

Derleme

Nöroşirürjide İntraoperatif Manyetik Rezonans Görüntüleme (İo-MRG): Avantaj ve Dezavantajları

Intraoperative Magnetic Resonance Imaging in Neurosurgery (Io-MRI): Advantages and Disadvantages

Naci BALAK

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Göztepe Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, İstanbul, Türkiye

ÖZ

Nörolojik morbiditeyi artırmadan patolojik lezyonların total rezeksiyonun sağlanması için intraoperatif rezeksiyon kontrolü giderek daha önemli hale gelmiştir. İntraoperatif manyetik rezonans görüntüleme (İo-MRG) patolojik lezyon sınırlarını intraoperatif tanımlamaya ve cerrahın oryantasyonunu düzeltmeye yardımcı olabilir. İo-MRG kullanarak bir kranyal nöroşirürjikal girişim 1995 yılında Boston'da Dr. Black ve ekibi tarafından yapıldı. Ameliyat sırasında beyin shifti ile cerrahi rezeksiyonun derecesini tayin etme ve cerrahi sırasındaki kanama, infarkt ve ödem gibi komplikasyonları değerlendirebilme imkanı gibi birçok faktör İo-MRG'nin doğuşunda etkili olmuştur. Başlıca iki farklı İo-MRG tasarımı vardır: Boston ve Heidelberg tasarımları. Boston tasarımında tüm cerrahi MRG cihazı içinde yapılır. Heidelberg tasarımında ise ameliyathane ile görüntüleme odası birbirinden ayrılmıştır. GE, Siemens, Phillips, Medtronic ve Hitachi İo-MRG'nin endüstri liderleridir. Piyasaya yeni giren firmalar için yüksek teknik engeller vardır. Başlangıcından bu yana İo-MRG hem çocuklarda hem de erişkinlerde sadece nöroonkolojik cerrahide değil aynı zamanda nörovasküler, spinal, stereotaktik, ve fonksiyonel cerrahide de başarıyla kullanılmıştır. Ancak İo-MRG halen pahalı bir yöntemdir ve ameliyathanede ekstra güvenlik koşullarını gerektirir. Bununla beraber hızla ilerleyen teknolojiyle kullanımının yaygınlaşması beklenebilir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Ameliyathane, İntraoperatif MRG, Manyetik rezonans görüntüleme, Nöroşirürji

ABSTRACT

Intraoperative resection control has become important for total resection of lesions without increasing neurological morbidity. Intraoperative MRI (Io-MRI) may help to identify the borders of pathologic lesions intraoperatively and correct the surgeon's orientation. A cranial surgery using Io-MRI was first performed in Boston in 1995 by Black and his team. Many factors such as the possibility of assessment of the brain shift and the degree of surgical resection, as well as evaluating the possibility of complications such as bleeding, infarction and edema during surgery were effective in the emergence of Io-MRI. There are two main Io-MRI designs: Boston and Heidelberg. In the design of Boston, all of the surgery is performed in the MRI device. In the Heidelberg design, the operating and imaging rooms are separated. GE, Siemens, Phillips, Medtronic and Hitachi are leaders of the Io-MRI industry. There are high technical barriers for new entrants in the industry. Io-MRI has been used successfully in both children and adults, not only in neuro-oncological surgery but also in neurovascular, spinal, stereotactic and functional surgery. Although Io-MRI is still expensive and requires extra safety conditions in the operating room, its use can be expected to become widespread with the rapidly advancing technology.

KEYWORDS: Operating room, Intraoperative MR, Magnetic resonance imaging, Neurosurgery



