

# MRI

## MANYETİK REZONANSLA TIBBİ TANI

**S**IK SIK DUYARIZ, OKURUZ: "Kesin tanı için doktor MRI (gündelik dilde MR diye yerleşmiş) istedi." Ya da, "Beşiktaş'ın süper transferi, imzadan önce girdiği MR'da çürük çıktı". Nedir bu bildiğimiz röntgen cihazının pabucunu dama atan mucize aygıt? En basit anlatımıyla farklı şiddetteki manyetik alanlar kullanarak, organlarımız ve dokularımıza ilişkin şikayetlerimizi bizzat o organ ve dokulardaki atom çekirdeklerinden dinleyen bir araç; giderek yaygın kullanım kazanan çağdaş bir tıbbi görüntüleme tekniği.

Hastalık tanılarının, görüntüleme yoluyla saptanmasında devrim yaratan MRI (Magnetic Resonance Imaging - Manyetik Rezonans Görüntüleme) cihazı, görünüş bakımından kocaman bir küpten ibaret. Farklı büyüklük ve şekillerde olabile de hepsinin temel tasarımları aynı: Önden arkaya uzanan ve mıknatıs deliği olarak bilinen yatay bir tüp ve bu tüpün çeperleri boyunca uzanan bir mıknatıs. Özel ve hareketli bir masa üzerine sırtüstü yatan hastalar, bu tüpün içine kaydırılarak yerleştiriliyorlar.

MRI sisteminin en önemli bileşeni, oldukça büyük yer kaplayan mıknatısı. Mıknatısın yarattığı manyetik alan büyüklüğü, MRI cihazlarında Tesla (T) ile ifade edilir. 1 Tesla 10.000 Gauss'a eşdeğerdir. Günümüzde, MRI'da kullanılan mıknatıslar 0,5 - 4 T ya da 5.000 - 40.000 Gauss gücünde. Bazı araştırmalarda, 7 T gücünde mıknatısların kullanıldığı MRI cihazlarından da söz edilmekte. Dünyanın manyetik alanının 0,5 Gauss olduğu anımsanırsa, gerçekte, nereden büyük manyetik güçlerden söz edildiği kolayca anlaşılır.

MRI tekniğiyle, oldukça kaliteli bir görüntünün elde edilmesinde, manye-

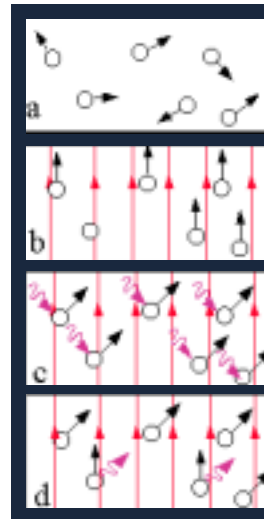
tik alanın gücü, sürekliliği ve düzenliliği, ana manyetik alanı şekillendiren çok kritik belirleyiciler. Her MRI sisteminde, birincil manyetik alanı oluşturan ana mıknatısın yanı sıra, dereceli mıknatıslar olarak adlandırılan ikinci tür mıknatıslar bulunur. MRI cihazlarının gücünün kaynağı olan bu mıknatıslar, ana manyetik alanla kıyaslandığında, gücü çok daha az manyetik alanlar üretirler; üretilen manyetik alanın büyüklüğü 180-270 Gauss ya da 18-27 mT (Teslanın binde biri) aralığında değişken olabilir. Ana mıknatıs hasta üzerinde kararlı ve çok şiddetli bir manyetik alan uygularken, dereceli mıknatıslar değişken manyetik alanlar oluşturulmasını sağlarlar. Bir MRI sistemi, çok güçlü bir bilgisayar sistemi, tarama sırasında hasta vücuduna gönderilecek radyo frekans (RF) dalga itmelerinin taşınmasını sağlayan bazı donanımlar ve pek çok ikincil bileşen de içerir.

