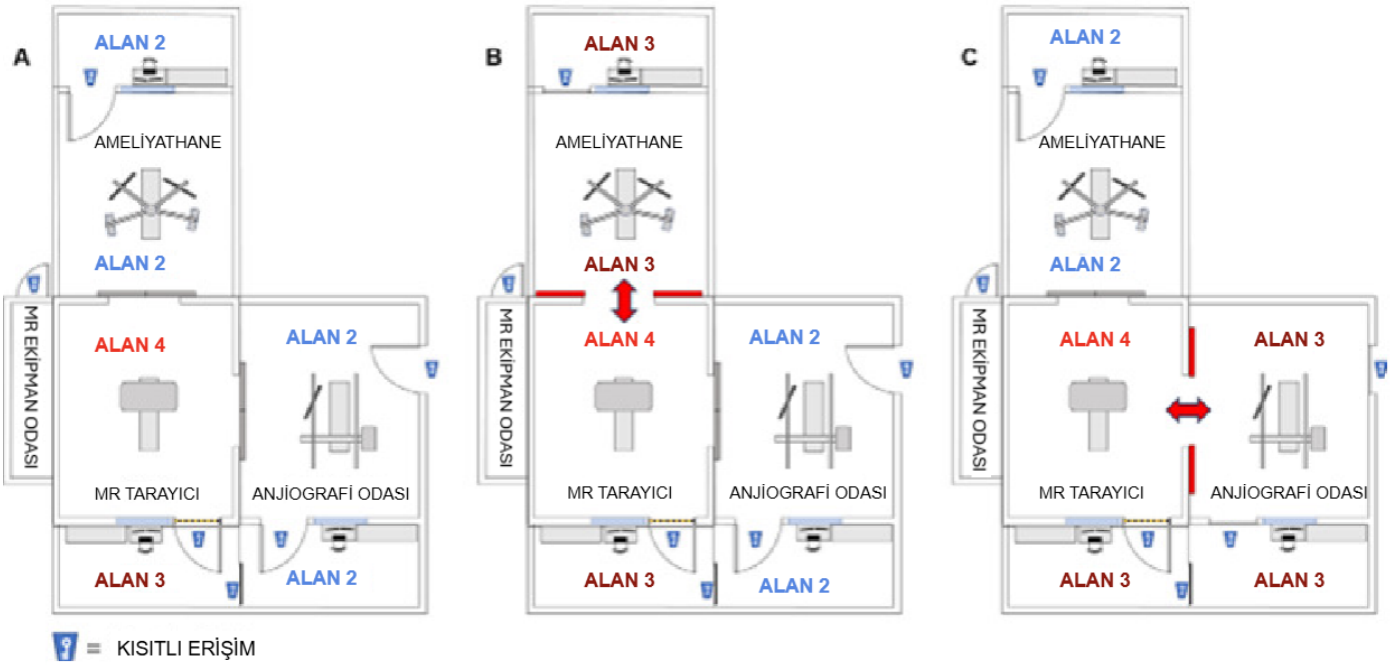
Sonuç

Bir MRI tesisinin beklenen işlevselliği için politikaların ve standart işletme prosedürlerinin (SİP'ler) dikkatli bir şekilde planlanması ve uygulanması, personel, hastalar ve araştırma katılımcılarının güvenliğini sağlamak açısından çok önemlidir.

Tablo 4: MRG Uygulanan Hastalarda Sık Görülen İmplante Edilen ve Yerleştirilen Cihazlar

