

Kardiyovasküler implant ve cihaz takılı hastalarda manyetik rezonans görüntüleme

Magnetic resonance imaging in patients with cardiovascular implants and devices

Dr. Bilal Boztosun,¹ Dr. Ömer Aydiner,² Dr. Ayhan Olcay³

¹Kartal Koşuyolu Yüksek İhtisas Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kardiyoloji Kliniği, İstanbul;

²Maltepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı, İstanbul; ³İstanbul Hospital Kardiyoloji Bölümü, İstanbul

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG) son yıllarda radyolojiye katılan en önemli ve gelişmiş görüntüleme yöntemidir. Bu görüntülemelerde kullanılan radyofrekans dalgaların biyomedikal implantlar ve yardımcı cihazlar ile etkileşimleri istenmeyen durumlara yol açabilir. Kardiyolojideki gelişmeler ve kalp hastalarına takılan implantların artmasıyla, bu implantların MRG uygunluğu ve güvenilirliği konusunda sorular ortaya çıkmaktadır. Bu derlemede kardiyovasküler implantı olan hastalarda MRG ile ilgili genel konular ve yapılan çalışmalar gözden geçirildi.

Anahtar sözcükler: Elektromanyetik alan/yan etki; manyetik rezonans görüntüleme/yan etki; protez ve implant/kontrendikasyon; güvenlik.

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG) son yıllarda radyolojiye katılan en önemli ve gelişmiş görüntüleme yöntemidir. Manyetik rezonans görüntüleme ile her planda görüntü alınabilmesi yanı sıra doku kontrastı sınırsız değişebilmekte, uzaysal çözünürlüğü ise 100 mikrona kadar inebilmektedir. Teknolojideki son gelişmelerle MR inceleme çok hızlanmış, dakika hatta saniyeler içinde bitirilebilir hale gelmiştir. Kardiyolojideki gelişmelerle birlikte kalp hastalarına takılan kardiyolojik implantların artması, kardiyologlar ile radyologları bir araya getirmektedir. Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de artan kardiyolojik girişimler sonucunda hastalara takılan çeşitli implantların yeni görüntüleme cihazlarına uyumu hastalara ve onları izleyen hekimlere önemli sorumluluklar getirmektedir. Manyetik rezonans görüntülemelerde radyofrekans dalgaları kullanılır. Güçlü bir manyetik alana uygulanan radyofrekans dalgaları ile hidrojen atomları iletişime girer ve bir süre sonra gö-

Magnetic resonance imaging (MRI) is the most important and developed tool among the new methods of radiologic imaging. Radiofrequency waves used in MRI may interact with biomedical implants and assist devices. With recent developments in cardiology and increasing number of radiologic devices implanted, MRI-related problems about safety and compatibility of these devices have emerged. The aim of this review was to discuss MRI-related issues and the studies conducted in patients with cardiovascular implants.

Key words: Electromagnetic fields/adverse effects; magnetic resonance imaging/adverse effects; prostheses and implants//contraindications; safety.

rüntülere dönüştürülecek sinyaller yayarlar. Bu dalgaların ve manyetik alanın, X-ışınının insan sağlığına zararlı olan genetik etkileri veya kimyasal bağlarda değişiklik oluşturma gibi yan etkileri bulunmaz. Ancak, biyomedikal implantlar ve yardımcı cihazlarla etkileşimleri istenmeyen durumlara yol açabilir. Manyetik alan ferromanyetik materyalleri hareket ettirebilir, elektronik ekipman ile etkileşime girerek onların çalışmasını bozabilir. Hatta radyofrekans dalgaları belli bir noktaya kadar ısınmaya neden olur. Tüm bu potansiyel tehditlerin MRG öncesinde bilinmesi ve kontrol altına alınması gerekmektedir.