### Çekirdeğin İşlevi

Bir atom çekirdeği proton ve nötron denilen parçacıkları içerir. Çekirdeğin temel bileşenleri olan proton ve nötronlar, tek başına olduklarında, ince bir çubuk mıknatısın özelliklerine benzeyen bir manyetik etkiye sahipler. Ancak, çekirdek içinde protonla protonun, nötronla nötronun oluşturdukları proton ya da nötron çiftleri, birinin diğeri üzerindeki manyetik etkisini yok etme eğilimindedir. Hem proton, hem de nötronları çift sayıda olan bir çekirdekte, proton-proton, nötron-nötron eşlenmesi tamamlandığından, çekirdek içinde fazladan bir manyetik etki oluşmaz. Bu nedenle, çift sayıda proton ve çift sayıda nötrona

sahip bir çekirdeğin net bir manyetikliğinden söz edilemezken, tek sayıda protonu ya da tek sayıda nötronu olan bir çekirdek, Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) olgusunu olanaklı kılabilen net bir manyetiklik yaratır. Bu tür manyetikliğe sahip elementlerin sayısı, oldukça sınırlı. Yalnızca bir protonlu ve nötronsuz hidrojen, altı protonlu-yedi nötronlu karbon-13, 11 protonlu-12 nötronlu sodyum-23 ve 15 protonlu-16 nötronlu fosfor-31 atomlarının ya da izotoplarının çekirdeklerinde, çekirdeğin tümünde manyetik moment yaratmayı sağlayacak eşlenmemiş bir proton ya da nötron bulunmakta. Üstelik bu elementlerin hemen hepsi biyolojik dokularda doğal olarak bulunuyor.

Eşlenemeyen tek bir proton içeren bir çekirdek yapısına sahip hidrojen atomu, tüm çekirdekler arasında en güçlü manyetikliği olan tek çekirdek. Dış bir manyetik alan uygulaması olmaksızın, hidrojen çekirdeğinin manyetizması, çekirdeği dönüş yönüne dik bir manyetik vektör etrafında döndürür. Spin adı verilen bu kendi etrafında dönmeyen gelişigüzel yönlerde olması, bir



- Bir dış manyetik alan uygulanmadığında hidrojen protonlarının hareketi gelişigüzedir,
- Dış bir manyetik alan etkisinde kalan protonlar bu manyetik alanla aynı ya da zıt yönde yönelirler,
- Uygulanan RF itmesi hidrojen protonlarının enerji soğurarak başka bir düzleme taşınmasını sağlar,
- RF itmesi kesildiğinde hidrojen protonları enerji salarak eski durumlarına dönmeye çalışır.

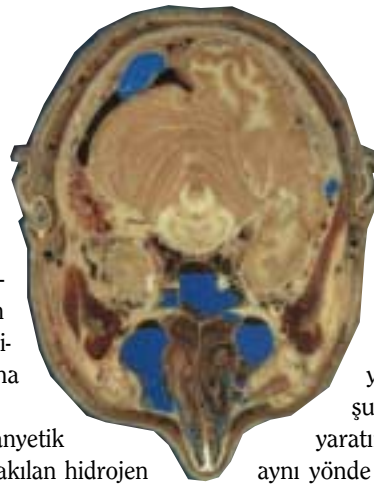
doku örneği içindeki hidrojen çekirdeklerinin net manyetikliğinin sıfır olması neden olur. Ancak güçlü bir manyetik alan içine konulduğunda, gelişigüzel yönlerde dönen hidrojen çekirdeklerinin manyetikliğiyle, çevredeki makromoleküller arasındaki gelişigüzel termal etkileşmeler, proton manyetik vektörünün, daha düşük (aynı yönde koşut) ve daha yüksek (zıt yönde koşut) enerji durumları arasında ileri ya da geri yönleneşine neden olur. Yani, hidrojen çekirdeklerindeki proton manyetik vektörlerinin, çoğunun, uygulanan manyetik alanla aynı, daha azının da uygulanan manyetik alana zıt yönde yönleneşini sağlar. Yönleneşler arasındaki bu sayısal fark, dışarıdan uygulanmakta olan güçlü manyetik alanla aynı yönde, yeni bir manyetik alan oluşmasına neden olur. MRI görüntülemenin kabaca temeli, yeni oluşan bu manyetik alanın varlığına dayanır.

