



# Manyetik Görüntüleme

Okan ŞİMŞEK

# Manyetik Görüntüleme

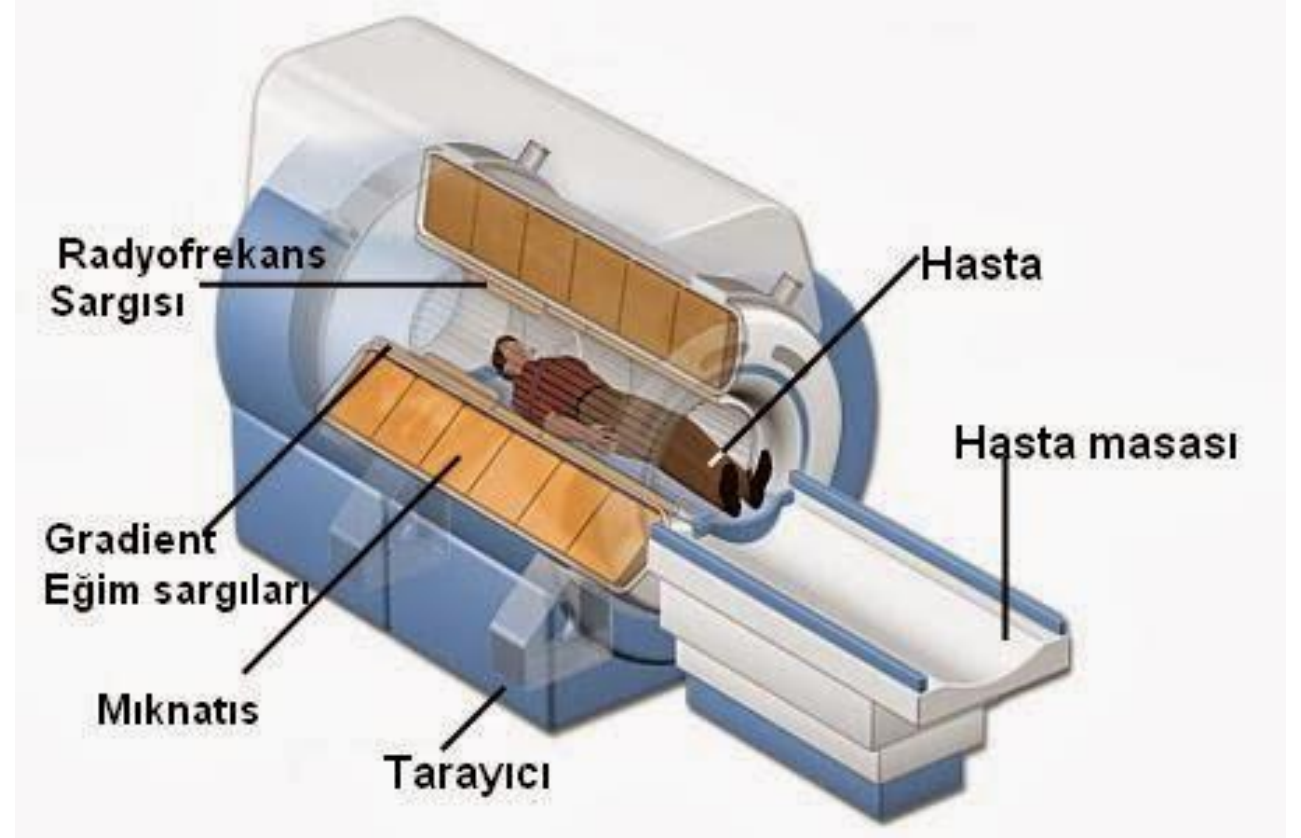
- ❖ Vücudumuz primer olarak yağ ve sudan oluşmakta ve bu oluşumların moleküler yapısında ağırlıklı olarak hidrojen atomları yer almaktadır.



- ❖ Manyetik rezonans görüntülemenin (MRG); su ve yağın, dolayısı ile de vücudumuzun büyük bir bölümünün yapısında mevcut bulunan (%63) hidrojen atomlarının, güçlü bir manyetik alan içerisinde, kendilerini rezonansa uğratacak bir radyofrekans (RF) dalgası ile uyarılıp titreştirilmesinden elde edilen sinyallerin görüntüye dönüştürüldüğü, doku kontrast rezolüsyonu en yüksek ileri radyolojik görüntüleme tekniğidir.

# Manyetik Görüntüleme

- ❖ Kısacası MRG'nin temeli, protonların belirli bir manyetik alanda uyarılması sonucu farklı salınım frekansları göstermesine dayanmaktadır.
- ❖ MRG cihazında klinik kullanıma girdiği ilk günlerden bugüne tasarım, donanım ve yazılım olarak çok hızlı ilerlemeler kaydedilmiştir.