Genel prensipler

Manyetik alanla etkileşimlerine bağlı olarak, materyaller manyetik, paramanyetik ve dimanyetik olarak üçe ayrılırlar. Manyetik materyallerden en iyi bilineni demirdir. Bu yüzden, sıklıkla manyetik materyaller, demir kısaltması olan "ferro" öntakısıyla kul-

Geliş tarihi: 28.01.2006 Kabul tarihi: 15.02.2006

Yazışma adresi: Dr. Bilal Boztosun, Kartal Koşuyolu Yüksek İhtisas Eğitim ve Araştırma Hastanesi Kardiyoloji Kliniği, 34718 Cevizli, İstanbul. Tel: 0216 - 459 40 41 Faks: 0216 - 459 63 21 e-posta: bboztosun@hotmail.com

lanılarak ferromanyetik olarak adlandırılır. Kobalt (Co), disporosyum (Dy), nikel (Ni) ve gadolinyum (Ga) güçlü manyetik elementlerdir. Birçok metal manyetik alan ile zayıfça etkilenir. Bu tür materyaller paramanyetik olarak tanımlanır. Bazı materyaller ve tüm metal olmayan materyaller manyetik alan ile neredeyse hiç etkileşime girmezler; bunlara dimanyetik denir. Tüm metaller içinde çelik özel bir yere sahiptir. Demirden üretilmesine karşın manyetik değildir. Üretimi sırasında içerisine konulan katkı maddeleriyle gücünün artması, paslanmaması ve manyetik alandan hiç etkilenmemesi sağlanmıştır. Bu yüzden biyolojik implantlarda genellikle çelik kullanılır.^[1] Cihazın manyetik gücü, hastanın oryantasyonu, anatomisi ve alet-manyetik alan ilişkisi MR incelemesinde güvenlik yönünden önemlidir. Manyetik alan içerisine konmuş ferromanyetik objeler defleksiyon, atraksiyon ve dönme güçlerine maruz kalırlar. Kazalardaki ilk potansiyel tehlike, ferromanyetik materyallerin manyetik alan içerisinde mıknatısa doğru çekilmesidir. Ataç, saç tokası gibi küçük metal cisimler 1.5 Tesla manyetik alanda saatte 40 mile varan hıza ulaşabilir, hasta ve odada bulunanlara zarar verebilir. Bir objenin çekilme gücü, objenin kütlesi ve mıknatısa olan uzaklığı ile orantılıdır. Makas, klemp ve hemostaz gibi cerrahi aletler paslanmaz çelikten yapılmış olsalar bile manyetik alanda hareket ederler. Oksijen tüpleri önemli bir potansiyel tehlike oluşturur. Bu tür aletler eğer MR odasında kullanılacaksa manyetik olmayan materyalden yapılmış olmalıdır. Manyetik rezonans odasında kardiyak arrest gelişen bir hastada resüsitasyonun ilk basamağında (MR ile uyumlu resüsitasyon ekipmanı yoksa) işe hastayı MR odasından çıkartarak başlanmalıdır.

Kazaya ikinci potansiyel etken, hareket etme olasılığı olan implante edilen aletlerdir. Bu durumda özellikle translasyonel çekim önem kazanır. Bunu belirleyen faktörler manyetik alanın kuvveti, objenin ferromanyetizm derecesi, kütlesi, yeri, fibroz doku, deri, dikiş veya kemik gibi objeyi yerinde tutan dokunun varlığıdır. Metalik obje ferromanyetik değilse veya düşük düzeyde ferromanyetik ise MRG güvenilir bir şekilde yapılabilir.

In situ olarak çekim gücünün, implantı hareket ettirme veya implantın tasarlanan fonksiyonunu etkilemede yetersiz kalacağı söylenebilir. Üretici firmalar ve aletin güvenilirliğini tescil eden firmalar bunu destekleyici bilgiler verirler. Güvenilir implanta örnek kalça protezlerdir. Sorunlu implanta örnek ise nörovasküler kliplerdir. Subaraknoid kanama sonrası ince nöral damarlara yerleştirilen klipleri kardiyak

MR yerinden oynatabilir. Bu hastalarda MRG gerektiğinde (genellikle olanaklıdır), klip üreticisi firmadan klip cinsi ve yapıldığı materyal hakkında ayrıntılı bilgi alınmalıdır.