Cihaz Tipi	Yorumlar
Aktif cihazlar	
KİEC	Kalp Ritmi Derneği'nin (8) aşağıdaki KİEC'ler için tavsiyelerine uyun MR Koşullu olarak etiketlenmiştir; KİEC'li hastaların MRG taramasıyla ilgili daha fazla bilgi Uluslararası Tıpta Manyetik Rezonans Derneği tarafından sağlanmıştır (24)
Epikardiyal pacing telleri veya uçları	
Geçici epikardiyal pacing telleri ve kalıntıları	Bugüne kadar tutulan geçici epikardiyal tel parçası ile ilişkili herhangi bir olumsuz sonuç bildirilmemiştir; kısmen çıkarılan cerrahi sonrası geçici epikardiyal teller terk edilmiş pacing uçları olarak kabul edilmez (8)
Kalıcı olarak implante edilmiş epikardiyal derivasyonlar veya KİEC'ler	Genellikle konjenital kalp defekti olan çocuklara veya bebeklere implante edilir; MRG'nin güvenliği hakkında yeterli veri yoktur
Tutulan veya terk edilen endovasküler ve intrakardiyak uçlar	MRI'ın güvenliği hakkında yetersiz veri
Nöromodülasyon sistemleri	Kapsamlı ve artan sayıda cihaz Hasta güvenliğini sağlamak için, AİTC' nin kesin markasının, modelinin, üreticisinin ve uçların ve IPJ'nin implantasyon yerinin doğru bir şekilde tanımlanmasına dikkat edilmesi zorunludur Belirli bir nörostimülasyon sistemleri sınıfındaki model numaralarındaki küçük farklılıklar veya implante edilme şekli veya yerindeki bir değişiklik, MR Koşullu bir cihazın MR Güvensiz hale gelmesi ve hasta için ciddi bir risk oluşturması da dahil olmak üzere tarama koşullarını önemli ölçüde değiştirebilir MR incelemesinden önce ve sonra cihazın programlanması sıklıkla gereklidir
İmplante edilebilir infüzyon	İlaç doz aşımına bağlı veya potansiyel olarak kesintili ilaç infüzyonundan kaynaklanabilecek hasta yaralanması veya ölümü potansiyeli; güvenli tarama için MR koşullarına uyulması çok önemlidir; MR taramasını takiben düzgün çalıştığından emin olmak için pompayı değerlendirin
İmplante edilebilir ve harici insülin pompaları	Giderek daha yaygın kullanılan bu cihazlar günümüzde MR için güvensiz olarak kabul edilmektedir; cihazın MR ortamına maruz kalması durumunda meydana gelebilecek bir arıza, hayatı tehdit eden hipo- hiperglisemiye yol açabilir
Pasif cihazlar	
İntrakraniyal anevrizma klipsleri	MR incelemesi, genellikle kullanılan anevrizma klibinin üreticisi, modeli ve tipi belirlenmeden gerçekleştirilmemelidir; daha fazla bilgi için ACR MR Güvenliği Kılavuzu'na (6) bakınız.

Not.-ACR= American College of Radiology, AİTC= aktif implante tıbbi cihaz, KİEC= kardiyak implante edilebilir elektronik cihaz, IPJ = implante edilebilir puls jeneratörü



Şekil 8: Alternatif MR Ortamlarında güvenlik bölgelerindeki dinamik değişiklikler. Diyagram, bitişik ameliyathane ve anjiyografi odalarından Bölge IV'e doğrudan erişimi olan bir MR süitinin temsili örneğini göstermektedir. (A) Bölge IV, MR süitinin içinde yer almaktadır. Ameliyathane ve anjiyografi odasının bağlantı kapıları kapalı kaldığında, Bölge III geleneksel bir MR süiti tasarımına benzer şekilde bitişik MR kontrol odasıyla sınırlıdır. Bu durumda ameliyathane ve anjiyografi odası (yani MR süitindeki Bölge IV ile doğrudan bağlantılı olmayan) Bölge II olarak tanımlanır. (B) Bir hastanın birinden diğerine geçişini kolaylaştırmak için ameliyathane ile MR süiti arasındaki kapılar açıldığında, ameliyathane fiilen Bölge III'ün bir parçası haline gelir ve bitişiğindeki kontrol alanı (varsa) Bölge III'ün ek bir uzantısı olur.(C) Anjiyografi odası ile MR süiti arasındaki kapılar bir hastanın birinden diğerine geçişini kolaylaştırmak için açıldığında, anjiyografi odası fiilen Bölge III'ün bir parçası haline gelir ve bitişiğindeki kontrol alanı Bölge III'ün ek bir uzantısı olur. MR Personeline erişimi kısıtlamak ve bu tür tesislerin kullanımı için tasarımlarına özgü standart işletim prosedürleri oluşturmak gerekir.