## Tarihsel Gelişimi

- ❖ MRG'nin temelleri 1923 yılında Wolfgang Pauli'nin, çekirdekteki spin rezonans fenomenini keşfi ile atılmış, MR fenomeninin tanımlanması 1946 yılında Felix Bloch ve Edward Mills Purcell adlı iki araştırmacı tarafından yapılmıştır.
- ❖ MR fenomeninin tanımlanması, İkinci Dünya Savaşı'nın hemen sonrasında yapılmakla birlikte MR'ın insan vücuduna uyarlanması epey zaman almış, ilk kez 1973 yılında Paul C. Lauterbur tarafından gerçekleştirilmiştir.
- ❖ MRG, insan vücuduna uyarlanmasının ardından hızlı bir gelişme göstermiş, 1975 yılında Richard Ernst tarafından Fourier Transform tekniği tanımlanmış, 1977 yılında Raymond Damadian tarafından tüm vücut MR görüntülenmesi sağlanmıştır.



## Tarihsel Gelişimi

- ❖ 1980 yılında Hawkes tarafından MRG'nin multiplanar özelliği tanımlanarak bu yöntemle ilk lezyon gösterilmiştir.
- ❖ 1984 yılında Schörner ve arkadaşları tarafından MRG'de ilk kontrast madde uygulaması gerçekleştirilmiştir.
- ❖ 1986 yılında Haase ve arkadaşları, hızlı görüntüleme sekanslarını geliştirerek o zamana kadar kullanılan klasik inceleme sekansları nedeniyle önemli bir dezavantaj yaratan tetkik süresi süresinin uzunluğuna bir çözüm bulmuşlardır.
- ❖ 1987 yılında Charles Dumoulin tarafından geliştirilen MR-Anjiyografi (MRA) teknikleri ve 1993 yılında kullanılmaya başlanan fonksiyonel MR uygulamaları MRG'nin kullanım alanını genişletmiş, MRG'yi sadece bir anatomik görüntüleme yöntemi olmaktan çıkararak fonksiyonel bir inceleme yöntemi şekline dönüştürmüştür.



## MRG Cihazının Ana Bileşenleri

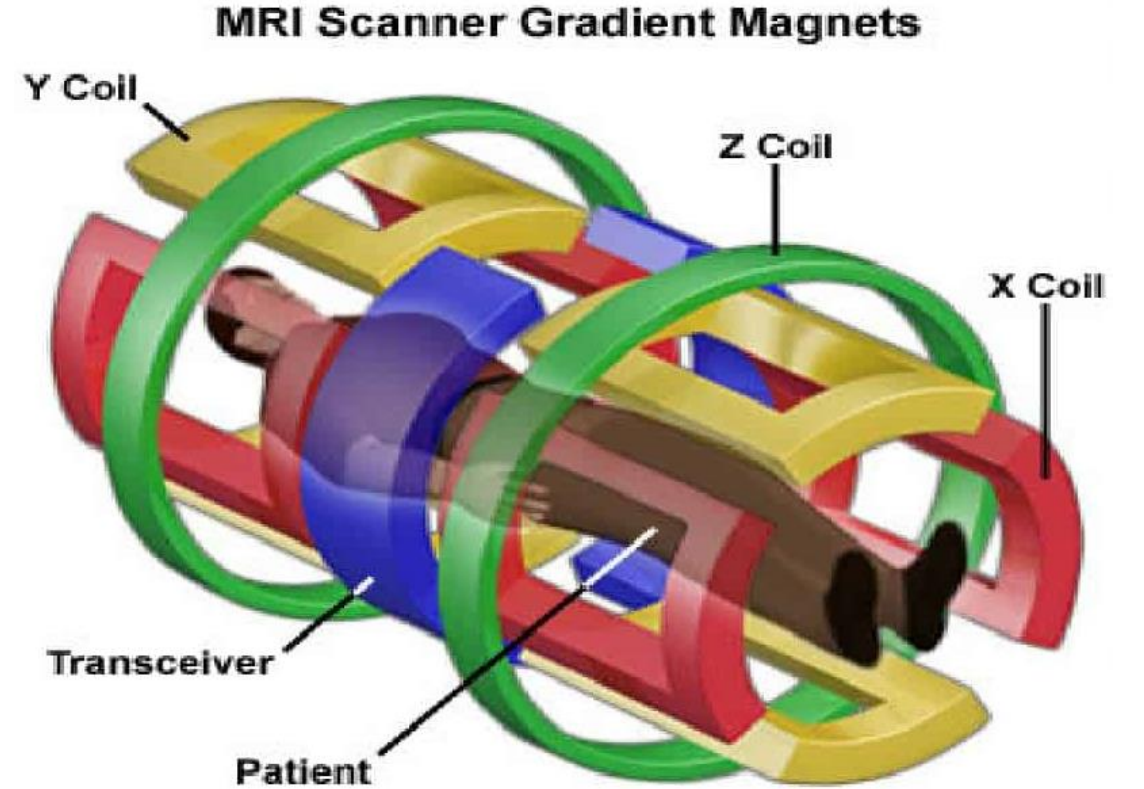
- ❖ MRG sisteminin temel çalışma mekanizması eski ve yeni nesil cihazlarda temel olarak aynıdır.
- ❖ Ana magnet, longitudinal manyetizasyonun sağlanması için gerekli olan statik ve homojen bir manyetik alan sağlarken, gradient sarmallar aracılığı ile açılıp kapanabilen ilave bir manyetik alan yaratılır.
- ❖ Gradientlerin oluşturduğu ek manyetik alan, protonlarda farklı salınım frekanslarına neden olarak sinyalin lokalizasyonunun yapılabilmesini sağlar.
- ❖ Sisteme gönderilen radyofrekans (RF) dalgaları ile incelenmek istenen dokudaki protonlar uyarılır ve dokudan gelen sinyaller toplanarak bilgisayar sistemleri tarafından görüntü oluşturulur.