İndüklenmiş elektrik akımları

İletken materyalleri bulunan cihazların takılı olduğu hastalarda, MRG bu materyallerin basınçlı manyetik alana ve radyofrekansa maruz kalmasına neden olur. Bu da indüklenmiş elektrik akımına bağlı olarak zarara yol açabilir. Bu iletken materyalleri içeren aletler *pace* telleri, kılavuz telleri, metalik komponent içeren termodilasyon kateterleridir.^[2] *Pace* telleri özellikle önemlidir. Çünkü bunların uzunluğu ve kronik kalıcılığı, yüksek çekim alanında radyofrekans dalga boyuna yaklaşmasını sağlayabilir. Bu da anlamlı bir şekilde eşlenmeye ve böylece ısınmaya yol açar. Metalik implantların boyutları, yeri, şekli gibi özellikler bu olayda önemlidir.^[3] Son olarak, manyetik alana maruz kalan elektronik implantların fonksiyonu engellenebilir veya değişikliğe uğrayabilir.

Kardiyovasküler aletlerin güvenilirliği

Hastanın MR çekimi öncesi değerlendirilmesi.

İstenmeyen bir duruma neden olmamak için, MR incelemesi öncesinde sistematik bir tarama yapılmalıdır. Bu tarama ideal olarak üç adımda tamamlanmalıdır. İlk adım olarak, hastaya randevu verilmesi sırasında ilgili sekreter veya radyolog ya da incelemeyi isteyen hekim başlıca güvenlik noktalarını vurgular. Bunlar anevrizma klipleri, kalp pili, elektronik aletler ve gebelik gibi noktalar. İkinci adımda hasta MRG ünitesine geldiğinde form doldurulur. Hasta komada ise veya iletişim kurulamıyorsa, hasta yakını, o da yoksa hasta hakkında bilgi sahibi hekim tarafından form tamamlanmalıdır. Bu form MRG'nin potansiyel tehlikeleri konusunda eğitilmiş teknisyen ve doktorlar tarafından incelenir. Üçüncü ve son adımda, incelemeyi yapacak olan teknisyen MRG odasına girmeden önce hastayı inceler, kısaca sorgular ve tarama işlemi tamamlanır. Unutulmamalıdır ki, daha önce bir MR incelemesinin güvenli olarak tamamlanmış olması, bundan sonrakilerin de güvenli olarak tamamlanacağı anlamına gelmemektedir.

Elektrokardiyografi (EKG) ledleri. Standart metalik EKG ledleri MRG sırasında ısınmayı artırabilir; bu yüzden kullanılmamalıdır. Yüksek impedanslı karbon alaşımli EKG tablet ve ledleri MRG için güvenilirdir ve artefakta yol açmaz.

Sternal ve epikardiyal pace telleri. Sternal tel bulunan hastaları görüntülemek güvenilirdir.^[4,5] Kardiyak cerrahi sonrası 1 veya 1.5 Tesla altında MRG ya-

pılan 200 hastayı kapsayan bir çalışmada, cerrahi sonrası kalıcı epikardiyal *pace* takılan hastalarda MR incelemesinin güvenilir bir şekilde yapılacağı gösterilmiştir. Yapılan MRG sırasında herhangi bir yan etki veya aritmiye rastlanmamıştır.^[6] Epikardiyal *pace* telleri sınırlı, küçük bir artefakta yol açabilir; bu durumun da görüntü analizine engel olması çok nadirdir.

Protez kapaklar ve annuloplasti halkaları. Bütün protez kapak ve annuloplasti halkaları 1.5 Tesla'da MRG'ye uyumludur. Bugüne kadar yapılanlar da 3 Tesla'da MRG'ye uyumlu bulunmuştur.^[7]

Isınma ve artmış olan akım bu implantlar için bir sorun yaratmamaktadır.^[8] Protez kapak ve annuloplasti halkaları üzerine etkiyen çekim gücü, atan kalp üzerine uygulanana kıyasla düşüktür. Son zamanlarda, metalik kapaklarda elektromanyetik etkileşim olabileceğini teorik olarak belirten yayınlar vardır. Temel olarak, ferromanyetik olmayan herhangi bir metal, manyetik alanda hareket ederken orijinal manyetik alana karşı bir manyetik alan geliştirir. Bu olaya Lenz etkisi denir. Gelişen bu dirençli basınç, mekanik kapağın açılıp kapanmasına engel olabilir. Lenz etkisi statik manyetik alanın gücüne bağlıdır. Buna göre, 1.5 Tesla'dan büyük MRG sistemlerinde, metal kapakçık içeren protez kapaklarda sorun oluşabilir. Ancak, bu sorunun görüldüğü herhangi bir olgu bildirilmemiştir.