MR görüntülemenin neredeyse tek sinyal kaynağı olarak kullanılan hidrojen atomları, hem su hem yağ yapısında yer aldıklarından, insan vücudunda çok bol bulunur. Yumuşak bir dokunun her 1 mm<sup>3</sup>'ünde yaklaşık 10<sup>19</sup> (10 milyar ke-re milyar) hidrojen atomunun var olması, çok şaşırtıcı gelebilir. Güçlü bir manyetik etkiye sahip olması ve dokuda bol

miktarda bulunması gibi nedenlerle, insan vücudunda hidrojen-den alınan sinyaller, diğer herhangi bir atom çekirdeğinden elde edilenlerden bin kat daha güçlü olur.

Aslında dış bir manyetik alan etkisine maruz bırakılan hidrojen protonlarının manyetik vektörleri, uygulanan manyetik alanın yönüne, kendi dönmeleri nedeniyle tam olarak sürekli koşut kalmazlar; yani buldukları yerde, güçlü manyetik alan vektörünün çevresinde küçük yalpalanmalar yaparlar. Hidrojen çekirdeği için, yalpa sıklığı da denilen yalpa oranı, sadece manyetik alanın gücüyle tanımlanır. Daha güçlü bir manyetik alan, daha hızlı bir yalpa sıklığı demektir. Yalpa sıklığı, hastaya, çekirdeği uyarmak üzere gönderilecek elektromanyetik RF dalga itmesinin ve hastadan gelecek olan sinyallerin de düzenlendiği alıcı antenlerin de sıklığıyla aynı. Sıklıkların aynılığı rezonansı yaratır.

Verilen bir dokunun hacmindeki bütün hidrojen çekirdeklerinin manyetikliğinin vektör toplamı, o dokunun net manyetiklenmesini verir. Doku dış bir manyetik alan içinde değilse, dokunun



net manyetikliği sıfırdır. Doku bir manyetik alan içine konulduğunda, 5-10 saniye gibi kısa bir süre içinde, uygulanan dış manyetik alanın yönüne koşut net bir manyetiklenme yaratır. Dış manyetik alanla aynı yönde yönleneşen bu manyetiklik, x,y,z üçboyutu düşünülüğünde, z yönündedir.

Dokunun net manyetiklenmesi, uygulanan dış manyetik alanla aynı doğrultuda yönlendiğinde, dış manyetik alanın çok büyük oluşu nedeniyle doku manyetikliğinin ölçülmesi çok zorlaşır. Bu ölçümü yapmak için doku manyetikliği, uygulanan dış manyetik alana dik olan xy düzlemine taşınır. Bu taşıma işlemi için dış manyetik alana dik olacak biçimde ve yalpa sıklığına eşit sıklıkta bir elektromanyetik RF dalga itmesi gönderilir.

## RF'in İşlevi

MRI cihazı, hidrojene özgü bir RF itmesini uygular. Sistem, itmeyi vücudun incelenmek istenen dokusuna yöneltir. RF itmesi, incelenen doku içindeki protonların farklı bir yönde dönme ya da yalpalama hareketlerini, farklı bir düzlemde (xy düzlemi) sürdürmelerini sağlayacak enerji soğurumuna neden olur. Daha önce de değindiğimiz gibi, yalpalayan protonların yalpa sıklığıyla, dışarıdan gönderilen RF itmesinin sıklıkları aynıdır. Bu iki sıklığın aynı oluşu rezonansa neden olur. MRI'nin oluşmasını sağlayan ölçüm parametreleri, bu etkileşmeden doğar.

MRI cihazlarında, RF itmeleri, vücudun baş, omuz, diz, bilek gibi farklı bölümleri için farklı tasarlanmış antenlerle uygulanır. Antenler, genellikle incelenen bölgenin vücut hatlarına uygun ve en yakınına yerleştirilebilir özelliklerde tasarlanırlar. Antenlerin RF itmelerini göndermelerıyla hemen hemen eş zamanlı olarak, dereceli mıknatıslar da devreye girerler. Dereceli mıknatıslar, ana manyetik alan şiddetinin belirli bir biçimde kullanılmasını sağlayarak, görüntülenmek istenen dokuyu, diğer dokulardan tümüyle ayırırlar. MRI, aslında görüntülenecek bölgeyi çok ince dilimlere ayırır; bu sayede, hastanın hareket etmesini gereksiz kılarak

## Mıknatıs Türleri

MRI'nin işleyişinde mıknatısın işlevini anlamak için, MRI içindeki mıknatısın özelliklerini, kabaca da olsa bilmeli. MRI sistemlerinde, ana mıknatıs olarak kullanılan üç türden söz edilebilir.

