

## Derleme

# Intraoperatif Manyetik Rezonans Görüntüleme

## Intraoperative Magnetic Resonance Imaging

Elif AKPINAR<sup>1</sup>, Gülşah ÖZTÜRK<sup>2</sup><sup>1</sup>KTO Karatay Üniversitesi Medicana Tıp Fakültesi Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Konya, Türkiye<sup>2</sup>Acibadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi Acibadem Atakent Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

## ÖZ

Minimal invaziv tekniklere ilginin artmasıyla birlikte girişimsel işlemlerde ve nöroşirürji pratiğinde intraoperatif manyetik rezonans görüntüleme (ioMRG) teknolojisine olan ilgi artmıştır. Özellikle nöroşirürjikal girişimlerde multiplanar, gerçek zamanlı görüntüleme yapılabilmesi ve mükemmel yumuşak doku çözünürlüğü olması nedeniyle oldukça avantajlıdır. Konvansiyonel horizontal alanlı manyetik rezonans görüntüleme (MRG)'de alan oldukça dar olduğu için hastaya ulaşmak zor ve cerrahın manevra kabiliyeti düşüktür. Ayrıca uzun enstrümanların kullanılmasına izin vermez ve operasyon esnasında MRG uyumlu cihazların kullanılmasını gerektirir. Bu nedenlerle girişimsel işlemlerde kullanılmak üzere birçok açık MRG sistemi ve bunlara uygun cerrahi teknoloji geliştirilmiştir. İoMRG manyetik alan gücü 0,12T- 3T arasında değişmektedir. Manyetik alan gücü arttıkça görüntü kalitesi ve fonksiyonel gelişme de artmaktadır. Nöroşirürjikal işlem esnasında çıkarılan tümör miktarının kontrol edilmesi, cerrahiye olan güveni artırmaktadır. Eş zamanlı olarak maksimum tümör rezeksiyonu yapılabilmekte, ek olarak beyin fonksiyonları da korunabilmektedir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** İnteroperatif manyetik rezonans görüntüleme, Girişimsel manyetik rezonans görüntüleme, Nöroşirürjide intraoperatif manyetik rezonans görüntüleme

## ABSTRACT

With the increasing interest in minimally invasive techniques, interest in the use of intraoperative magnetic resonance imaging (ioMRI) technology in interventional procedures and neurosurgical practice has also increased. Such use is especially advantageous in neurosurgical procedures because of real time multiplanar imaging and excellent soft tissue resolution. It is difficult to access the patient and the surgeon's ability to maneuver is low with conventional horizontal fielded magnetic resonance imaging (MRI) systems, due to the narrow area. The technique also does not allow the use of long instruments and requires the use of MRI-compatible devices during operation. Many open MRI systems and appropriate surgical technology have therefore been developed for use in interventional procedures. When using ioMR-guided neurosurgery, the magnetic field strength varies between 0.12T and 3T. As the magnetic field strength increases, the image quality and functional improvement also increase. Controlling the amount of tumor resected during neurosurgical procedures increases the confidence in surgery. At the same time, maximum tumor resection can be performed and the functional areas of brain can be protected.

**KEYWORDS:** Intraoperative magnetic resonance imaging, Interventional magnetic resonance imaging, Intraoperative magnetic resonance imaging in neurosurgery

## ■ GİRİŞ

Yaklaşık 30 yıldır nöroşirürjiyenler beyin üç boyutlu görüntülemesini manyetik rezonans görüntüleme (MRG)'nin yumuşak dokuları görüntülemedeki hassasiyeti sayesinde elde etmiştir (8). Girişimsel yöntemler ve

minimal invaziv işlemlere olan eğilimler cerrahi ve radyolojik alanda MRG kullanımına olan ilgiyi artırmıştır (11). MRG'nin gelişmesiyle birlikte lezyonun yeri belirlenebilmiş, sınırları çizilebilmiş ve güvenli cerrahi yapılabilmıştır (1,9). MRG sistemleri ilerledikçe intraoperatif MRG teknolojisi de geliştirilmiştir (8).