Koroner stentler. Kardiyolog olarak en sık karşılaştığımız soruların başında stent takılan hastalara MR çekilmesi gelmektedir. Koroner MRG, teorik olarak koroner stentlerde ısınmaya ve yer değiştirmeye yol açar. Bazı çalışmalar ısınma etkisinin çok az önemi olduğunu ve klinik olarak etkisinin olmadığını ortaya koymuştur.^[9] Stentlerde pozisyon değişikliği, teorik olarak metalik koroner stentleri trombositlerle karşı karşıya getirir ve tromboza yatkınlığı artırır. Bunun sonucunda miyokard infarktüsü ve kardiyak olaylar gelişebilir. Hayvan çalışmalarında, yeni stentlerde ferromanyetisitenin ve stent yer değiştirmelerinin çok az veya hiç olmadığı gösterilmiştir.^[10] Koroner stent işlemi sonrasında erken dönemde MRG yapılan hastalarda 30 gün içinde gelişen yan etkileri araştıran bir çalışmada, MRG'nin güvenilir olduğu, stent trombozuna bağlı miyokard infarktüsü ve kardiyak ölümün çok nadir olduğu gösterilmiştir.^[9] Bu çalışma, stent işleminden sonra MRG'yi ertelemek gerekmediğini göstermiştir. Stent işlemi sonrası üçüncü günde MRG yapılan hastalarda, yedi aylık takip sonucunda kontrol grubuna göre yan etki sıklığında herhangi bir artış izlenmemiştir.^[11] Bu klinik

çalışmalar koroner stentlerde yer değişimi olmadığını gösteren hayvan çalışmalarını desteklemektedir.

Kobalt ve başka metalleri içeren, karışıklı yeni metalleri kapsayan stentlerin MRG'ye uygunluğu için araştırmalar gerekmektedir. Paslanmaz çelik ve nikel titanyum alaşım kaplı stentlerin MRG'ye uygunluğunun karşılaştırıldığı bir çalışmada, paslanmaz çeliğin lümen görüntülenmesinde anlamlı sinyal kaybına yol açtığı; buna karşın, nikel titanyum kaplı stentin sadece küçük artefaktlara neden olduğu, lümen görüntülenmesinde soruna yol açmadığı görülmüştür.^[12] Doğru bir şekilde yerleştirilen stentlerin ısınma ve yer değiştirme olasılıkları düşüktür ve stent takıldıktan sonra MRG yapılabilir. Ancak, yaygın görüş MRG işleminin stent işleminden 6-8 hafta sonra yapılmasıdır. Klinisyenler, koroner stentli hastalarda MRG'nin endotelizasyondan sonra güvenli olacağını düşünmektedir.^[13] Çünkü, endotelizasyon stentlerin yerinden oynamasını belirgin şekilde engeller. Bu yaygın görüşe ait herhangi bir yayımlanmış veri bulunmamasına karşın, erken MRG uygulandığında oluşacak ciddi yan etkilere dair veri de yoktur.

Yaygın olan genel görüş, MRG'nin stent takılmasından sonra herhangi bir zamanda yapılabileceğidir. Eldeki bütün veriler bunu desteklemektedir. Manyetik rezonans koroner stent yerleşim yerinde küçük bir artefakt olabilir de, bu stent yerleşimini göstermede faydalı olabilir. Daha önce stent taktığımız altı hastanın farklı zamanlarda MR çekildikten sonraki kontrol anjiyografilerinde stentlerinde sorun olmadığını gördük. Takiplerde de başka bir komplikasyon olmadı. Ayrıca, günümüzde yaygın olarak kullanılan ilaç kaplı stentlerle yapılan iki yeni çalışmada da, çıplak stentlere benzer şekilde, geç endotelize olan ilaç kaplı stentlerde de MRG'nin erken dönemde (1-3 gün içerisinde) güvenle yapılabildiği gösterilmiştir.^[14,15]