Dirençli mıknatıslar, içinden elektrik akımı geçiren bir silindir ya da deliğin etrafına sarılmış çok sayıda iletken teli içeren yapıyla, manyetik alan oluşmasını sağlarlar. Elektrik kesildiğinde, manyetik alan da ortadan kalkar. Süperiletken mıknatıslara göre daha düşük kurulum bedelleri olmasına karşın, dirençli mıknatıslar, yapısında yer alan iletken tellerin öz direnci nedeniyle, yaklaşık 50KW gibi yüksek güç gerektiren elektrikle çalıştırılırlar. Yaklaşık 0,3 Tesla (T) düzeyini aşan bu tür mıknatısları işletilebilmek, işletmeyi engelleyecek kadar yüksek maliyetli olabilir.

Sürekli mıknatıslar, mıknatıs özelliğini, bir dış etkiye bağlı olmaksızın, sürekli sağlayan malzemelerden üretilirler. Bu tür bir mıknatısın manyetik alanı her zaman ve güç kaybı olmaksızın vardır; manyetik alan oluşumu ek maliyet gerektirmez. Ancak bu tür mıknatısların çok ağır olmaları, en olumsuz yönleri. 0,4 tesla düzeyindeki bir manyetik alan oluşturabilen bu mıknatıslar, tonlarca ağırlıkta. Daha güçlü bir manyetik alana gerek duyulduğunda çok çok ağır olduklarından, bu tür sistemlerin kurulum süreci oldukça zor. Sü-

rekli mıknatıslar giderek küçülse de, diğer mıknatıslara göre hâlâ daha düşük güçte alan yaratmakla sınırlıdır.

Dirençli mıknatıslara oldukça benzeyen süperiletken mıknatıslar, yaygın olarak kullanılmaktan uzaktır. Süperiletken mıknatıslar dirençli mıknatıslara oldukça benzerler. En önemli fark, kullanılan tellerin çok düşük sıcaklıktaki sıvı helyumla, sürekli olarak banyo ettirilmesindedir. MRI tarayıcının çevresi sıvı helyumla kaplıdır; ama sıvı helyum, vakumlu termoslardakiyle neredeyse aynı biçimde bir vakum tekniğiyle yalıtılmıştır. Hayal edilmesi bile çok güç olan bu soğukluk, sistemin gerek duyduğu elektrik miktarını önemli oranda azaltmaya ve çok daha ekonomik bir işletim yapmaya yarar. Süperiletken sistemler hâlâ çok yüksek maliyetli olmakla birlikte, çok daha yüksek kaliteli görüntülerin elde edilebileceği 0,5 - 2,0 T gücündeki alanları kolayca üretirler.

Mıknatıslar MRI sistemlerin ağırlıkça fazla olmasına neden olurlar, ancak gelişen teknolojiyle üretilen yeni tür sistemlerde ağırlık giderek azalmakta; 8 yaşındaki bir MRI sistem 7 tonu aşan bir ağırlıktayken, yeni tür bir MRI sistemin ağırlığı 4 tona kadar düşürülebilmiş. Yeni mıknatısların boyları da eski modellerde olduğundan daha kısa üretilebilmekte. Mıknatıs uzunluğu, kapalı yer korkusu taşıyan hastalar için çok önemli bir sorun; bu nedenle, yeni sistemler gittikçe hasta dostu hale getirilmekte.

her yönden görüntü alabilir. Cihaz, tüm bu yönlendirmeleri dereceli mıknatıslar yardımıyla yapar.

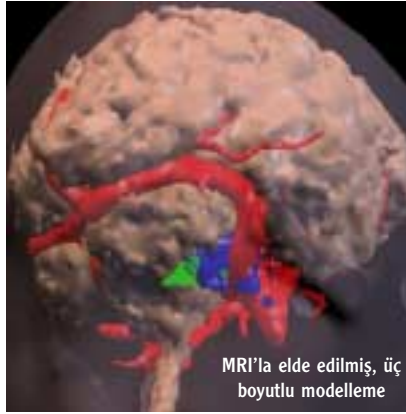
RF itmesi kesildiğinde, hidrojen protonları çevresel etkileşimler de yaparak, yavaşça önceki durumlarına (z düzlemine) dönerler ve RF itmesiyle soğudukları fazla enerjiyi salarlar. Enerji salınımının yarattığı sinyal, anten tarafından seçilir ve bilgisayar sistemine gönderilir. Matematiksel verileri alan bilgisayar, Fourier dönüşümlerini kullanarak, bu verileri gri ölçekte, görüntüye dönüştürür.