Yazışma adresi: Naci BALAK
E-posta: naci.balak@gmail.com

■ GİRİŞ, TANIMLAMA, TARİHSEL SÜREÇ

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG), intrakraniyal patolojilerde kitlenin büyüme derecesinin belirlenmesinde ve tedaviye karar vermede tercih edilen bir radyolojik tanı yöntemi haline geldiğinden, bu bilginin intraoperatif mevcudiyeti de istenilen bir durumdur (10,17). Birçok intrakraniyal tümörün sınırları en iyi MRG ile görüntülenir. Cerrahi tekniklerin geliştirilmesi ile birçok intrakraniyal tümörde birincil terapötik yaklaşım olarak morbitideyi azaltan ve sağkalımı artıran güvenli radikal rezeksiyon bir hedef olarak ortaya çıkmıştır. Bu gelişmeler intraoperatif rezeksiyon kontrolünü giderek daha önemli hale getirmektedir. Bu noktada ultrason veya bilgisayarlı tomografi (BT) gibi diğer üç boyutlu (3D) görüntüleme yöntemleri gibi intraoperatif manyetik rezonans görüntüleme (İo-MRG) patolojik lezyon sınırlarını intraoperatif tanımlamaya ve cerrahin oryantasyonunu düzeltmeye yardımcı olabilir. Operasyon sırasında yer değiştiren anatomik yapıların İo-MRG ile tanınması ve ek olarak nöro-navigasyon sistemleri ile bu bilgilerin güncellenmesi cerrahin patolojik dokuları güvenli bir şekilde çıkarmasına yardımcı olur. Ameliyat sırasında beyin şifti ile cerrahi rezeksiyonun derecesini tayin etme ve cerrahi sırasındaki kanama, infarkt ve ödem gibi komplikasyonları değerlendirebilme imkanı gibi birçok faktör İo-MRG'nin doğusunda etkili olmuştur.

İntraoperatif MRG ilk kez 1994 yılında Boston'da Brigham and Women's Hastanesi ile General Electric Medical Systems (SIGNA SP, General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI, USA) şirketinin işbirliği neticesinde ortaya çıktı (15). İntraoperatif MRG kullanarak bir intrakraniyal kitleye yönelik ilk cerrahi 1995 yılında yine Boston'da Dr. Black ve ekibi tarafından yapıldı (1). Bu ilk cerrahide kullanılan İo-MRG cihazı bir GE 0.5 tesla Signa sistemiydi ve ameliyat direkt olarak MRG cihazı içinde yapılmıştı ve bu nedenle cerrahi aletlerin tümü ferromanyetik olmayanlardan seçilmişti. Bu cihaz "double doughnut (çift halka)" modeli şeklindeydi ve iki dairesel magnet içindeki ameliyat masasının her iki yanında cerrah için 58 cm. kadar yatay çalışma alanına izin veriyordu (15). Cerrah MRG görüntülerini ameliyathanedeki bir monitörden görebiliyordu. Avrupa'da Erlangen'de 1996 yılında Fahlbusch ve Steimmeier ilk kez 0.2 Tesla açık İo-MRG cihazından yararlanarak bir sellar tümör rezeksiyonu yaptılar (6). Ülkemizde ilk kez 2004 yılında İstanbul'da Pamir İo-MRG kullanarak bir cerrahi yaptı (17).

Başlıca iki farklı İo-MRG tasarımı vardır: Boston ve Heidelberg tasarımları (10). Boston tasarımında tüm cerrahi MRG cihazı içinde yapılır. Heidelberg tasarımında ise ameliyathane ile görüntüleme odası birbirinden ayrılmıştır. Boston tasarımının avantajı hastanın ameliyat sırasında transportuna gereksinim olmadan görüntüler alınabilmesidir. Ancak çalışma alanı kısıtlıdır ve ameliyathanenin tümünde ferromanyetik olmayan cihaz ve aletlerin kullanılması şarttır. Yüksek teslalı cihazlar çalışma alanını daha fazla kısıtladığı için Boston tasarımında genellikle düşük teslalı cihazlar (≤ 1 T) tercih edilir, ancak çekim süresi tesla düşüğe uzamaktadır. Heidelberg tasarımında ise daha yüksek teslala (≥ 1.5) cihazları kullanılabilir ve ameliyathanede ferromanyetik cihaz ve aletlere ihtiyaç yoktur, ayrıca MRG cihazı ameliyathane dışında hastaların standart tanılal tetkikleri için de kullanılabilir ve ekonomik

yönden avantajlı olabilir. Buna karşın anestezi altındaki hastanın ameliyata ara verilip görüntüleme ünitesine zahmetli transportu gerekmektedir. Bununla beraber her iki tasarımda da gelişmeler devam etmektedir. Tesla gücünün artması hem daha kaliteli görüntüler sağlar, hem de gros total rezeksiyon oranlarını yükseltir. Çok merkezli geniş bir retrospektif çalışmada düşük evreli glial tümör rezeksiyonlarında düşük teslalı İo-MRG kullanıldığında %57, yüksek teslalı İo-MRG kullanıldığında ise %85 gros total rezeksiyon sağlandığı bildirilmiştir (3).