Diğer vasküler stentler, koil ve filtreler. Nonkoroner vasküler stentler (aortta kullanılanlar gibi), koil ve filtreler eğer nonferromanyetik materyal içeriyorsa herhangi bir zamanda MRG yapılabilir. Titanyum, titanyum alaşım, Phinox, Elgiby, MP35N 316 paslanmaz çelik veya nitinolden yapılan nonferromanyetik metaller 1.5 Tesla altında yapılan MRG prosedürlerinde güvenilirdir ve takıldıktan sonra hemen MRG yapılabilir.^[16] Zayıf ferromanyetik materyalden yapılan paslanmaz çelik tiplerinin bazılarında, doku büyümesi ve materyalin pozisyonda kalması için gereken mekanizmaların oluşmasını beklemek amacıyla 6-8 haftalık bir aralık tavsiye edilir. Bazı üretici firmalar bu materyallerin ferromanyetik olup olmadığını ürünlerinde belirtmezler. Bu da MRG'nin erken

veya 6-8 haftalık bekleme sonrasında yapılabilirliği konusunda güven sorunu yaratır.

Manyetik çekim gücü olan koil ve filtrelerdeki görüntüleme işlemini 6-8 hafta ertelemek ihtiyatlı görünse de, bunu destekleyecek herhangi bir kanıt yoktur. Ayrıca, bir çalışmada erken MRG işlemi sonrası yan etki görülmediği bildirilmiştir.^[17]

Oklüzyon aletleri. Metalik oklüzyon cihazları şantların kapatılmasında kullanılır. Doğru bir ölçüme sahip aletler yerleştirildiğinde, alet şekline ve doku büyümesine bağlı oluşan önleyici kuvvet, manyetik alanın oluşturduğu kuvveti yener. Ferromanyetik olmayan alaşımdan yapılan aletlerin (örneğin MP35N) yerleştirilmesinden sonra hemen çekim yapılabilir. Zayıf ferromanyetik çelikten yapılan aletlerin takılı olduğu hastalarda MRG altı haftalık bir gecikmeyle yapılabilir.^[18]

Kardiyovasküler kateterler. Herhangi bir metalik parça içeren iç veya dış iletken telli kateterler MRG için kontrendikedir. Poliüretan ve polivinil klorid içeren kateterler ise güvenilirdir. İletken tel içeren termofilasyon pulmoner kateterler aşırı ısınmaya bağlı olarak hasar oluşturabilir ve kateterlerin fonksiyonu bozulabilir.^[19]

Kılavuz teller. Geleneksel kılavuz teller paslanmaz çelikten veya nitinolden yapılmıştır. Bu tellerde radyofrekans ile aşırı ısınma ve buna bağlı olarak zarar oluşabilir. Girişimsel MRG için, ısınmayı sınırlayan radyofrekans bağlantısız kılavuz teller geliştirilmiştir.^[20]

İntra-aortik balon pompası ve sol ventrikül yarıdımıcı aletleri. Literatürde çok az bilgi bulunmasına karşın, bu aletler, yüksek metalik içerikleri ve ilişkili ekipmanlar nedeniyle MRG çekimine uygun değildir. Doku hasarı riski vardır; mekanik fonksiyon bozukluğu ve ısı sorunları oluşur.

Kalıcı kalp pilleri. Pacemaker takılı hastalarda kardiyak MRG yapılması için genel kurallar açık değildir ve günümüzde halen araştırma aşamasındadır. 2004 yılında sunulan bir bildiriye göre kalp pilleri kardiyak MRG için göreceli kontrendikedir.^[1] Bu açıklama, MRG'nin kesin kontrendike olduğu yargısında yumuşamaya yol açarak çoğu klinisyeni MRG'nin uygunluğu konusunda düşünmeye itmiştir.

Pacemaker takılı hastalarda MRG'nin kontrendike olmasının bilinen en az beş nedeni vardır. Birincisi, manyetik alan pacemaker kutusunun yerinden oynamasına neden olabilir. Ancak, bu durum bir soruna yol açmaz; çünkü, deneyimler koruyucu poşun pacemakerı aynı pozisyonda tutacak kadar güçlü olduğu

nu göstermiştir. Yine de, gerektiğinde buna ek olarak yüzeysel kayışlar da kullanılabilir.

İkincisi, radyofrekansa bağlı olarak *pace* ledlerinin ısınması miyokarda ve damarlara zarar verebilir. Deneysel çalışmalarda 60 dereceden fazla led ısınması kaydedilmiştir.^[21] Isınmaya bağlı bu etkiler, 0.5 Tesla sisteminin ve düşük absorpsiyon hızında MRG sekanslarının kullanımıyla azaltılabilir. Buna karşın, ledlerin vücuttaki pozisyonu gibi birçok faktör ısınmanın derecesini etkileyebilir.