## Ölçüm Parametreleri

Manyetik rezonans, dokularda ya da sıvılardaki hidrojen konsantrasyonunun, bir dokudan diğerine farklılık gösteren sinyallerine duyarlı. RF dalga itmesine maruz kalan hidrojen protonlarının, RF kesildiğinde, bir enerji salarak önceki konum ve durumlarına döndüklerini söylemiştik. Hidrojen protonlarının uyarılarak gönderildikleri xy düzleminde, daha önce buldukları z düzlemine geçişleri belirli bir zaman diliminde gerçekleşir. MRI'da önemli bir sinyal ölçüm unsuru sayılan bu süre, T1 durulma zamanı adını alır. T1 durulma zamanı hidrojen protonlarının çevre etkileşimlerine bağlı olarak birkaç yüz milisaniye ya da birkaç saniye aralığında değişir. Suda, kanda ya da beyin omurilik sıvısındaki hidrojen protonlarının durulma zamanı daha uzunken, doku içindeki hidrojen

protonlarının durulma zamanı çok daha kısa. Durulma zamanlarındaki bu farklılık MRI görüntülerinde farklı parlaklıkların oluşmasını sağlar.

Bir dokuyu diğerinden ayırmak üzere elde edilen ve T2 olarak adlandırılan öteki ölçüm unsuru, MRI'ı çok yönlü olmaya iter. Hidrojen çekirdeği kendi ekseninde spin denilen bir dönme hareketi yapar; dönme kuzeyden başlayarak, önce batıya, sonra güneye, daha sonra doğuya ve son olarak kuzeye ulaşan dairesel bir yönde değişmeksizin



kayar. Çok sayıda hidrojen çekirdeğinin bir demet oluşturacak biçimde, aynı yönde, aynı kaymayla spin hareketi yaparak bir arada bulunması durumuna "fazda" denir. MRI sırasında, RF itmesi uygulandığında, hidrojen çekirdekleri sıralanır ve spinleri faz içine girer. İtme kesildiğinde çekirdek spinleri dereceli olarak fazdışı hale gelirler ve sinyalleri zayıflar. Sıralanma bozuldukça, sinyal

ler daha da güçsüzeleşir. Spinler kendi gelişigüzel hareketlerine döndüklerinde sinyaller yok olur. Spinlerin, RF'in kesilmesinden başlayarak tümüyle fazdışı kalmalarına kadar geçen süre de T2 zamanı olarak anılır.

Durulma zamanı gibi, fazdışı oranları da, görüntülenen dokunun özelliklerine bağlı olarak değişir; ancak bu özellikler T1 durulma zamanını etkileyen özelliklerden biraz farklı ve daha karmaşıktır.

MRI görüntülerinin oluşmasındaki bu iki sinyal kaynağı, elde edilecek görüntülerin kalitesindeki belirleyiciler olarak kullanılırlar.

MRI tarayıcı, hasta bedenindeki dokuları, dilimlere, dilimleri de çok küçük parçalara ayırarak, dokunun türünü anlamaya çalışır. Ölçüm parametreleri sayesinde doku türüne, sıvı hareketine ya da ne inceleniyorsa ona ait bilgileri toplar; bu bilgileri birleştirerek iki boyutlu görüntüler ya da 3 boyutlu modeller yaratır.

Hastalık tanılarının konulmasında ya da hastalığın akışının izlenmesindeki yetenekleriyle MRI sistemleri radyoloji alanının vazgeçilemez, etkin bir elemanı olmayı daha uzun yıllar sürdüreceği gibi görünüyor.