Son iki dekatta MRG teknolojilerinde büyük ilerleme olmuş ve modern beyin cerrahisinde, intraoperatif fonksiyonel MRG (f-MRG), difüzyon tensör görüntüleme (DTI), yanı sıra lezyonun fizyolojik ve metabolik özelliklerinin kantitatif ölçümlerine dayanarak ek bilgi sağlayan İo-MRG-perfüzyon ve İo-MRG-spektroskopisi de uygulanabilmektedir. Dahası yeni bir MRG yöntemi geliştirmiş ve bunda kan oksijen seviyesine bağlı (BOLD) sinyallerin nicel değerlendirmesi yoluyla doku oksijenasyonunu haritalanması intraoperatif olarak mümkün olmuştur (23). Fakat, son birkaç yılda, İo-MRG global pazarı, yüksek teknoloji ve pahalı fiyat nedeniyle nispeten yavaş olarak gelişmektedir. İntraoperatif MRG'nin global ortalama fiyatı çok pahalıdır; satışlar 2015 yılında birim başına 2.69 milyon ABD doları olarak gerçekleşmiştir (9). Küresel İo-MRG pazarı 2017 yılında 66 milyon ABD doları olarak hesaplanmıştır. Teknoloji durumu ile önümüzdeki birkaç yıl içinde fiyatların önemli ölçüde düşmesi beklenmemektedir. GE, Siemens, Phillips, Medtronic ve Hitachi İo-MRG'nin endüstri liderleridir. Piyasaya yeni giren firmalar için yüksek teknik engeller vardır.

■ INTRAOPERATİF MRG KULLANIM ALANLARI

Başlangıcından bu yana İo-MRG hem yetişkin hem de pediatrik hastalarda kranyal ve spinal lezyonların cerrahisinde kullanılmıştır. Bunlar arasında başta açık mikrocerrahiyle supratentoryel ve intramedüller astrositik tümör rezeksiyonları olmak üzere sellar kitlelerde transsfenoidal endoskopik/mikroşürjikal tümör rezeksiyonları, stereotaktik ve fonksiyonel girişimler, vasküler lezyonların cerrahisi, epilepsi cerrahisi, beyin omurilik sıvısı şant cerrahileri gibi birçok nöroşürjikal prosedür sayılabilir (24,25).

Gliomalar

İntraoperatif MRG kenarları belirgin klivaj veren menenjiyom gibi tümörlerin rezeksiyonunda standart cerrahiye çok az ek yarar sağlar. Glial tümörlerin ve özellikle glioblastoma cerrahisinde de rezeksiyonun başlangıcında cerrahi mikroskop altında normal ve patolojik dokuyu ayırt etmek genellikle kolaydır. Bununla birlikte, glial tümörlerde rezeksiyonun çoğu yapıldıktan sonra ameliyatın son evrelerinde küçük kalıntılarla uğraşırken normal ve patolojik doku arasındaki ayırım genellikle daha zor hale gelir ki böyle durumlarda, İo-MRG çok faydalı olabilir.

Glioma cerrahisinde ya da genel anlamda intrakraniyal tümör cerrahisinde üç farklı amaç için İo-MRG görüntüleme istenir: 1) Cerrahi bir hedefe ulaşıldığını doğrulamak (gros total rezeksiyon), 2) şüpheli bir tümör kalıntısını belirlemek ve çıkarmak, ve 3) beyin şifti durumunda navigasyon sistemini güncellemek (9). Glioma cerrahisinin hedefi, tümör