# MRG Cihazının Ana Bileşenleri

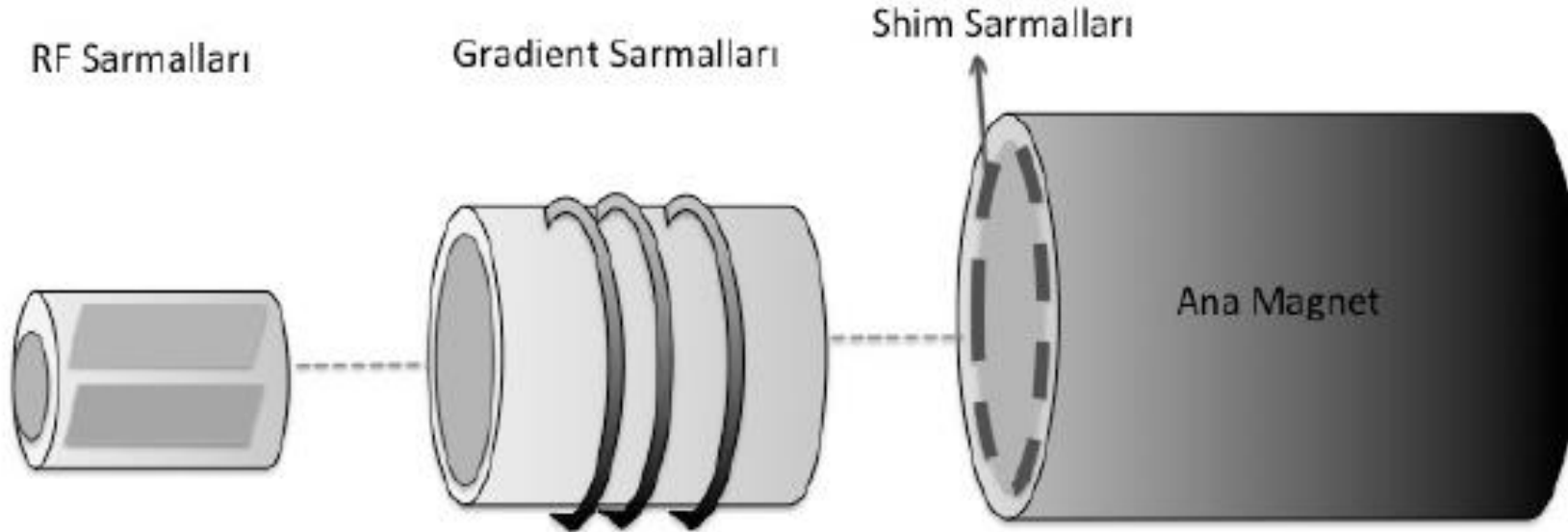
❖ MRG cihazının ana bileşenleri temel olarak beş grupta incelenebilir:

- Ana magnet
- Gradient sarmallar
- Shim sarmallar
- Radyofrekans sarmallar (alıcı-verici sistemleri)
- Bilgisayar sistemi



## MRG Cihazının Ana Bileşenleri

- ❖ MRG cihazında gantri ünitesi magnet ve sarmallardan oluşan, hastanın hemen hemen tüm vücudunu içine alan uzun tünel şeklindeki yapıdır.
- ❖ MRG cihazında sarmallar magnetin içinden gantri boşluğuna doğru sırasıyla shim, gradient ve RF sarmalları olacak şekilde dizilmiştir.





# Ana Magnet

- ❖ Magnetler MRG sisteminin en temel bileşenidir ve magnetin esas görevi görüntüleme için gerekli olan yeterli manyetizasyonu sağlayacak düzenli ve güçlü bir manyetik alan oluşturmaktır.
- ❖ Görüntü oluşturabilmek için manyetik alanın homojen olması gerekmektedir.
- ❖ Bu nedenle günümüzde kullanılan magnetler genellikle silindirik yapıdadır.
- ❖ Manyetik alanın gücü bildiğimiz gibi **Tesla (T)** birimi ile ifade edilir.