Üçüncü olarak, radyofrekans ve basınçlı manyetik alanlar, *pacemakerın* elektronik dolaşım akımıyla ilişki kurabilir ve akımda *pacemaker* tarafından elektriksel aktivite olarak algılanabilecek bir artışa neden olabilir. Bu da *pacemakerın* çalışmasını engelleyebilir veya hızlı *pace* etmesine yol açabilir.

Dördüncü olarak, MRG'nin eski tip *pacemakerlarda* kalıcı veya geçici değişikliklere yol açtığı bildirilmiştir.^[22]

Son olarak, *pacemaker* takılı hastalarda MRG'nin kontrendike olduğuna dair en önemli veri mortalitedir.^[23] Bunun *pace* inhibisyonu, manyetik akışın fonksiyonunun bozulması ve *pacemakerın* hızlı çalışmasına bağlı olarak ortaya çıkan devamlı kalp atımının kardiyak debiyi devam ettirememesine bağlı olduğu düşünülmüştür.^[24] Bununla birlikte, anılan mortalitede MRG ile incelenen organ kalp değildir. Apaçık belirtilmese de, MRG sırasında EKG monitörizasyonu yapılmamıştır ve MRG ile ilgili riski azaltan hiçbir ölçüm yapılmamıştır. Günümüzde kardiyak MRG kesintisiz EKG monitörizasyonu eşliğinde yapılmalı ve oluşabilecek aritmileri kolayca görebilmeye imkan sağlanmalıdır. Ayrıca, MRG çekim odalarında kan basıncı ve oksijen saturasyonu monitörizasyonu vardır. Yukarıda bahsedilen sorunlara ve mortaliteye karşın, kardiyak MRG'nin 0.35-1.5 Tesla değerlerindeki manyetik güç aralığında güvenle yapılabilceği bildirilmiştir.^[25-28]

Elli dört hastayı kapsayan bir çalışmada, *pacemaker* takılı hastalarda güvenli bir şekilde 1.5 Tesla'da MRG çekileceği bildirilmiş; eşik değerindeki değişmelerin kalp odacıklarına, anatomik yerleşime, ledlerin yerleştiği tarihe bağlı olmadığı gösterilmiştir.^[29]

Monitörizasyon eşliğinde yapılan MRG işleminde, *pacemaker* fonksiyonunun bozulmasına bağlı ortaya çıkacak kardiyak kollapse görmemek mümkün değildir. İkinci olarak, *pace* bağımlı olmayan *pacemakerlı* hastalarda yapılan bir çalışmada, görüntüleme sırasında *pace* kapatılıp, ledler bipolar moda getirilmiş, düşük manyetik alan ve düşük radyofrekansa

ölüm ve önemli komplikasyonlar gözlenmemiştir.^[27,28] Eğer MRG dışı görüntüleme teknikleri tanı açısından yeterli değilse, kar-zarar oranı dikkatli bir şekilde hesaplandıktan sonra MRG işlemi deneyimli merkezlerde ve prosedür sırasında sürekli monitörizasyon eşliğinde yapılmalıdır.

Takılabilir intrakardiyak defibrilatörler. *Pace-makerlerle* benzer riskleri taşımalarına karşın, intrakardiyak defibrilatörlerin (ICD) translasyonel çekim güçleri belirgin derecede daha fazladır.^[30] Kardiyak MRG'nin güvenli bir şekilde yapılabilirliği konusunda sadece bir adet yayın vardır.^[27] Konu hakkında yeterli veri olmadığından, daha çok bilgi edinene kadar, kardiyak MRG kontrendike olarak kabul edilmelidir.