rezeksiyonu düzeyini maksimize ederken postoperatif nörolojik morbiditeden kaçınarak sağ kalımı iyileştirmektedir. Mevcut literatürde, sağ kalımı iyileştirmek için gliyal tümörlerde gros total rezeksiyonların rolünü destekleyen kanıtlar giderek artmaktadır (7). Ancak glioma cerrahisinin hedefi, sadece sağ kalımı iyileştirmek değil, aynı zamanda kabul edilebilir bir yaşam kalitesinin zamanını da artırmaktır. Bu amaçlarla İö-MRG'nin tümör rezeksiyon derecesinin nörolojik morbiditeyi artırmadan maksimize edilmesinde yararlı olduğu gösterilmiştir (7). Örneğin, prospektif randomize-kontrollü bir çalışmada postoperatif nörolojik defisitlerde bir fark olmaksızın, konvansiyonel cerrahi grubuna göre İö-MRG yardımıyla cerrahi yapılan grupta 6 aylık progresyonsuz sağ kalımda belirgin bir artış olduğu bildirmiştir (7). Ancak kesin sonuç çıkarmak için, tüm hastaların benzer bir MRG cihazıyla ve aynı radyolojik protokolle araştırılması gerekir. Örneğin 1.5- ve 3-T İö-MRG cihazları farklıdır. 1.5-T MRG daha düşük bir uzaysal çözünürlük sunar ve rezidü tümör kısımlarını 3-T MRG'ye göre daha fazla gözden kaçırabilir, buna karşın 3-T MRG'de daha fazla artifakt vardır. Bir diğer çalışmada İö-MRG yardımıyla ameliyat yapıldığında rezeksiyon derecesinin kontrastlanan gliomalarda %84'den %99'a, kontrast tutmayan gliomalarda %63'den 80'e kadar yükseldiği gösterilmiştir (7). İö-MRG yardımıyla yapılan cerrahi geleneksel cerrahiden daha fazla zaman alır ve maliyeti genellikle daha yüksektir. Bununla birlikte, rezidüel tümör veya olası kanama ve iskemi gibi komplikasyonların intraoperatif farkedilmesi daha sonraki ameliyatları önleyebilir ve hastanede kalma süresiyle tedavi maliyetini azaltabilir. İö-MRG ile bilgisayarlı tomografi veya ultrason gibi diğer intraoperatif görüntüleme yöntemlerinin glioma cerrahisinin sonuçları üzerine gerçek etkisini kıyaslayabilmek için güçlü, prospektif kontrollü çalışmalar gereklidir.

Preoperatif görüntüleme yöntemine dayanan konvansiyonel nöronavigasyonla cerrahi sırasında lezyonların doğru lokalizasyonu sağlanabilmekle beraber ameliyat sırasında beyin şifetine bağlı görüntü kayması intraoperatif görüntüleme olmadan düzeltilemez. Bir çalışmaya göre, operasyon sırasında tümör kalıntısını yanlış değerlendirme oranı sıklığı %45 bulunmuştur (13). İö-MRG lezyon rezeksiyonunun gerçek zamanlı ilerlemesine ve cerrahin operasyon planını gerektiğinde modifiye etmesine olanak sağlar. Bir lezyonun piramidal yol gibi önemli yapılara bitişik olması durumunda İö-MRG ile DTI yapılması kritiktir. Bir diğer örnek olarak, konuşma merkezi komşuluğundaki gliomaların rezeksiyonunda İö-MRG ile fonksiyonel MRG uygulaması cerrahinin yönlendirilmesinde önemli bir rol oynar. İntraoperatif MRG kullanımı ameliyat süresini uzatmasına rağmen enfeksiyon oranında herhangi bir artışa neden olmamaktadır (5,13).

Glioblastoma cerrahisinde rezidüel tümörün saptanmasında İö-MRG intraoperatif konvansiyonel ultrasonografiden daha üstündür (4). Konvansiyonel ultrasonografi ameliyatta çok fazla artifakt oluşturmaktadır. Ancak lineer array intraoperatif ultrasonografi 1.5 teslali İö-MRG ile elde edilen sonuçlara benzerlik göstermiştir (4). İntrakraniyal cerrahiye uygun daha küçük ultrason problemlerini geliştirilmesiyle İö-MRG cihazlarına kıyasla daha az maliyetli olan lineer array ultrasonografi tercih edilebilir. Bununla beraber glioblastoma cerrahisinde

İö-MRG'nin spesifikliği lineer array ultrasonografiden daha fazladır. Glioblastoma cerrahisinde her iki yöntemin birlikte kullanılması en ideali olabilir.