Yazışma adresi: Elif AKPINAR

E-posta: elifbalin@hotmail.com

Hem yüksek dereceli hem de düşük dereceli glial tümörlerde maksimum rezeksiyon hastanın yaşam süresini ve hastaliksız sağ kalım süresini önemli ölçüde uzatmaktadır (2,12). Bu nedenle nöroonkolojik cerrahide intraoperatif MR (ioMRG)'nin yeri çok önemli hale gelmiştir. Ayrıca, ioMRG cerraha operasyon esnasında kranyum açılıp beyin omurilik sıvısı boşaldıktan sonra shift etkisinin geçmesiyle, beyinin gerçek zamanlı görüntülenmesi imkanını da sağlamıştır (6,8). Cerrahinin görüntü rehberliğinde yapılması tümör, vasküler malformasyon ve diğer intraserebral lezyonların cerrahisinde cerrahin başarısını artırmıştır (1).

Konvansiyonel MRG'de, görüntüleme zamanının uzun ve kapalı sistemlerde hastaya ulaşmak zordur dolayısı ile radyolojik ve cerrahi işlemler sırasında kapalı silindirik süperiletken sistem tasarımının kullanımının zorluğu nedeniyle, yeni sistemlerin geliştirilmesine yönelilmiştir (11). İntraoperatif kullanım amacıyla 0.12–3.0T güç aralığında sistemler geliştirilmiştir (9). Günümüzde MRG cihazını ameliyat odasına yerleştirmek veya ameliyat odasının yanına yerleştirmek olarak sayabileceğimiz iki temel yaklaşım vardır (2). Ameliyat odasına yerleştirilen sistemlerde tüm ameliyat ekipmanlarının MRG uyumlu olması gerekir ki bu maliyeti yükseltir. Ancak bazı avantajları da vardır. Eş zamanlı görüntü alınmasını sağlar, hastanın ameliyat masasından alınmasına gerek yoktur ve görüntü alma süresi oldukça kısadır. Daha yaygın kullanılan yöntem MRG odasını ameliyat odasının yanına kurmaktır (2,5). MRG uyumlu cihazların kullanılmasını gerektirmediğinden daha ekonomiktir. Ancak hastayı diğer odaya taşımak için kayan masa ve benzeri sistemler gerektirir. Bu da operasyon süresini uzatır. Her görüntüleme de cerrahinin süresi yaklaşık olarak 10-15 dakika uzar (2).

### Tarihsel Gelişim

Nöroşürjide ve otolaringolojide MRG'nin girişimsel ve intraoperatif işlemlerde kullanılmaya başlanması MRG'nin evrimindeki dönüm noktası olmuştur (11). Dünyada 1994 yılından beri nöroşürjide ioMRG kullanılmaktadır (5,8). Ülkemizde ilk ioMRG sistemi 2004 yılında kullanılmaya başlanmıştır (15). Birçok sağlık merkezinde artık nöroşürjikal girişimlerde ioMRG kullanılmaktadır. MRG'deki gelişmeye paralel olarak anestezi cihazları, hasta monitörleri, cerrahi aletlerde de gelişme olmuştur (11).

Geleneksel yatay alan MRG sistemlerinde, alan çok dar olduğu için, cerraha manevra imkanı ve uzun cerrahi aletleri kullanma imkanı tanınmamıştır (4). Bu amaçla birçok değişik MRG sistemi geliştirilmiştir. Tüm bu sistemlerin intraoperatif ve girişimsel olarak kullanımlarında birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Hangi sistemin daha iyi olduğu konusu tartışmalıdır (4,8,11). Özellikle nöroşürjiyenler tarafından hangi manyetik alan kuvveti sisteminin cerrahi kullanım için en uygun olduğu belirsiz hale gelmiştir (9).

Joletsz ve ark.nın 1995 yılında ilk defa ioMRG alanlarıyla ilgili yaptıkları çalışma bu konuda öncü olmuştur (11). Bu intraoperatif MRG sisteminde cerrahin bobinler arasına girerek işlem gerçekleştirdiği 0,5T çift bobin tasarımıdır (SIGNA SP, General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI) (6,9). Girişimsel işlemler için tasarlanmıştır. İlk olarak 1995 yılında Bringham Kadın Hastanesi'nde nöroşürjikal biyopside kullanılmıştır (1, 9,11).