Tablo 5: Alternatif MR Ortamları için Özel Hususlar

Alternatif Çevre	Özel İhtiyaçlar
PET/MRI	MR güvenliği ve radyasyon düzenleme gereklilikleri genellikle iki tıbbi direktör (MR Tıbbi Direktörü ve nükleer tıp yetkili kullanıcısı) arasında paylaşılan sorumluluklara ihtiyaç duyar MR güvenlik prosedürleri Seviye 2 MR Personeli tarafından denetlenmeli ve PET personeli MR güvenlik eğitimi almalıdır Radyasyondan korunma ve radyoaktif maddelerin kullanımı eyalet ve federal politikalara uygun olmalıdır (bkz. ABD Nükleer Düzenleme Komisyonu 10 FYK bölüm 20 ve bölüm 35)
İntraoperatif veya girişimsel MR	Politikalar ve SİP'ler, MR güvenliğini denetlemekten hangi Seviye 2 MR Personelinin sorumlu olduğunu açıkça belirtmelidir Bölge IV'e her giriş (örneğin ameliyathane, anjiyografi süiti ve kontrol odasından) uygun kontrollü erişim ve etkin tarama Dinamik MR Ortamlarında MR Bölgesi etiketlemesinde geçici değişiklikler meydana gelebilir (örneğin, MR tarayıcısı ile bitişik alan arasında erişim açıldığında Bölge II işlevsel ancak geleneksel olmayan bir Bölge III haline gelir) MR Personeli, dinamik bir ortamda benzersiz güvenlik riskleri konusunda uygun şekilde eğitilmeli ve bu risklere karşı dikkatli olmalıdır. Cihazların test edilmesi, etiketlenmesi, uygun şekilde saklanması, emniyete alınması ve kullanım kılavuzlarına titizlikle uyulması kazalardan kaçınma
MRI simülatörü ve MR LH	Radyasyon Onkolojisi Bölümünde MR Personelinin eğitimi, Radyoloji Bölümünde MR Personelinin aldığı eğitimle paralel olmalı Tedavileri sırasında birden fazla MRI muayenesi geçiren hastalar, MR güvenliği ile ilgili olası değişiklikleri değerlendirmek için her MRI öncesinde taranmalıdır. Hibrit MR LH ünitelerinin IV. Bölgesinde radyasyon tedavisi için kullanılan ekipmanlar, MR Koşullu olarak etiketlenmelidir.
7T MR Ortamlar	Fırlatmaya bağlı kazaların veya implante edilen cihazlara bağlı komplikasyonların sonuçları önemli ölçüde artmıştır Yenidoğanlarda kontrendikedir (yani, ≤1 aylık bebekler) Statik manyetik alanla ilişkili geçici biyolojik etkiler alan gücüyle birlikte artma eğilimindedir (örneğin, 7 T'de daha sık bildirilen vertigo) Metalik implantlar, cihazlar ve yabancı cisimler için özel hususlar dikkate alınmalıdır (3 T'de MR Koşullu olan cihazlar için MR Koşullu durumu varsayılmamalıdır)
Bakım noktası ultra düşük alan güçlü MR sistemleri	Düşük füze etkili fırlama kazası riski (27) AİTC'ler ve diğer cihazların varlığında taramayla ilgili güvenliği değerlendirmek için gelişen veriler MR Personeli olmayanlar da dahil olmak üzere ilgili tüm personel uygun güvenlik prosedürlerini takip etmelidir MR sistemleri özel bir güvenli depolama alanında güvenli bir şekilde saklanmalı ve kullanılmadıkları zamanlarda korunmayan kişilerin istem dışı erişimini önleyerek hasta alanına taşınmalıdır
Mobil MR sistemleri	Sahaya özgü uygun MR Bölgeleri ve erişim kontrolü için ek değerlendirme gerektirebilir

Not: -AİTC= aktif implante tıbbi cihaz, FYK= Federal Yönetmelikler Kodu, LH= lineer hızlandırıcı, SİP= standart işletim prosedürü.

Hızla gelişen MR alanı, bu tür politika ve prosedürlerin düzenli olarak gözden geçirildiği ve güncellendiği dinamik bir süreç gerektirir. Daha da önemlisi, tesisin her zaman bu mevcut politikalar ve SİP'ler kapsamında çalışmasını sağlamak için MR Tıbbi Direktörü, MR Güvenlik Görevlisi ve MR Güvenlik Uzmanını içeren bir operasyonel yapı kurulmalıdır. Benzer şekilde, bir MR Güvenlik Komitesi advers olayları ve ramak kala olayları gözden geçirmeli, böylece bu tür politika ve prosedürler derhal güncellenebilmeli ve gelecekteki vakaları önlemek için sürekli eğitim verilmelidir. Güncellenen American College of Radiology'nin MR Güvenliği Kılavuzu, MR güvenliğinde çağdaş en iyi uygulamalar ve güncel kılavuzlar hakkında kapsamlı bir bilgi kaynağıdır. Çevrimiçi olarak erişilebilir olması, MR güvenliği alanında yeni bilgiler ortaya çıktıkça güncellemelerin zamanında yapılmasını sağlamaktadır.