Arteriovenöz Malformasyonlar (AVM)

İntraoperatif MRG AVM cerrahinde iyi klinik sonuçları artırabilir (19). Arteriyel besleyicilerin morfolojisi ve giriş noktalarını anlamak, özellikle daha geniş besleyiciler olduğunda, kalıcı klip uygulamak için normal beyin parankimine giden kollateral dallardan kaçınarak en güvenli ve en uzak noktayı bulmak için önemlidir. AVM diseksiyonu ve rezeksiyonu sırasında nidusun en derin bölümünü ortaya koymak ve kontrolünü sağlamak en zor olan işlemdir. İntraoperatif MRG, preoperatif bilgisayarlı tomografi anjiyografi (BT-anjiyo) ve manyetik rezonans anjiyografi (MRA) görüntülerine dayalı olan preoperatif planlamanın dinamik manipüle edilebilmesine ve güncellenmiş rekonstrüksiyonlar elde edilmesine olanak sağlayabilir. Böylece İö-MRG arteriyel besleyicilerin morfolojisini, giriş noktalarını ve nidusun 3-boyutlu morfolojisini güncellenmiş olarak anlamaya olanak verebilir. Tabii ki İö-MRG, rezeksiyonun derecesini intraoperatif olarak kontrol etme şansını da verir ki bu da çok önemlidir. Zor anatomik ve karmaşık AVM'lerde bile birincil kısmi rezeksiyonlarda, kalıntı AVM ve besleyicileri ile drenaj damarları intraoperatif taramayla belirlenip rezekte edilebilir. İntraoperatif MRG, cerrahide doğrudan tespit edilemeyen olası ek arteriyel besleyicileri ve AVM ile ilişkili anevrizmaları belirlemek için intraoperatif manyetik rezonans anjiyografi (MRA) görüntüleme gerçekleştirme imkanını sağlar. Ayrıca, bölgesel iskeminin oluşumunu ve genişlemesini değerlendirmek için intraoperatif difüzyon ağırlıklı bir görüntüleme (DWI) gerçekleştirme olanağı sağlar.

Dural Arteriovenöz Fistüller

İntraoperatif MRG nöro-navigasyonla birlikte dural arteriovenöz fistüllerin cerrahi tedavisinde son derece yararlıdır (19). Tüm şant noktalarını ve hedef venöz sinüsün seyirini 3 boyutlu bir model şeklinde rekonstrükte ederek belirlemek mümkündür. Bu özellik, sinüsleri korumak ve tüm şant alanını yeterince geniş ölçüde açığa çıkartmak için son derece keskin ve güvenli bir minimal invazif kraniyotomi gerçekleştirilmede çok önemli olabilir. İşlemin sonunda, intraoperatif bir MRA yoluyla şantın ortadan kaldırıldığı ve olası ek besleyicilerin olup olmadığı kontrolü mümkündür. Dural venöz akımın hem şantın hem de normal beyin dokusunun drenajını sağladığı durumlarda beyin dokusunun hasar görüp görmediği kontrol edilebilir.

Intrakraniyal Kavernöz Anjiyomlar

İntraoperatif MRG'nin intrakraniyal neoplastik lezyonların ameliyatı için bilinen cerrahiye kolaylaştırıcı özellikleri kavernöz anjiyomların cerrahisi için de geçerlidir. Kavernöz anjiyomların MRG bulgularının özelliği göz önüne alındığında gradient eko veya T2 ağırlıklı sekanslarla bir İö-MRG taramasının faydalı olacağı açıktır. Böylece rezeksiyon derecesinin intraoperatif kontrolü ve kalıntılarının çıkarılabilmesi olanağı sağlanabilir. İntraaksiyal tümörlerin cerrahisinde olduğu gibi intraoperatif akmadde yollarını DTI ile görmek mümkün olduğundan İö-MRG yardımıyla cerrahi sırasındaki beyin şifiti sorunu elimine edilip lezyona en güvenli cerrahi yaklaşım yolu seçilebilir (19).