# Ana Magnet

- ❖ Magnetler manyetik alan gücüne göre sınıflandırıldığında **beş tipi** vardır:
  - **Düşük** teslalı (low field): (0,2T altında)
  - **Orta** teslalı (mid-field): (0,2-1,5T)
  - **Yüksek** teslalı (high field): (1,5-3T'ye kadar)
  - **Çok yüksek** teslalı (very high field): (3T-7T'ye kadar)
  - **Ultrayüksek** teslalı (ultrahigh-field): (7T ve üstü)



# Ana Magnet

- ❖ Bazı araştırmacılar 3 T ve üzerini de ultrayüksek teslalı olarak sınıflandırabilmektedir.
- ❖ Klinik olarak ise 1,5 T ve 3 T sistemler ileri görüntüme yöntemlerine de imkan sağlayan standart manyetik rezonans (MR) cihazlardır.
- ❖ Yüksek manyetik alan gücüne sahip cihazlarda sinyal-gürültü oranı (SNR) ve uzaysal rezolüsyon daha yüksektir.
- ❖ Görüntüleme zamanı kısalmıştır. Kimyasal duyarlılık arttığından spektral yağ baskılama ve MR spektroskopi yapılabilmektedir.
- ❖ Bu sistemlerin en önemli dezavantajı manyetik duyarlılık artefaktlarının artması ve RF dalgalarına bağlı ısınma problemidir.
- ❖ İlk ultrayüksek teslalı (7 T) magnet 1999 yılında tanıtılmış ve 2017 yılında klinik kullanıma girmiştir.



# Ana Magnet

- ❖ Düşük teslalı MR cihazları açık MR sistemlerinde kullanıldıklarından klostrofobik hastalarda avantajlı olmaktadır.
- ❖ Bir (1) teslanın altındaki sistemlerde projektıl (misil etkisi) risk düşük olduğundan anestezi ve monitörizasyon cihazları hasta yakınına kadar getirilebilmekte ve görüntüleme sırasında hastaya erişim imkanı sağlamaktadır.
- ❖ Bu nedenle girişimsel MR işlemlerinde de kullanılmaktadır.
- ❖ Manyetik duyarlılık artefaktı daha az olduğundan ortopedik görüntülemede avantajlıdır.
- ❖ Kurulum ve idame maliyetleri düşüktür.
- ❖ Düşük teslalı cihazlarda spesifik absorpsiyon oranı (SAR) düşük olduğundan özellikle vücut sıcaklığını dengeleyemeyen infantlar, hasta ve yaşlı bireylerde avantajlıdır.
- ❖ En önemli dezavantajı ise SNR'ın düşük olmasıdır.



# Ana Magnet

- ❖ Günümüzde manyetik alanın oluşturulma şekline göre magnetleri 3 ana grupta sınıflandırabiliriz:
  - Permanent (sabit) magnet
  - Rezistif magnet
  - Süperiletken magnet



# Permanent Magnet

- ❖ Çok büyük boyutlu esas olarak iki kutbun birbirine yakın ve paralel olduğu C-şeklinde bükülmüş manyetize demirden yapılmış doğal mıknatıslardır.
- ❖ Sistemin kurulum ve işletim maliyeti düşüktür.
- ❖ Manyetik alan oluşturmak için elektrik enerjisine ihtiyaç duymazlar.
- ❖ Doğal ve sürekli manyetik alan gücü sağlarlar, ancak manyetik alan homojeniteleri iyi değildir.
- ❖ Manyetik alanın gücü magnetin ağırlığı ile doğru orantılı olup manyetik alan gücünü arttırabilmek için tonlarca ağırlığa ulaşmaktadır.



# Permanent Magnet

- ❖ Neodimyum gibi maddeler ile alaşım yapılarak ağırlıkları bir miktar azaltılabilse de neodimyum pahalı bir element olduğundan maliyet sorunu ortaya çıkmaktadır.
- ❖ Neodimyum, demir ve bor alaşımından yapılan (NdFeB) MRG sistemlerinde kullanılan kalıcı bir mıknatıstır.
- ❖ Bu sistemlerde elde edilen manyetik alanın yönü süperiletken sistemlerden farklı olarak hastaya diktir.
- ❖ Bu cihazlarda SNR düşüktür ve görüntüleme süreleri uzundur.
- ❖ Sistemin kararlı halde kalması için sabit bir oda sıcaklığı gerekmektedir.
- ❖ Bu nedenle kalıcı mıknatıslar genellikle düşük alan kuvvetleri için kullanılır.
- ❖ Acil durumlarda kapatılamaması da bu magnetlerle ilgili önemli bir sorundur.