Stabil olmayan kalp hastalarında MRG. Kesin tanının tedavide ve klinik sonuçta en çok işe yarayacağı akut hastalar MR çekilen grubu oluşturur. Uygun önlemlerle bu hastalar hızlı ve güvenilir bir biçimde görüntülenebilirler. Çekim odasında sadece pipet oksijen kullanılmalıdır. Hiçbir koşulda oksijen silindirleri (ferromanyetik olduklarından dolayı) görüntüleme odasına alınmamalıdır. İntravenöz pompa makineleri kontrol odasında kalmalı ve hastalara uzun bir hatla ulaşan kılavuz aracılığıyla bağlanmalıdır. Ayrıca, bütün anestezi ve acil ekipman malzemelerini taşıyan araçlar MRG için uygun olmalıdır.^[31]

3 Tesla MR görüntüleme. Radyofrekans ısınma ve manyetik alan sorunu etkileşim kuvvetiyle ilişkilidir ve 3 Tesla MRG'de daha sorunlu olma olasılığı yüksektir.^[32] 1.5 Tesla altında zayıf ferromanyetik özellik gösteren implantlar, 3 Tesla'da yüksek manyetik alan etkileşimi gösterirler. Bugünkü güvenlik ölçütlerinin çoğu yüksek alan kuvvetlerinde uygulanamaz; bu nedenle, daha keskin güvenlik ölçütlerine gereksinim vardır. Protez kapak gibi bazı aletler 3 Tesla'da güvenilir görünmektedir; ancak, bazı aletler için uzun ve kısa çaplı taramalarda araştırmalar halen devam etmektedir, bu nedenle, çekim yapılan hastalarda dikkatli olunmalıdır. Öte yandan, hastalarda MRG için 1.5 Tesla değil de 3 Tesla'lık tarayıcıların kullanımını gerektirecek hiçbir klinik endikasyon yoktur.

KAYNAKLAR

1. Prasad SK, Pennell DJ. Safety of cardiovascular magnetic resonance in patients with cardiovascular implants and devices. *Heart* 2004;90:1241-4.
2. Ahmed S, Shellock FG. Magnetic resonance imaging safety: implications for cardiovascular patients. *J Cardiovasc Magn Reson* 2001;3:171-82.
3. Ho HS. Safety of metallic implants in magnetic resonance imaging. *J Magn Reson Imaging* 2001;14:472-7.
4. Manner I, Alanen A, Komu M, Savunen T, Kantonen I, Ekfors T. MR imaging in the presence of small circular metallic implants. Assessment of thermal injuries. *Acta Radiol* 1996;37:551-4.
5. Shellock FG. Reference manual for magnetic resonance safety: 2002 edition. Salt Lake City, Utah: Amirsys, Inc.; W. B. Saunders; 2002.
6. Hartnell GG, Spence L, Hughes LA, Cohen MC, Saouaf R, Buff B. Safety of MR imaging in patients who have retained metallic materials after cardiac surgery. *AJR Am J Roentgenol* 1997;168:1157-9.
7. Shellock FG. Magnetic resonance safety update 2002: implants and devices. *J Magn Reson Imaging* 2002; 16:485-96.
8. Shellock FG. Prosthetic heart valves and annuloplasty rings: assessment of magnetic field interactions, heating, and artifacts at 1.5 Tesla. *J Cardiovasc Magn Reson* 2001;3:317-24.
9. Hug J, Nagel E, Bornstedt A, Schnackenburg B, Oswald H, Fleck E. Coronary arterial stents: safety and artifacts during MR imaging. *Radiology* 2000;216:781-7.
10. Strohm O, Kivelitz D, Gross W, Schulz-Menger J, Liu X, Hamm B, et al. Safety of implantable coronary stents during 1H-magnetic resonance imaging at 1.0 and 1.5 T. *J Cardiovasc Magn Reson* 1999;1:239-45.
11. Gerber TC, Fasseas P, Lennon RJ, Valeti VU, Wood CP, Breen JF, et al. Clinical safety of magnetic resonance imaging early after coronary artery stent placement. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:1295-8.
12. Holton A, Walsh E, Anayiotos A, Pohost G, Venugopalan R. Comparative MRI compatibility of 316 L stainless steel alloy and nickel-titanium alloy stents. *J Cardiovasc Magn Reson* 2002;4:423-30.
13. Roubin GS, Robinson KA, King SB 3rd, Gianturco C, Black AJ, Brown JE, et al. Early and late results of intracoronary arterial stenting after coronary angioplasty in dogs. *Circulation* 1987;76:891-7.
14. Shellock FG, Forder JR. Drug eluting coronary stent: in vitro evaluation of magnet resonance safety at 3 Tesla. *J Cardiovasc Magn Reson* 2005;7:415-9.
15. Porto I, Selvanayagam J, Ashar V, Neubauer S, Banning AP. Safety of magnetic resonance imaging one to three days after bare metal and drug-eluting stent implantation. *Am J Cardiol* 2005;96:366-8.
16. Engellau L, Olsrud J, Brockstedt S, Albrechtsson U, Norgren L, Stahlberg F, et al. MR evaluation ex vivo and in vivo of a covered stent-graft for abdominal aortic aneurysms: ferromagnetism, heating, artifacts, and velocity mapping. *J Magn Reson Imaging* 2000; 12:112-21.
17. Stables RH, Mohiaddin R, Panting J, Pennell DJ, Pepper J, Sigwart U. Images in cardiovascular medicine. Exclusion of an aneurysmal segment of the thoracic aorta with covered stents. *Circulation* 2000;101:1888-9.
18. Shellock FG. Reference manual for magnetic resonance safety: 2003 edition. Salt Lake City, Utah: Amirsys, Inc.; W. B. Saunders; 2003.