İntrakranyal Anevrizmalar

Anevrizma cerrahisinde ana damarların açıklığını doğrulamada İö-MRG-anjiyografi'nin ümit verici bir potansiyeli vardır. (19) Ancak bu tetkikin klip pozisyonuna bağlı artefaktlardan etkilenmeden elde edilmesi klasik time-of-flight (TOF) MRG-anjiyografiden ziyade gadolinyum ile güçlendirilmiş volümetrik MPRAGE (Magnetization Prepared Rapid Acquisition Gradient Echo) sekanslarının maksimum yoğunluk projeksiyonu ile mümkündür. İskemiye göstermede intraoperatif difüzyon ağırlıklı (DWI) MRG'dan elde edilen ultra-erken bilginin gerçek klinik etkileri henüz araştırma konusudur. Bu nedenlerle damar açıklığını kontrolde anlık bilgi veren ultrasonik Doppler mikrocerrahi problemleri İö-MRG'den daha faydalı sonuçlar verir ve klipi yeniden konumlandırma zorunluluğunu ortaya koyabilir. İntraoperatif DWI MRG için en az 20-30 dakika gerekse de cerrahin Doppler probu ve İö-MRG-anjiyografi (MPRAGE anjiyografi) ile elde ettiği bilgiyi teyit etmesi olanağı vardır. Ayrıca, intraoperatif DWI MRG rüptüre anevrizmada yoğun subaraknoid kanamalara, vasküler oklüzyona bağlı iskemiye ve potansiyel vazospazma ait önemli bilgiler sağlar.

Suprasellar Lezyonlar

Hipofiz adenomlu 96 hastadan oluşan bir çalışmada endoskopik ve mikroşirürjikal transsfenoidal cerrahinin rezeksiyon derecesine etkisi İö-MRG öncesi ve sonrası olarak incelenmiş ve sonuçta İö-MRG'nin transsfenoidal mikrocerrahide endoskopik yaklaşımdan çok daha fazla rezektabl tümör kalıntısı olduğunu ortaya koyduğu bildirilmiştir (16). Bu etki daha az invaziv hipofiz adenomları durumunda daha da belirgindir. Yine de bu her iki cerrahi teknikle de İö-MRG ile daha iyi sonuçlar sağlanmıştır. Bununla beraber kalıntı tümörlerin çıkarılmasında endoskopik yöntem daha iyi görüş alanı sağladığı için rölatif olarak İö-MRG'nin faydası transsfenoidal mikrocerrahi yönteminde elde edilenden daha fazla olmuştur.

Stereotaktik ve Fonksiyonel Cerrahi

Stereotaktik biyopsi için İö-MRG'yi uyarılama mantığı, örnekleme aletinin doğru ve güvenli bir şekilde yerleştirilerek körlemesine değil görüntü kontrollü bir ameliyat yapılmasını sağlamasından kaynaklanır. Stereotaktik beyin biyopsisi, düşük teslali bir İö-MRG ortamında rutin bir prosedür olarak yapılabilir (22). İö-MRG cerrahin beyin şifti sorunundan kaçınmasını, gerektiğinde yeni görüntülerle hedefleme yapmasını ve intrakraniyal kanama olup olmadığını anlamasını sağlar.

Hem kompleks hem de basit beyin abselerinin stereotaktik cerrahi tedavisinde de İö-MRG hacimsel ve morfolojik olarak absenin total boşaltıldığının kontrolünde yararlı bulunmuştur (18). Beyin apselerinin tipik MRG görüntüleri vardır. Kontrastlı T1 ve difüzyon ağırlıklı kesitler kolaylıkla elde edilip absenin kalıntıları net bir şekilde fark edilebilir. Yüksek teslali bir İö-MRG nöro-navigasyonun doğruluğunu artırır ve ortalama hatayı $0,79 \pm 0,25$ milimetreye kadar düşürür (18).

Parkinson hastalığında subtalamik nukleus derin beyin stimülasyonunda mikroelektrod kaydı kılavuzuyla yapılan cerrahi ile İö-MRG kılavuzluğunda yapılan cerrahi kıyaslandığında bir yıllık takiplerde komplikasyonlar dahil birbirlerine açık bir üstün-

lükleri bulunmamıştır (12). Ancak yine de mikroelektrod yolu sayısı ile ilişkili olarak artan intrakranyal kanama riski nedeniyle İö-MRG kılavuzluğunda yapılan derin beyin stimülasyonu cerrahisi daha güvenli uygulanabilir bir yöntem olabilir.