# Rezistif Magnetler

- ❖ Rezistif ve süperiletken magnetlerde manyetik alanı oluşturmak için elektrik enerjisi kullanılmaktadır.
- ❖ Bu magnetlerde ısınma ciddi bir problem olduğundan 0,5 T manyetik alan gücüne kadar ulaşılabilir.
- ❖ Rezistif magnetlerde süperiletken magnetlerdeki soğutucu kriyostat sistemi yoktur.
- ❖ Air-cored (hava nüveli) rezistif magnet ve iron-cored (demir nüveli) elektromagnet olarak iki tipi vardır.
- ❖ Air-cored rezistif magnetler ilk nesil MR sistemlerinde kullanılmış olup tipik olarak bakır tel veya alüminyum bantlar ile sarılı dört büyük silindirden oluşur.





# Rezistif Magnetler

- ❖ Sistemden elektrik akımı geçirilerek 0,2 T'ya kadar manyetik alan kuvveti oluşturulabilmektedir.
- ❖ Su ile soğutulduğundan fazla ısındığında bekleme moduna geçmekte veya tamamen kapanabilmektedir.
- ❖ Iron-cored elektromagnetlerde ise tellerden elektrik akımı geçince demirin kendisi mıknatıs özelliği kazanır.
- ❖ Demir kullanılarak 0,6 T manyetik alana ulaşılabilmiştir.
- ❖ Oldukça ağır sistemlerdir.
- ❖ Air-cored magnetlerle kıyaslandığında 'fringe field' yani sistem etrafındaki istenmeyen manyetik alan daha azdır.



# Süperiletken Magnetler

- ❖ Temel özellikleri manyetik alanın her zaman mevcut olmasıdır.
- ❖ Süperiletken magnetlerde manyetik alan, üzerinden akım geçirilen süperiletken teller aracılığı ile sağlanır.
- ❖ Niyobyum/titanyum veya niyobyum/kalay gibi alaşımlardan yapılmaktadır.
- ❖ Bu alaşımlar, mutlak sifıra (yaklaşık  $-273,15^{\circ}\text{C}$ ) yakın sıcaklıklara kadar soğutulduğunda elektrik akımına karşı dirençleri sifıra düşer ve bu olaya **süperiletkenlik** denir.
- ❖ Bu magnetlerde telden akım geçtikçe ısınan sistemin soğutulması gerekmektedir.
- ❖ Bu soğutma işleminde sıvı veya mekanik soğutucular kullanılabilir.



# Süperiletken Magnetler

- ❖ Pek çok MR sisteminde soğutma işlemi sıvı helyum ile yapılır.
- ❖ Süperiletken teller kriyostat denilen, ısı iletimini ve yayılımını engelleyen, çelik izolasyon tankına yerleştirilmiştir.
- ❖ Bu izolasyon sistemi düzgün çalışmıyorsa teller iletken hale gelerek sistemde biriken enerjiyi ısı olarak yayar.
- ❖ Böylece ısınan sıvı helyum buharlaşıp gaz haline gelir.
- ❖ Sistemde gaz basıncı aşırı arttığından kriyostatı patlamadan korumak için süperiletken mıknatıslara bağlı quench tüpleri ile buhar halindeki helyum odadan dışarı atılır.
- ❖ Bu olaya **quench** denilir.



# Süperiletken Magnetler

- ❖ Farklı markalara ait cihazlarda manyetik alan homojenitesi kıyaslanırken magnet çaplarınının eşit olmasına dikkat edilmelidir.
- ❖ Magnet çapı arttıkça manyetik alan inhomojenitesi de artar.
- ❖ Güncel MR sistemlerinde bu homojenizasyon sorunu büyük oranda çözümlenerek daha geniş çaplı magnetler yapılabilmiş ve gantri açıklığının 70 cm'e ulaşması kloströfobik hastalarda oldukça faydalı olmuştur.
- ❖ **MRG cihazları açık ve kapalı olarak iki şekilde dizayn edilebilir.**
- ❖ Açık MR sistemlerinde C-şekilli veya at nalı konfigürasyonunda permanent magnetler kullanılmaktadır.
- ❖ Manyetik alan gücü 0,2T-1T arasında olup manyetik alan yönü hastaya diktir.



# Süperiletken Magnetler

- ❖ Kapalı MR sistemlerinde süperiletken mıknatıslar kullanılır ve 1T ve üzeri stabil ve homojen bir manyetik alan sağlanır.
- ❖ Manyetik alanın yönü hastaya paraleldir.
- ❖ Bazı MR cihazları ise farklı olarak dipolar elektromagnet sistemleri şeklinde dizayn edilmiştir.
- ❖ Dipolar elektromagnet sistemlerinde mıknatıslar hastanın her iki tarafında tavanda ve tabanda birbirine bakacak şekilde yerleştirilmiştir.
- ❖ Süperiletken veya rezistif magnetler kullanılabilir ve manyetik alan 0,5T-1,2T arasındadır.