Editör Yardımcısı: Kathryn Fowler

Yazar katkıları: Tüm çalışmanın bütünlüğünün garantörleri**, I.P., R.E.W.;** çalışma konseptleri / çalışma tasarımı veya veri toplama veya veri analizi / yorumlama, tüm yazarlar; önemli entelektüel içerik için makale taslağı hazırlama veya makale revizyonu, tüm yazarlar; gönderilen makalenin son halinin onayı, tüm yazarlar; aşağıdakileri sağlamayı kabul eder Çalışmayla ilgili her türlü sorunun uygun şekilde çözülmesi, tüm yazarlar; literatür araştırması**, I.P., D.A.A., J.R.D., M.N.H., A.M.M., S.B.R., J.M.R., R.J.S., D.L.H., R.E.W.**; klinik çalışmalar**, J.M.R., R.E.W.**; ve makale düzenleme, tüm yazarlar

Çıkar çatışması açıklamaları: I.P. Health Tech International'dan danışmanlık garantisi; Society for Advanced Body Imaging yönetim kurulu üyesi (ücretsiz). **D.A.A**. Amerikan Manyetik Rezonans Güvenliği Kurulu başkan yardımcısı(ücretsiz). **J.R.D.** Perspectum, Motilent, Philips Healthcare, GE HealthCare, Bracco ve Guerbet'ten hibe; Philips Healthcare ve GE HealthCare'den toplantılara katılma veya seyahat desteği. **M.N.H.** İlişkisi bulunmamaktadır. **A.M.M.** İlişkisi bulunmamaktadır. **S.B.R.** GE HealthCare, Bracco Diagnostics, Bayer Healthcare ve Pfizer'den kuruma araştırma desteği; Calimetrix, Reveal Pharmaceuti- cals, Cellectar Biosciences, Elucent Medical, Vista.ai ve RevOps'ta sahiplik payları; Bracco Diagnostics, Protara, Bayer Healthcare ve Marea Therapeutics'ten danışmanlık ücretleri. **J.M.R**. Amerikan Manyetik Rezonans Güvenliği Kurulu Üyesi. **R.J.S.** Amerikan Manyetik Rezonans Güvenliği Kurulu yönetim kurulu üyesi (ücretsiz). **J.A.W.** Amerikan Manyetik Rezonans Güvenliği Kurulu'nda liderlik veya güvene dayalı rol (ödenmemiş). **D.L.H.** İlişkisi bulunmamaktadır. **R.E.W**. American College of Radiology MR Güvenliği Komitesi geçmiş dönem başkanı.

Referanslar

1. Kanal E, Borgstede JP, Barkovich AJ, et al. American College of Radiology white paper on MR safety. AJR Am J Roentgenol 2002;178(6):1335–1347.
2. Kanal E, Borgstede JP, Barkovich AJ, et al. American College of Radiology white paper on MR safety: 2004 update and revisions. AJR Am J Roentgenol 2004;182(5):1111–1114.