Epilepsi Cerrahisi

Epilepsi cerrahisinde de İö-MRG'nin yararlı etkisi bildirilmiştir. Hem erişkinlerde hem de çocuklarda fokal kortikal displazi tip II epilepsi cerrahisinde İö-MRG'den yararlanıldığında nöbetsiz hasta oranının daha fazla olduğu bulunmuştur (20). Epilepsi cerrahisinde İö-MRG taraması yapılırken total rezeksiyon oranı hassas bölgelerde dahi artmaktadır. Bir çalışmaya göre, İö-MRG kullanmadan yapılan ameliyatlarda lezyonun total çıkarım oranı daha az olup ameliyat sonrası nöbetsiz hasta oranı %38 iken, İö-MRG kullanılırken total rezeksiyon oranı artmakta ve nöbetsiz hasta oranı %73'e yükselmektedir (20).

Pediyatrik Nöroşirürji

Pediyatrik nöroşirürjide İö-MRG küçük tümörlerle etrafında ödem olan büyük tümörlerin rezeksiyonunda, kateter ya da şant yerleştirirken hedefin küçük olduğu durumlarda ve şantın doğru yerleştirildiğinin teyit edilmesinde idealdir (14). Bir istisna olarak "double doughnut" tasarımındaki İö-MRG cihazlarının kısıtlı operasyon ortamına izin vermesi bu sistemin posterior fossa yaklaşımlarında uygulanmasını engellemektedir. Buna rağmen low-field PoleStar (Medtronic Surgical Navigation Technologies, Louisville, USA) ve Heidelberg tipi İö-MRG tasarımları sistemleri daha fazla cerrahi alan serbestliğine izin verdiğinden başarılı posterior fossa operasyonları gerçekleştirilmiştir. Çocuklarda İö-MRG gliomalar, hipofiz adenomları ve kraniyofarinjomaların tedavisinde rezeksiyonun derecesini artırmak için güvenli ve etkili görünmektedir (8).

Ameliyathanede İö-MRG Kullanımı Güvenlik Kılavuzu

Cerrahide güvenlik anahtar kavramdır. İö-MRG genellikle iyi bir güvenlik profiline sahip olmakla beraber, ameliyathanede güçlü manyetik alan yaratması potansiyel olarak tehlikeli bir ortam oluşturmakta ve bu nedenle katı güvenlik kuralları gerektirmektedir (24). Bu amaçla tanımlanmış çeşitli güvenlik kılavuzlarından biri "İö-MRG güvenliği için Zürih Kontrol Listesi" adı altında 2018'de Stienen ve ark. tarafından yayınlanmıştır (24). Güvenlik uyarılarına örnek olarak, uyarılmış motor ve duyuşsal potansiyelleri izlemede kullanılan iğne elektrotları gibi çeşitli nöro-monitörizasyon aygıtları görüntüleme öncesinde çıkarılmadıkları takdirde potansiyel tehlike oluştururlar, termal yaralanmalara neden olabilirler. Elektrokoter plakları, metal içeren sıvı toplama torbaları, metal havlu klempeleri gibi tüm ferromanyetik aletlerin İö-MRG tetkiki öncesi hasta üzerinden çıkarılması gerekir.

Anesteziyolojiye ait kurulum da ayrı bir önem içermektedir. American Society of Anesthesiologists'in en son yayınlanan uygulama önerisinde, manyetik olarak aktif ortamlarda hem statik / gradyan manyetik alandan hem de radyofrekans enerjisinden kaynaklanan tehlikeler nedeniyle anestetik yönetimi ve izlemenin hâlâ zorlayıcı olduğu iddia edilmiştir (11). Preoperatif değerlendirmeden önce, nöroanestezi ekibine İö-MRG yardımıyla cerrahinin planlandığı bildirilmelidir. Cerrahi ve İö-MRG aynı odada gerçekleştiriliyorsa MRG ortamında