# Gradient Sarmallar

- ❖ Temel görevleri sinyalin lokalizasyonunun yapılabilmesidir.
- ❖ Gradient sarmallar  $x$ ,  $y$  ve  $z$  eksenleri boyunca yerleştirilen bağımsız güç amplifikatörlerine bağlı üç ayrı setten oluşur ve manyetik alanı kademeli olarak arttırıp azaltarak görüntü oluşturulmasını sağlarlar.
- ❖  $Z$ - aksı boyunca kesit belirleme,  $x$ - aksı boyunca frekans kodlama ve  $y$ - aksı boyunca ise faz kodlama gradientleri oluşturulmaktadır.
- ❖ Enine ( $x$ - ve  $y$ -) gradientler tipik olarak eyer konfigürasyonuna sahipken,  $z$ -gradientlerin tasarımı genellikle dairesel şekildedir.



# Gradient Sarmallar

- ❖ Gradient sarmalların üzerinden akım geçtikçe ortaya çıkan manyetik alan, ana manyetik alanın aksi yönde olup çok daha düşük kuvvetlidir.
- ❖ Bu ek manyetik alan, ana manyetik alanda bir miktar distorsiyona neden olur.
- ❖ Buna bağlı protonlarda meydana gelen farklı salınım frekansları sinyalin lokalizasyonunu saptamaya yarar.
- ❖ Gradientler anjiyografi, DAG ve perfüzyon gibi tekniklerde kritik öneme sahiptir.
- ❖ İnceleme sırasında gradient sarmallar defalarca çok hızlı bir şekilde açılıp kapanırlar ve MR'daki sesin ana kaynağı da budur.



# Gradient Sarmallar

- ❖ Yeni geliştirilen 'sessiz tarama teknolojisi' ile gradientlerin neredeyse sabit seviyelerde sürekli olarak kullanıldığı ve çok küçük adımlarla değiştirildiği farklı bir yaklaşım kullanılarak ve bazı donanım değişiklikleri de yapılarak ses önemli ölçüde azaltılmıştır.
- ❖ Hızla değişen gradient manyetik alanın sonucu Faraday'ın İndüksiyon Yasasına göre çevredeki iletken malzemelerde Eddy akımları (girdap akımları) denilen başıboş akımlar oluşur.
- ❖ Ciddi artefaktlara neden olduklarından istenmeyen bir durumdur.
- ❖ Bu akımlar MR tarayıcısının herhangi bir metalik bileşeni ile veya hastadaki cihazlar ile etkileşime girebilir.
- ❖ Dokuda ısınma veya periferik sinir stimülasyonu gibi önemli biyolojik etkilere neden olabilir.





# Shim Sarmallar

- ❖ Shimming, MR sisteminde statik manyetik alanın daha homojen hale getirildiği bir işlemdir.
- ❖ **Aktif veya pasif olmak üzere iki tip shimming işlemi mevcuttur.**
- ❖ Sistem kurulum aşamasındayken magnetin fabrikada üretimine bağlı gelişen manyetik alan inhomojenitesi ölçülür.
- ❖ Bu inhomojenite cihaz kurulumu sırasında magnetin iç deliği boyunca belli lokalizasyonlara metal plakalar veya ferromanyetik maddeler yerleştirilerek kompanse edilir.
- ❖ Ancak magnet kurulumu tamamlandığında bir dizi kontrol ve kalibrasyondan sonra istenen manyetik alan homojenliği sağlanabilmektedir.
- ❖ Bu işleme **pasif shimming** denir.



# Shim Sarmallar

- ❖ Pasif shimmingde özel yazılımlar ile yerleştirilecek plakaların konumları hesaplanır.
- ❖ Tipik olarak demir veya çelik plakalar kullanılır.
- ❖ Dikkatli bir pasif shimming işlemi ile ana manyetik alanın mükemmel bir şekilde statik olarak homojen olması sağlanabilir.
- ❖ Pasif shimmingin en önemli dezavantajı, shim materyalinin sıcaklığa duyarlı olması ve sistem ısındığında alan kaymaları meydana gelmesidir.
- ❖ Ek olarak, shimler zaman içinde mıknatıslanabilir, değiştirilmesi veya yeniden konumlandırılması gerekebilir.



# Shim Sarmallar

- ❖ Pasif shimming boş magnet için oluşturulmuş statik bir çözümdür.
- ❖ Pratikte bir hasta tarayıcıya yerleştirildiğinde, diyamanyetik duyarlılık etkilerinden dolayı ek alan bozulmaları meydana gelmektedir.
- ❖ Her hastanın benzersiz, birbirinden farklı bir inhomojenite modeli vardır.
- ❖ Manyetik alandaki hastadan hastaya değişen bireysel varyasyonlar ancak dinamik bir işlemle düzeltilebilir.
- ❖ Buna da **aktif shimming** denir.
- ❖ Aktif shimmingde akım, özel sarmallar aracılığı ile yönlendirilir.
- ❖ **Aktif shim sarmalları süperiletken veya rezistif olmak üzere iki tip olabilir.**
- ❖ Süperiletkenler sıvı helyum içeren kriyostat içine yerleştirilirken, rezistif olanlar tarayıcının iç duvarındaki gradient sarmallar ile aynı destek yapısına monte edilir.
- ❖ Bazı MR cihazlarında her iki shim tipi de kullanılabilir.