Daha sonra 1998 yılında Steinmeier ve ark. bu sistemi modifiye edip uygulamışlardır (16). Yine aynı yıl Liu ve ark. Minnesota Üniversitesi'nde 1,5T'lık ioMRG kullanarak iğne artefaktını inceledikleri bir yayın yapmışlardır (12).

ioMRG rehberliğinde nöroşürjide manyetik alan gücü 0,12T-3T arasında değişmektedir. Manyetik alan gücü arttıkça görüntü kalitesi ve fonksiyonel gelişme de artmaktadır (6,9).

### Düşük Alanlı Sistemler

Düşük alanlı sistemler manyetik alan gücü 0,5T'nın altındaki sistemlerdir.

Çok düşük alan gücüne sahip 0,12T ioMRG sistemi (Medtronic Navigation, Minneapolis, MN) cerrahi esnasında başın parsiyel görüntülenmesine ve standart cerrahi aletlerin kullanılmasına izin vermektedir (9,10).

0,15T (Polestar N20) magnetler ameliyat masasının altında bulunur, görüntü alınacağı zaman kaldırılarak ameliyat alanının her iki tarafına yerleştirilir (Şekil 1). Avantajları, konvansiyonel cerrahi aletlerin kullanımına engel değildir, işlem esnasında hastaya ulaşmak oldukça kolaydır, cerrahin magnetler arasında durmasına gerek yoktur (Şekil 2) (8). Dezavantajları ise görüntülenilen alan oldukça dardır. Sadece cerrahi alanın görüntülenmesine izin verir. Tüm kafayı görüntüleme, tarama süresi uzundur ve görüntü kalitesi düşüktür (8).

Açık dikey alanı magneti olan 0,2T ve 0,4T MRG'ler girişimsel işlemlerde büyük kolaylık sağlamıştır. Ancak düşük alanlı MRG'ler hem görüntü alma süresini uzattığı hem de görüntü kalitesi düştüğü için, girişimsel işlemlerde uygun değildir. Bununla birlikte cihazlar kullanılırken oluşan artefaktı minimize indirdikleri için oldukça güvenilir yöntemlerdir (4).

Manyetik alanı 0,064-0,3T arasında değişen biplanar magnet tasarımında, hastaya yanlardan erişimi sağlayacak şekilde yassı manyetik kutuplar arasında pozisyon verilir. Hastaya erişimin derecesini, manyetik kutuplar arasındaki açıklığın miktarı ve hastanın pozisyonu belirler (8,11). Bu tasarımda magnetler arasında vertikal bir boşluk bulunmaktadır. 25-40 cm çaplı iki yatay manyetik kutup arasında hastaya ulaşımı sağlayan bir boşluk mevcuttur.

C kol tasarımı (Siemens MAGNETOM®, Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany) 0,2T MRG'nin modifiye edilmiş halidir. Bu sistem hastaya ulaşım olanağını daha kolaylaştırmıştır (11). Tewari ve ark.nın kullandığı 0,2T MRG sisteminde ameliyathane ve MRG birleştirilmiştir (17). MRG masası ameliyat masası olarak kullanılır ve kurulumu oldukça ucuz ve hastaların kullanımına uygundur. Hem tanı hem de tedavide kullanılır. Ameliyat odasında bir kapı mevcut olup bir tarafında ameliyathane diğer tarafında görüntüleme odası vardır. Cerrahlar ve MRG farklı odalarda bulunur. Hasta, kayan bir sedye ile MRG'nin bulunduğu odaya taşınır (8). Bu tasarımda manyetik kutuplar arasındaki 40 cm'lik boşluk hastanın boyutlarının sınırlandırılmasına neden olabilmektedir (8). Sterilizasyon bir gece önce normal nöroşürji ameliyathanesinde kullanılan formalin ile yapılır. Kafa koili formalin tabletleri kullanılarak sterilize edilebilmektedir. Baş sabitlemek gerekmediği için posterior fossa tümörlerinde bile kullanılabilir. Sekans süresi 1, 31 dakikadır. Hastalara anterior ve posterior girişimsel işlemler

yapılabilir ancak iri hastalarda mesafe dar olduğundan oblik ve lateral dekübit pozisyonunda işlemler yapılamaz (11). Bu açık ioMRG sistemleri kısa delikli silindirik tarayıcı sistemlere göre daha açık görünseler de gerçekte cerrah ile hasta arasındaki mesafe yüksek alanlı sistemlerdeki ile aynıdır (8).