3. Kanal E, Barkovich AJ, Bell C, et al. ACR guidance document for safe MR practices: 2007. AJR Am J Roentgenol 2007;188(6):1447–1474.
4. Expert Panel on MR Safety; Kanal E, Barkovich AJ, et al. ACR guidance document on MR safe practices: 2013. J Magn Reson Imaging 2013;37(3): 501–530.
5. ACR Committee on MR Safety; Greenberg TD, Hoff MN, et al. ACR guidance document on MR safe practices: updates and critical information 2019. J Magn Reson Imaging 2020;51(2):331–338.
6. ACR Manual on MR Safety: 2024. https://www.acr.org/Clinical-Resources/ Clinical-Tools-and-Reference/radiology-safety/mr-safety. Published June 10, 2024. Accessed June 10, 2024.
7. ACR Manual on Contrast Media: 2023. https://www.acr.org/-/media/ ACR/Files/Clinical-Resources/Contrast_Media.pdf. Published 2023. Accessed February 20, 2024.
8. Indik JH, Gimbel JR, Abe H, et al. 2017 HRS expert consensus statement on magnetic resonance imaging and radiation exposure in patients with cardiovascular implantable electronic devices. Heart Rhythm 2017;14(7):e97–e153.
9. Calamante F, Ittermann B, Kanal E; Inter-Society Working Group on MR Safety; Norris D. Recommended responsibilities for management of MR safety. J Magn Reson Imaging 2016;44(5):1067–1069.
10. Medicines and Healthcare products Regulatory Agency (MHRA). Safety Guidelines for Magnetic Resonance Imaging Equipment in Clinical Use. https://www.gov.uk/government/publications/safety-guidelines-for-magnetic-resonance-imaging-equipment-in-clinical-use#full-publication-updatehistory. Published November 7, 2014. Updated April 4, 2022. Accessed April 23, 2023.
11. U.S. Food and Drug Administration. Testing and Labeling Medical Devices for Safety in the Magnetic Resonance (MR) Environment: Guidance for Industry and Food and Drug Administration Staff. https://www.fda.gov/media/74201/ download. Published October 10, 2023. Accessed October 15, 2023.
12. American Society for Testing Materials (ASTM) International. F2503-23 Standard Practice for Marking Medical Devices and Other Items for Safety in the Magnetic Resonance Environment. https://www.astm.org/f2503-23e01.html. Updated October 24, 2023. Accessed October 25, 2023.
13. International Organization of Standardization (ISO). 14117:2019. Active implantable medical devices-Electromagnetic compatibility-EMC test protocols for implantable cardiac pacemakers, implantable cardioverter defibrillators and cardiac resynchronization devices. https://www.iso.org/standard/73915.html. Published September 2019. Accessed May 2024.
14. International Electrotechnical Commission (IEC). 60601-2-33:2002: Medical Electrical Equipment-Part 2-33: Particular Requirements for the Safety of Magnetic Resonance Equipment for Medical Diagnosis. 2nd ed. International Electrotechnical Commission, 2002.
15. International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 60601-2-33:2022: Medical Electrical Equipment - Part 2-33: Particular Requirements for the Safety of Magnetic Resonance Equipment for Medical Diagnosis. 4th ed. International Electrotechnical Commission, 2022.
16. Kanal E. Divided liability remote MR scanning. J Magn Reson Imaging 2024;59(1):337–339.
17. Quinsten AS, Apel M, Oliveira S. Remote MR scanning – a solution for shortage of skilled radiographers. J Med Imaging Radiat Sci 2023;54(3):410–414.
18. Shellock FG. Radiofrequency-energy induced heating during MRI: laboratory and clinical experiences. In: MRI Bioeffects, Safety and Patient Management. 2nd ed. Biomedical Research Publishing Group, 2022; 233–253.
19. Bottomley PA, Edelstein WA. Power deposition in whole-body NMR imaging. Med Phys 1981;8(4):510–512.
20. IEC 60601-2-33 Medical Electrical Equipment — Part 2-33: Particular Requirements for the Basic Safety and Essential Performance of Magnetic Resonance Equipment for Medical Diagnosis; IEC 60601-2-33:2010; International Electrotechnical Commission: Geneva, Switzerland, 2010.
21. U.S. Food and Drug Administration. Criteria for significant risk investigation of magnetic resonance diagnostic devices - guidance for industry and food and drug administration staff. https://www.fda.gov/regulatory-information/searchfda-guidance-documents/criteria-significant-risk-investigations-magneticresonance-diagnostic-devices-guidance-industry-and. Published June 20, 2014. Accessed April 8, 2023.
22. Watson RE Jr, Edmonson HAMR. MR safety: active implanted electronic devices. Magn Reson Imaging Clin N Am 2020;28(4):549–558.
23. International Organization of Standardization (ISO). 10974:2018. Assessment of the safety of magnetic resonance imaging for patients with an active implantable medical device. https://www.iso.org/standard/65055.html. Published 2018. Accessed April 8, 2023.
24. Vigen KK, Reeder SB, Hood MN, et al. Recommendations for imaging patients with cardiac implantable electronic devices (CIEDs). J Magn Reson Imaging 2021;53(5):1311–1317.
25. American College of Radiology. ACR-SPR Practice Parameter for the Safe and Optimal Performance of Fetal Magnetic Resonance Imaging (MRI). https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Practice-Parameters/MR-Fetal.pdf. Accessed April 19, 2024.
26. Committee opinion no. 723: guidelines for diagnostic imaging during pregnancy and lactation. Obstet Gynecol 2017;130(4):e210–e216. [Published correction appears in Obstet Gynecol 2018;132(3):786.]
27. Shellock FG, Rosen MS, Webb A, et al. Managing patients with unlabeled passive implants on MR systems operating below 1.5T. J Magn Reson Imaging 2024;59(5):1514–1522.