## Radyofrekans (RF) Sarmalları

- ❖ RF sarmalları ile incelenen dokulardaki protonları uyarmak için verici sarmallar ile sisteme RF dalgaları gönderilmekte ve alıcı sarmallar ile uyarılmış spinlerden gelen sinyaller toplanmaktadır.
- ❖ Yalnızca alıcı, yalnızca verici olabildikleri gibi hem alıcı hem de verici olarak fonksiyon görebilirler.
- ❖ Bir sarmalın sinyal alma yeteneğini belirleyen faktörlerden en önemli ikisi sinyale yakınlık ve sarmalın yapıldığı bobinin çapıdır.
- ❖ Çap ne kadar büyükse, sarmal o kadar az hassastır.
- ❖ Hastadan gelen sinyaller toplandıktan sonra amplifiye edilir ve gelen sinyallerde faz ve frekans bilgileri ayıklanır.



## Radyofrekans (RF) Sarmalları

- ❖ **Yüzey sarmalları** sadece alıcı olarak fonksiyon gören sarmalların en sık kullanılanlarıdır.
- ❖ Farklı anatomik bölgeler için özel olarak tasarlanmış birçok sarmal çeşidi bulunmaktadır.
- ❖ **Volüm sarmalları** ise baş, gövde ve ekstremitelere gibi organlar için tasarlanmıştır.
- ❖ **Faz dizimli sarmallar** ise üzerinde en az dört veya daha fazla alıcının sıralandığı sarmallardır.
- ❖ Bu sarmallar yüksek SNR oranı sağlarlar ve paralel görüntüleme uygulamalarında da kullanılabilir.
- ❖ Spinal görüntüleme için, birden fazla yüzey bobini bir araya getirilerek tüm omurga iyi kalitede görüntülenebilir.



## Radyofrekans (RF) Sarmalları

- ❖ RF sarmallardaki alıcı elemanların sayısı artıkça, görüntü oluşum hızı da artmaktadır.
- ❖ Bu durum birbirine komşu sarmaldan gelen sinyallerde etkileşime ve üst üste binmeye neden olmaktadır.
- ❖ Bu sinyallerin ayrıştırılması RF sistemlerindeki decoupling methodlarının temelini oluşturmaktadır.
- ❖ Son yıllarda wireless teknolojisi ile sarmallar ve kablolar arasındaki etkileşim en aza indirilebilmiştir.
- ❖ Multitone sistemlerde ise RF sarmalları birçok farklı frekansta sinyal alacak şekilde dizayn edilmişlerdir.



# Bilgisayar Sistemi

- ❖ Tipik olarak yüksek hızlı yerel internet ağı ile birbirine bağı ana ve yardımcı bilgisayarlardan oluşan bir sistemdir.
- ❖ Ana bilgisayar kullanıcı ile MRG sistemi arasındaki bağlantıyı sağlar ve tüm sistem buradan kontrol edilebilir.
- ❖ Ana bilgisayarın tüm görüntü işlemleri, kontrol pulslarının oluşturulması, arıza bulma, servis, kalite kontrol, görüntülerin PACS sistemine kaydedilmesi gibi aynı anda birçok işlemi gerçekleştirme kapasitesi vardır.
- ❖ Nihai görüntü ana bilgisayara gönderilmeden önce, gelen verilerin yeniden düzenlenmesi, Fourier dönüştürülmesi, birleştirilmesi imaj rekonstrüksiyon bilgisayarları tarafından yapılır.
- ❖ Donanım kontrol bilgisayarları; gradientler, RF sistemi ve alıcıların çalışmasını kontrol eder.



# Bilgisayar Sistemi

- ❖ Tüm bilgisayarlar diagnostik görüntüleme için özel üretilmiş dedike monitörlere bağlanırlar.
- ❖ Bu monitörlerde manyetik alana bağlı distorsiyon gelişmemesi için ince-film transistör teknolojisi tercih edilmektedir.





# MR Güvenliği

- ❖ MR uygulaması sırasında güvenli bir ortam sağlanması hem hastane personelinin hem de hasta ve hastaya eşlik eden yakınlarının sağlığı yönünden çok önemlidir.
- ❖ Günümüzde giderek daha yüksek manyetik alan gücüne sahip MR cihazlarının klinik kullanıma girmesi ve biyomedikal implantlar ile yardımcı cihazlardaki çeşitliliğin artması ile MR'da güvenlik konusunun kapsamı çok genişlemiştir.
- ❖ Yeni teknolojilerle birlikte güvenlik ile ilgili yönetmelikler ve standartlar da sürekli güncellenmektedir.
- ❖ Güncel olarak biyomedikal implant ve cihazlar MR'da güvenlik konusunda MR güvenli, MR koşullu ve MR güvensiz olarak sınıflandırılmışlardır.