### Orta Alanlı Sistemler

0,5T çift bobin tasarımı (SIGNA SP, General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI) özellikle girişimsel işlemler için tasarlanmıştır (8,11). MRG sistemi cerrahın bobinler arasına girerek işlem gerçekleştirdiği sistemdir ve orta alanlı MRG sistemlerinin prototipidir (9,10). Silindirik sistemlerin santral segmenti kaldırılarak cerraha, hastaya yukarıdan ve görüntüleme sisteminin merkezinden yaklaşmaya olanak sağlamıştır (9-11). Bu sistemde 2 büyük silindirik magnet vardır (8). Bu magnetler arasına cerrah ve hasta girer (8). Her magnet yaklaşık 30 cm çapında homojen manyetik alan oluşturur. Süperiletken magnetler arasında cerrahın hastaya hem yatay hem de dikey ola-



**Şekil 1:** Düşük alanlı sistemlerden T.C. Sağlık Bakanlığı Ankara Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesinde kullanılan polestar N20 ioMRG sistemi (Resim kurgusu Dr. Yusuf İzci).



**Şekil 2:** Düşük alanlı sistemlerden Sağlık Bakanlığı Ankara Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesinde kullanılan polestar N20 ioMRG sistemi (Resim kurgusu Dr. Yusuf İzci).

rak yaklaşım işlem yapabileceği yaklaşık 54-56 cm'lik boşluk mevcuttur (8,9,11). 0,5T manyetik alan sistemi görüntüleme süresinin daha uzun ve görüntü kalitesinin daha düşük olmasına neden olmuştur. Temel avantajı sterotaksinin cerrahi alanda yapılabilmesidir. Görüntü kalitesi düşüktür ancak tarayıcının içine sokup çıkarma mesafesi oldukça kısadır. Tüm cerrahi manyetik alanda yapıldığı için kullanılan tüm cerrahi aletlerin MRG uyumlu olması gerekmektedir (9).

### Yüksek Alanlı Sistemler

Yüksek manyetik alanlı sistemlerin düşük ve orta manyetik alanlı sistemlere göre avantajı tüm ioMRG sistemlerinde temel olan T1 ve T2 ağırlıklı görüntü alınabilirken, yüksek alanlı sistemlerde (1,5T) MR spektroskopisi (MRS), MR venografi (MRV), MR angiografi (MRA), beyin aktivasyon çalışmaları, fonksiyonel MRG, kimyasal shift görüntüleme, difüzyon ağırlıklı görüntüleme, yağ supresyonu, MR termometri yapılabilmesidir (6,8,9). Cerrahi esnasında MRA ve MRV yapmak vasküler hasarı en aza indirirken, biyopsi esnasında MRS sayesinde tümördeki yüksek fosfokolin miktarını göstermek işlemin güvenilirliğini artırmaktadır (6,8). Dezavantajı ise standart cerrahi aletlerin kullanılamamasıdır (5,8,9). Bu nedenle beyin biyopsisi dışındaki cerrahi işlemin çoğu 5 Gauss çizgisinin dışında yapılır (7,8,9). Çünkü beyin biyopsisi esnasında gerçek zamanlı olarak biyopsi iğnesinin ilerleyişini görmek için hem magnetler arasında hem de magnetlerin arkasından görüntü alınmalıdır (8).

Yüksek alanlı sistemlere örnek olabilecek 3T MRG (Siemens Skyra; İntera, Philips Medical Systems) kapalı yakın manyetik alan sisteminde hastaya ulaşmak oldukça zordur (4). İntraoperatif görüntü alabilmek için ya hastanın magnetlerin içine yollanması ya da magnetlerin hastanın yanına getirilmesi gerekmektedir (9).

Yüksek alanlı sistemlerde artefaktlar görüntü kalitesini bozabilmektedir. Örnek olarak MRG uyumlu iğnelerin normal çapı 2 mm kadar iken artefakt nedeniyle çapı yaklaşık olarak 10 mm olarak görülmektedir (4). Bu artefakt küçük hacimli lezyonlara ulaşmayı zorlaştırmakta hatta imkansız hale getirebilmektedir.