19. Kanal E, Borgstede JP, Barkovich AJ, Bell C, Bradley WG, Felmlee JP, et al. American College of Radiology White Paper on MR Safety. *AJR Am J Roentgenol* 2002;178:1335-47.
20. Razavi R, Hill DL, Keevil SF, Miquel ME, Muthurangu V, Hegde S, et al. Cardiac catheterisation guided by MRI in children and adults with congenital heart disease. *Lancet* 2003;362:1877-82.
21. Hayes DL, Holmes DR Jr, Gray JE. Effect of 1.5 tesla nuclear magnetic resonance imaging scanner on implanted permanent pacemakers. *J Am Coll Cardiol* 1987;10:782-6.
22. Bhachu DS, Kanal E. Implantable pulse generators (pacemakers) and electrodes: safety in the magnetic resonance imaging scanner environment. *J Magn Reson Imaging* 2000;12:201-4.
23. Avery JK. Loss prevention case of the month. Not my responsibility! *J Tenn Med Assoc* 1988;81:523.
24. Luechinger R, Duru F, Zeijlemaker VA, Scheidegger MB, Boesiger P, Candinas R. Pacemaker reed switch behavior in 0.5, 1.5, and 3.0 Tesla magnetic resonance imaging units: are reed switches always closed in strong magnetic fields? *Pacing Clin Electrophysiol* 2002;25:1419-23.
25. Alagona P Jr, Toole JC, Maniscalco BS, Glover MU, Abernathy GT, Prida XE. Nuclear magnetic resonance imaging in a patient with a DDD Pacemaker. *Pacing Clin Electrophysiol* 1989;12(4 Pt 1):619.
26. Sommer T, Vahlhaus C, Lauck G, von Smekal A, Reinke M, Hofer U, et al. MR imaging and cardiac pacemakers: in-vitro evaluation and in-vivo studies in 51 patients at 0.5 T. *Radiology* 2000;215:869-79.
27. Gimbel JR, Trohman RL, Lindsay WC, Clair WK. Strategies for the safe performance of magnetic resonance imaging in selected ICD patients. *PACE* 2002; 25:618.
28. Pennell DJ. Cardiac magnetic resonance with a pacemaker in situ: can it be done? *J Cardiovasc Mag Res* 1999;1:72. [Abstract]
29. Martin ET, Coman JA, Shellock FG, Pulling CC, Fair R, Jenkins K. Magnetic resonance imaging and cardiac pacemaker safety at 1.5-Tesla. *J Am Coll Cardiol* 2004; 43:1315-24.
30. Shellock FG, Tkach JA, Ruggieri PM, Masaryk TJ. Cardiac pacemakers, ICDs, and loop recorder: evaluation of translational attraction using conventional ("long-bore") and "short-bore" 1.5- and 3.0-Tesla MR systems. *J Cardiovasc Magn Reson* 2003;5:387-97.
31. Laurence AS. Magnetic resonance compatible equipment: apply common sense. *Anaesthesia* 2003;58:615.
32. Takahashi M, Uematsu H, Hatabu H. MR imaging at high magnetic fields. *Eur J Radiol* 2003;46:45-52.