# MR Güvenliği

- ❖ MR güvenli cihazlar MR görüntüleme ortamında tehlikeli değildir, ancak MR güvensiz cihazlar herhangi bir MR görüntüleme ortamında kontrendikedir.
- ❖ MR koşullu bir cihaz ise yalnızca belirli çalışma koşullarında ana manyetik alan, maksimum manyetik alan gradienti ve SAR gibi bazı değerler göz önüne alınarak MR taramaya uygundur.
- ❖ MR ünitesini oluşturan ana magnet, gradient ve RF alıcı-verici sistemlerinden oluşan üç ana sistemin ve kriyojenlerin her biri için ayrı güvenlik riskleri bulunmaktadır.
- ❖ MR güvenlik bilgileri implant ve cihazların markası, modeli ve hatta bazen seri numarasına özel olmaktadır.
- ❖ Bu nedenle her inceleme öncesinde detaylı sistematik bir sorgulama yapılmalıdır.



# MR Güvenliği

- ❖ Diğer taraftan teknolojik gelişmeler sayesinde giderek daha fazla MR uyumlu implantlar ve cihazların geliştirilmeye başlanmış olması da MR güvenliği kaynaklı endişeleri bir miktar azaltmaktadır.
- ❖ Günüümüzde kliniklerde yaygın olarak 1,5 ve 3T MR sistemleri kullanılmaktadır.
- ❖ Üç tesla cihazlarda SAR ve özellikle manyetik duyarlılık artefaktları da artmaktadır.
- ❖ Manyetik duyarlılık artefaktları özellikle ortopedik protezler ve plaklarda görüntüleme alanına dahilse çok belirginleşmektedir.
- ❖ Her iki MR sisteminin de bulunduğu kliniklerde randevu aşamasında ekstremitte çekimlerinde bu hastaların sorgulanıp 1,5T MR'a yönlendirilmesi pratik bir çözüm olacaktır.



# MR Güvenliği

- ❖ Daha önce 1,5T cihaz için uygun olan bazı implantlar 3T cihazda güvenli olmayabilir.
- ❖ Detaylı sorgulama yapılması gerekmektedir.
- ❖ Herhangi bir metalik nesne, statik veya değişen manyetik alanlarla etkileşime girdiğinde translasyonel ve rotasyonel kuvvetler (öteleme ve dönme kuvvetleri) oluşabilir.
- ❖ Translasyonel çekilme statik manyetik alan gücüne, gradient gücüne, cismin şekline, toplam kütlesine, içerdiği ferromanyetik madde oranına ve manyetik duyarlılığına bağlıdır.



# MR Güvenliği

- ❖ Genel olarak cerrahi dikişler, vasküler ve safra stentleri, klipsler, vida ve plakların çoğu, kuvvetle ilgili yaralanma riski taşımayan, ferromanyetik olmayan malzemelerden oluştuğundan 3 T ve altı cihazlarda güvenilirdir.
- ❖ Birçok diş implantı ve ortopedik vida ise çok az miktarda ferromanyetik madde içerdiğinden 3 T ve altı cihazlarda güvenilirdir.



# MR Güvenliği

- ❖ Kalp pilleri son yıllara kadar MR'da kesin kontrendikasyonlardan biri iken, günümüzde teknolojik gelişmeler sayesinde MR taramaya izin veren kalp pilleri üretilmeye başlanmıştır.
- ❖ Kalp pilleri ile ilgili en önemli sıkıntılar RF dalgalarının neden olduğu uygunsuz asenkron atımlar, atriyal ve ventriküler kablolarla bağlı yanma riskidir.
- ❖ Yeni geliştirilen cihazlarda MR taramasından önce ve sonra cihazın yeniden programlanmasına olanak sağlayan MRG modu adı verilen yazılımlar bulunmaktadır.
- ❖ Çekimden hemen önce kardiyolog tarafından cihaz MRG moduna ayarlanmakta ve işlem sonrasında yeniden aktifleştirilmektedir.



# MR Güvenliği

- ❖ Sonuç olarak; MR'da güvenlikle ilgili riskler, donanımla yakın ilişkili olmakla birlikte her hastada kendine özgü potansiyel riskler taşımaktadır.
- ❖ Bazı standartlar ve kılavuzlar, güvenlik konusunda yol gösterici olsa da, esas olan, radyologlar ve sağlık personelinde güvenlik kültürünün geliştirilmesidir.



# Kaynaklar

- ❖ Ozdemir, H., Agildere A., Manyetik Rezonans Görüntüleme Donanım ve Güvenlik, Türk Radyoloji Seminerleri, Türk Radyoloji Derneği, 2020.
- ❖ Oyar O., Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG)'nin Klinik Uygulamaları ve Endikasyonları, Clinical Applications and Indications of Magnetic Resonance Imaging (MRI).
- ❖ <http://www.mrisafety.com/>
- ❖ American College of Radiology:  
<http://www.acr.org/ClinicalResources/RadiologySafety/MRSafety>