Minnesota Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi'nde kullanılan 3T MRG (İntera, Philips Medical Systems) sisteminde başa yaklaşabilmek için ameliyat masasına bir uzatıcı eklenmiştir. Bu açık ve minimal invaziv kranial prosedürlerin yapılabilmesine olanak sağlamıştır (9). Trendelenburg ve ters trendelenburg pozisyonu mevcut değildir ancak cerrahi sırasında supin ve prone pozisyonlarda ameliyat yapılabilir. Gerçek zamanlı tek kesit görüntü alabilmek için interaktif tarama modu mevcuttur. Bu, beyin biyopsisi esnasında metalik biyopsi iğnesi artefaktını en aza indirmiştir. Tüm cihazların MRG uyumlu olması gerektiğinden hasta MRG'nin içine gönderilirken tüm cerrahi aletlerin alınmış olması gerekmektedir.

Hasta genel anestezi ve entübasyonun uygulandığı alandan 3T MRG odasına nakledilir. Beyin biyopsisi veya kraniyotomi yapılırken cerrahi pozisyonundaki başa iki fazlı radyofrekans koil yerleştirilir. Koillerden biri başın altına diğeri de onun karşısına yerleştirilir. MRG uyumlu işaretleyiciler de burr holün açılacağı veya kraniyotominin yapılacağı tahmini yere uygun olarak skalpe yerleştirilir (5). Sonrasında görüntü alınır. Genel



olarak yüksek alanlı sistemlerde cerrahi esnasında yerin doğruluğunu, kanama olup olmadığını ve yeterince tümör alınıp alınmadığını kontrol etmek amacıyla görüntü alınırken cerrahi drape kullanılır. Radyofrekans koiller arasındaki açıklık kraniotomi için oldukça küçük ancak biyopsi için yeterlidir (5). T1 ağırlıklı görüntüleme yapılırken hastaya kontrast verilir ve cerrah bu esnada ekrandan görüntüyü görebilir.

### **İntraoperatif MRG'nin Kullanım Alanları**

0,15T ioMRG'ların primer kullanım alanı pitüiter tümörler, meningiomlar, gliomlar gibi beyin tümörleridir. 0,2T ioMRG sistemleri gliomların ve pitüiter adenomların rezeksiyonunda fayda sağlamaktadır. Gliom ve pitüiter adenoma cerrahisinde en uygun olan sistem ise 1,5T ioMRG'dir.

### **Beyin şifti**

İntraoperatif MRG kullanılmaya başlanmadan önce kullanılan yöntemlerde görüntüleme operasyondan önce yapılmaktadır. Bu nedenle kranium açıldıktan ve BOS boşaldıktan sonraki beyin şifti hesaba katılmadığı için yanılma oranı yüksektir (6,8, 11). Dura açıldıktan ve BOS boşaltıldıktan sonra, yerçekimi ve ekartasyonun etkisiyle kafa içi yapılar yer değiştirmektedir. Cerrahi nedeniyle oluşan peritümöral beyin ödemi de beyin dokusunu bozarak beyin şiftine neden olmaktadır (8). İntraoperatif teknolojiler operasyon esnasında güncellenmiş görüntüler sağlayarak beyin şiftine bağlı tümörün yer değiştirmesi sonrası yanılma oranını en aza indirmekte ve maksimum tümör rezeksiyonuna izin vermektedir (3,6,9). Bu da özellikle küçük lezyonlarda operasyonun daha başarılı ve güvenli yapılmasını sağlamaktadır (6,11).

### **Tümör rezeksiyonu için kraniotomi**

Yüksek gradeli ve düşük gradeli beyin tümörlerinde tümör derecesinden bağımsız olarak yaşam süresini ve hastaliksız sağ kalım süresini uzatan en önemli faktör maksimum tümör rezeksiyonudur (2,6). Yüksek gradeli tümörlerin infiltratif özellikleri ve yüksek nüks oranları olduğu için maksimum rezeksiyon amacıyla çeşitli teknolojiler kullanılmakta ve bu sayede tutulmamış beyin dokusunun bütünlüğü korunarak maksimum tümör rezeksiyonu yapılabilmektedir (3,12). Yüksek gradeli tümörlerde kontrast sonrası sinyal artışı oluşturan alanların tümünün alınması, düşük gradeli tümörlerde FLAIR sekansında hiperintens alanların alınması maksimum tümör rezeksiyonu olarak adlandırılır (11).