Serpil Yıldız

## Uzmanına Sorduk

### -MRI tekniği herkese uygulanabilir mi?

-Günümüz tıbbi görüntülemelerinde kullanılan ve insan vücuduna uygulanan güçlü manyetik alanların, insan vücudunda yarattığı saptanmış biyolojik bir tehlike yok; ama bazı durumlar MRI görüntüleme yararlanabilecek hastalara sınırlama getiriyor. Örneğin, kalp pili olan bir hastanın MRI'ya alınması söz konusu değil. Yüksek manyetik alan, pilin bütün işlevlerini bozarak, hastanın hayatı bir tehlikeyle karşılaşmasına neden olur. Aslında hem yüksek bir manyetik alan uygulaması hem de enerjiye maruz bırakılma gibi nedenlerle, moleküler yapının potansiyel olarak etkilenebilme olasılığı var. Bu nedenle, hamileliğin ilk üç ayını kapsayan dönemdeki anne adayları, MRI'tekniklerinden yararlanamazlar. Sonraki aylarda da, düşük Tesla cihazların kullanımını tercih edilir.

Kalp pili dışında, çeşitli protez ya da vücudunda metal taşıyan kişiler, durumlarına göre, MRI'dan yararlanabiliyorlar. MRI uyumlu geliştirilmiş titanyum ürünler yaygınlaştıkça, yöntemin başarıyla uygulanması kolaylaşıyor.

### -Görüntüyü düzgün elde etmede aksamalar oluyor mu?

-Cihazın, bakım ve kalibrasyon işlemlerinin yapılmaması, hastanın gelişigüzel hareket etmesi gibi bazı nedenler, görüntü kalitesinin olumsuz etkileri.

MRI uygulamalarında, hangi duruşta olursa olsun, tek istenen hastanın kıpırdamadan durması; çünkü MRI, faz kaymalarından yararlanarak, bir hareketin de görüntüsünü alabilme yeteneğinde. Kan hareketleri ve vücut içi sıvıların akış hızları görüntülenmekte.

### -Kaç tür MRI'dan söz edilebilir?

-MRI dediğinizde T1 ve T2 ölçümü ağırlıklı görüntüler var. Bu, sadece anatomi görmek, bir patolojiyi saptamak için kullandığımız teknikler. Görüntülemenin altında difüzyon MRI, MRI anjiyografi, beyin omurilik sıvısı akım MRI'ı, MR spektroskopisi, perfüzyon MRI, fonksiyonel MRI gibi işlevleri farklı teknikler, MR görüntülemenin alt grupları.

### -MRI'ın görüntüleyemediği doku var mı?

-Akciğer görüntülemesinde önemli bir sorun var. Hava da, tıpkı metal gibi etki ederek, görüntü kalitesini bozma eğilimi gösteriyor. Bu yüzden havayla ilgili akciğer, sinüs gibi bölgeler, genellikle inceleme ala-

nının dışında kalıyor. Akciğerde kitle varsa ya da sinüsler, bir tümörle, sinüzitle ya da sıvıyla dolmuşsa, iyi görülebilir. Kabaca sınıflandırmak gerekirse, hastanemizdeki bütün MR görüntülemelerinin genelde %50'sini omurga, omurilik, beyin, baş, boyun kısımlarını içeren sinir sistemi görüntülemeleri; yaklaşık %30-35'ini kas-iskelet sistemi dediğimiz yumuşak dokular ve kemik incelemeleri, %15-20'sini de karın görüntülemeleri kapsıyor.

### -MR görüntüleri sonra niye renklendiriliyor?

-Renklendirme algılamada önemli bir kolaylık sağlıyor. Perfüzyon MRI ve fonksiyonel MRI'ı renkli kodladığımızda, göze ve algıya hitap eder hale dönüştürmüş oluyoruz. Renkli kodlama tamamen bilgisayar yazılımlarıyla yapılabilen uzun ve zahmetli bir iş. Bazen bir renklendirme işleminin iki gün boyunca sürdüğü oluyor. Yazılımlar yardımcıla her gri tonuna bir renk tanımlıyorsunuz. Özellikle kongre sunumlarında, çok güzel renklendirilmiş görüntülerle karşılaşırız ama bu tür renklendirmelerin günlük kullanım açısından pek pratik olduğu söylenemez.

Prof. Dr. Ayşenur Cila  
H.Ü. Hastanesi, Radyoloji Bölümü