Tümör cerrahisi öncesinde hasta, intraoperatif MRG'nin yapılacağı odaya gönderilmeden önce genel anestezi uygulanıp, entübe edilir. Hasta pozisyonlamasını ve uyutulmasını takiben preop görüntüleme yapılır (2). Operasyon öncesinde kontrast madde kullanımı rezeksiyon sınırlarında cerrahi ile indüklenen T1 hiperintensitesi ve T2 sinyal azalmasına neden olabileceğinden bundan kaçınılmalıdır (2). Hall ve ark.nın kullandığı sistemde hastaya hem MR çekilebilmesi için hem de operasyona uygun pozisyonu vermek için karbon fiber baş tutucu kullanılır (8,9). Baş tıraş etmeden önce MRG'de görülebilen işaretleyiciler yerleştirilir. Kontrast tutmayan (düşük gradeli glial) tümörlerde en iyi sekansın HASTE ve turbo FLAIR sekansların olduğu belirtilmiştir (8,9). MRG odasına yollandıktan sonra yer belirlemek amacıyla preop, doğru yerde olunup maksimum tümörün çı-

karıldığını belirlemek için perop ve kapama esnasında kanama oluşmasını dışlamak için postop görüntüler alınabilmektedir (8).

İntraoperatif olarak görüntü her istenildiğinde alınabilir. Cerrahi alandan kaynaklanan hava-doku artefaktlarını en aza indirmek için serum fizyolojikle dokunun kaplanması gerekmektedir (2). Ancak yüksek alanlı MRG'lerde görüntü almadan önce mutlaka MRG uyumlu olmayan tüm cihazların uzaklaştırılması gerekmektedir.

### **Sterotaksik Beyin Biyopsisi**

Beyindeki lezyonların stereotaksik yöntemler kullanılarak örneklenmesi dünyada 1980'li yılların başından beri yapılmaktadır (7). İntraoperatif MRG eşliğinde özellikle beynin derin bölgelerindeki lezyonların biyopsisi, çerçeve kullanılarak veya çerçevesiz olarak yapılabilir. Biyopsi iğnesini sabitlemek için birkaç cihaz (MRI Devices, Waukesha, WI; Snapper-Sterotaksi Guide, MagneticVision, zurich, Slogics; Melbourne; FL) geliştirilmiştir (8). Preoperatif yapılan 3 boyutlu hesaplamalarda intrakraniyal yapıların şift etkisi nedeniyle kayması sonucunda hedefe ulaşamama ve hayati yapılara zarar verme oranı oldukça yüksektir. Bu da intraoperatif morbidite oranını artırmaktadır. Sterotaksinin tanısal doğruluğu preoperatif konvansiyonel nöronavigasyon sistemleri kullanıldığında %51-%91 arasında değişmektedir (14).

Bu teknolojinin stereotaktik beyin biyopsisine uygulanması, hatalı hedeflemeye bağlı yanlış tanılamayı ortadan kaldıracaktır ve iğne yörüngesi için gerçek zamanlı uyum sağlayabilir. Doğru biyopsi kanül pozisyonu sağlayabilir ve komplikasyonların önlenmesini sağlayabilir (14).

Çerçeve tabanlı stereotaktik beyin biyopsileri, doğruluk, daha kısa cerrahi zaman, daha az komplikasyon ve daha yüksek pozitif biyopsi oranı elde etmek için altın standart prosedürdür (17).

### **Derin Beyin Stimülasyonu**

Hareket bozukluklarında özellikle Parkinson Hastalığı'nda derin beyin stimülatörü (DBS) yerleştirilirken elektrotların doğru yerleştirilip yerleştirilmediğini kontrol etmek için ioMRG oldukça uygun bir yöntemdir (9). Subtalamik nükleuslarda (STN) DBS yerleştirilmesinde mükemmel doğruluk gereksinimi nedeniyle, ilk olarak MRG uyumlu stereotaktik kafa çerçevesi kullanılarak yörünge seçimi ve elektrot geçişi gerçekleştirilmektedir (10).

İşlem esnasında STN'den tek hücre mikroelektrot kaydının yapılabilmesi için hastaya lokal anestezi ve hafif sedasyon uygulanmaktadır. Hedefin belirlenmesinde ve elektrotların yerleştirilmesinde en uygun görüntüler T1 ağırlıklı ince kesit görüntülerdir. Stimülatör yerleştirilmesi 5 Gauss çizgisinin dışında yapıldıktan sonra 3 boyutlu görüntüler alınır (9,10).

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte çerçeve eşliğinde stereotaksik (hareket bozukluklarında kullanılan DBS dışındaki prosedürlerde) yerini çerçevesiz nöronavigasyon sistemlerine bırakmıştır (8).

### **Fonksiyonel MRG eşliğinde tümör rezeksiyonu**

Tümör cerrahisinde ioMRG kullanılmaktaki en önemli amaç

gross total rezeksiyon yapabilmektir. Aktivasyon çalışmaları kullanılarak beynin fonksiyonel korteksinin haritalanması, tümör cerrahisinde cerraha güvenli menzil sağlayarak komplikasyonları azaltır ve iyi sonuçlar alınmasını sağlar (6).

1,5-3T fonksiyonel MRG yardımıyla motor, konuşma ve hafıza merkezleri belirlenerek cerrahi esnasında risk taşıyan bölgelerden uzak durulması sağlanabilir.

### Difüzyon ve perfüzyon MRG rehberliğinde tümör rezeksiyonu

Tümörün hücre zenginliğini, tümör proliferasyonunu gösteren ADC haritalamasında tümörün olduğu bölgede difüzyon kısıtlanması meydana gelir (2).

Perfüzyon MRG'de tümör içi vasküler proliferasyon ortaya konarak tümör derecesi büyük oranda anlaşılabilir ancak net sınır tayini zordur (2).

### ■ SONUÇ

Nöroşirürji pratiğinde ioMRG yaklaşık 30 yıldır kullanılmaktadır (8). Ülkemizde ilk defa 2004 yılında kullanılmıştır (15). Hem düşük gradeli hem de yüksek gradeli tümörlerde hastaliksız sağ kalım ve sağ kalım süresini uzatan en önemli etmen tümörün çıkarım miktarıdır (2). Bunun beynin fonksiyonel bölgelerine zarar vermeden yapılması gerekmektedir (9). Biyopsi yaparken gerçek zamanlı görüntüler alınarak, tümör cerrahisinde hem lezyona güvenle yaklaşmayı hem de doğru patolojik tanı kullanılmasını sağlamıştır. Bu nedenle ioMRG kullanımına da ilgi artmıştır. Klinik pratikte intraoperatif olarak 0,12T ile 3T manyetik alan gücündeki MRG sistemleri kullanılmaktadır (9). Hangi alan sisteminin daha etkili olduğu konusu hâlâ tartışılmaktadır. Özellikle girişimsel işlemlerde, işlem esnasında hastaya yaklaşabilmek ve eş zamanlı görüntü alabilmek için çeşitli açık MRG sistemleri geliştirilmiştir. Düşük alanlı olan bu sistemlerin görüntü kalitesi yüksek alanlı sistemlere göre daha düşüktür (5). Ancak görüntü alma süresi daha kısa, metal artefaktı oranı daha az ve MRG uyumlu cerrahi aletler gerektirmediğinden maliyeti daha düşüktür. 1,5T ve üzerindeki MRG sistemlerine yüksek alanlı sistemler denilmektedir (4). Yüksek alanlı sistemlerde ameliyat odasına bitişik ikinci bir oda mevcuttur. Hasta çekim için kayan bir masayla diğer odaya gönderilmektedir. Her bir çekim operasyon süresini yaklaşık 10-15 dakika uzatmaktadır. Bu süre kaybı bir dezavantajdır. Ayrıca MRG uyumlu cerrahi aletler ve anestezi ekipmanları gerektirdiğinden maliyeti de oldukça yüksektir. Ancak çekim kalitesi oldukça yüksek ve MRTA, MRV, MRS, fMRG sekanslarında görüntüler alınabildiğinden beynin önemli yapılarına zarar verme oranı azalmaktadır (6).

### ■ KAYNAKLAR

- Black PM, Moriarty T, Alexander E 3rd, Stieg P, Woodard EJ, Gleason PL, Martin CH, Kikinis R, Schwartz RB, Jolesz FA: Development and implementation of intraoperative magnetic resonance imaging and its neurosurgical applications. *Neurosurgery* 41:831-842, 1997
- Dinçer A: İntrakranial tümörlerin pre ve intraoperative görüntülenmesi. *Trd Sem* 4: 72-79, 2016
- Eljamel MS, Mahboob SO: The effectiveness and cost-effectiveness of intraoperative imaging in high-grade glioma resection; a comparative review of intraoperative ALA, fluorescein, ultrasound and MRI. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 16:35-43, 2016
- Friebe M, Sanchez J, Balakrishnan S, Illanes A, Nagaraj Y, Odenbach R, Matooq M, Krombach G, Vogele M, Boese A: In-room ultrasound fusion combined with fully compatible 3D-printed holding arm - rethinking interventional MRI. *Med Devices (Auckl)* 11:77-85, 2018
- Hall WA, Galicich W, Bergman T, Truwit CL: 3-Tesla intraoperative MR imaging for neurosurgery. *J Neurooncol* 77:297-303, 2006
- Hall WA, Kim P, Truwit CL: Functional magnetic resonance imaging-guided brain tumor resection. *Top Magn Reson Imaging* 19:205-212, 2009
- Hall WA, Liu H, Martin AJ, Truwit CL: Comparison of stereotactic brain biopsy to Interventional Magnetic-Resonance-Imaging-Guided Brain Biopsy. *Stereotact Funct Neurosurg* 73:148-153, 1999
- Hall WA, Truwit CL: Intraoperative Magnetic Resonance Imaging. *Acta Neurochir Suppl* 109:119-129, 2011
- Hall WA, Truwit CL: Intraoperative MR-guided neurosurgery. *J Magn Reson Imaging* 27:368-375, 2008
- Hall WA, Truwit CL: Intraoperative MR imaging. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 13:533-543, 2005
- Lindner T, Ahmeti H, Juhasz J, Helle M, Jansen O, Synowitz M, Ulmer S: A comparison of arterial spin labeling and dynamic susceptibility perfusion imaging for resection control in glioblastoma surgery. *Oncotarget* 26:18570-18577, 2018
- Liu H, Martin AJ, Truwit CL: Interventiopnal MRI at high-field (1,5T): Needle artifacts. *J Magn Reson Imaging* 8:214-219, 1998
- Mohyeldin A, Lonser RR, Elder BJ: Real-time magnetic resonance imaging-guided frameless stereotactic brain biopsy: technical note. *J Neurosurg* 124:1039-1046, 2016
- Pamir MN, Özdoğan K, Dinçer A, Yıldız E, Peker S, Özek MM: First intraoperative, shared-resource, ultrahigh-field 3-Tesla magnetic resonance imaging system and its application in low-grade glioma resection. *J Neurosurg* 112:57-69, 2010
- Steinmeier R, Fahlbusch R, Ganslandt O, Nimsky C, Buchfelder M, Kaus M, Heigl T, Lenz G, Kuth R, Huk W: Intraoperative magnetic resonance imaging with the magnetom open scanner: Concepts, neurosurgical indications, and procedures: A preliminary report. *Neurosurgery* 43:739-747, 1998
- Sun X, Chen Z, Yang S, Zhang J, Yue S, Wang Z, Yang W: Role of high-field intraoperative magnetic resonance imaging on a multi-image fusion-guided stereotactic biopsy of the basal ganglia: A case report. *Oncol Lett* 9: 223-226, 2015
- Tewari VK, Tripathi R, Aggarwal S, Hussain M, Das Gupta HK: Intraoperative Magnetic Resonance Imaging for cranial and spinal cases using preexisting "C" shaped three side open 0.2 Tesla Magnetic Resonance Imaging. *Asian J Neurosurg* 12:691-694, 2017