kullanılmak üzere onaylanmış özel anestezi makineleri kullanılmalıdır. Manyetik alanda elektrokardiogramda elektrik parazitlerine bağlı ST değişiklikleri gözlenebilir (21). Her ne kadar ameliyathane ortamında İo-MRG kullanımıyla ilgili majör ters etkiler nadir olmakla birlikte, ters etkilerin oranı genellikle olgu serilerinde bildirilmiş olup kontrol gruplu prospektif çalışmalara ihtiyaç vardır. Elektrofizyolojik monitörizasyon ve fonksiyonel haritalama ile uyanık kraniyotomi, halen hassas beyin bölgeleri komşuluğundaki lezyonların cerrahisinde altın standarttır (11). Bu durumda potansiyel faydaları olan intraoperatif fonksiyonel MRG kullanılarak uyanık kraniyotomi yapılabilir, ancak güvenli hava yolu desteği olmadan hastayı gantry açısında tutmak epileptik nöbet, kusma gibi durumlarda riskli olabileceğinden dikkatli gözlem gerekir (11). Son olarak, İo-MRG olan ortamda cerrahi simülasyonu eğitimi, ameliyathane personelinin olası komplikasyonları öngörmesini ve önleyebilmesini sağlayabilir. Örneğin, ani kalp durması ve kardiyopulmoner resüsitasyon senaryoları acil durumlarda MRG eşliğinde nöroşirürjik müdahaleler geçiren hastaların etkili yönetimi için gerekli becerilerin geliştirilmesine yardımcı olabilir (2).

■ SONUÇ

Hasta güvenliği cerrahinin temel kavramıdır. Birçok intrakraniyal tümörde güvenli radikal rezeksiyon sağkalımı artıran bir hedeftir. Bu nedenle nörolojik morbiditeyi artırmadan total rezeksiyonun sağlanması için intraoperatif rezeksiyon kontrolü giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu amaçla, MRG nöroşirürjide halen birçok patolojik lezyonu en iyi gösteren radyolojik tanı yöntemi olduğundan ameliyathanede kullanılması etkin ve güvenli cerrahi tedavide son derece yararlıdır. 1995 yılından beri hem çocuklarda hem de erişkinlerde sadece nöroonkolojik cerrahide değil aynı zamanda nörovasküler, spinal, stereotaktik, ve fonksiyonel cerrahide de başarıyla kullanılmıştır. Ancak İo-MRG halen pahalı bir yöntemdir ve ameliyathanede ekstra güvenlik koşullarını gerektirir. Bununla beraber hızla ilerleyen teknolojiyle kullanımının yaygınlaşması beklenebilir.

■ KAYNAKLAR

1. Black P, Jolesz FA, Medani K: From vision to reality: The origins of intraoperative MR imaging. *Acta Neurochir Suppl* 109:3-7, 2011
2. Chowdhury T, Bergese SD, Soghomonyan S, Cappellani RB: The role of simulation in planning intraoperative magnetic resonance imaging-guided neurosurgical procedures: A case report. *A A Case Rep* 8:158-160, 2017
3. Coburger J, Merkel A, Scherer M, Schwartz F, Gessler F, Roder C, Pala A, König R, Bullinger L, Nagel G, Jungk C, Bisdas S, Nabavi A, Ganslandt O, Seifert V, Tatagiba M, Senft C, Mehdorn M, Unterberg AW, Rossler K, Wirtz CR: Low-grade glioma surgery in intraoperative magnetic resonance imaging: Results of a multicenter retrospective assessment of the German study group for intraoperative magnetic resonance imaging. *Neurosurgery* 78:775-786, 2016
4. Coburger J, Scheuerle A, Kapapa T, Engelke J, Thal DR, Wirtz CR, König R: Sensitivity and specificity of linear array intraoperative ultrasound in glioblastoma surgery: A comparative study with high field intraoperative MRI and conventional sector array ultrasound. *Neurosurg Rev* 38:499-509; discussion 509, 2015
5. Dinevski N, Sarnthein J, Vasella F, Fierstra J, Pangalu A, Holzmann D, Regli L, Bozinov O: Postoperative neurosurgical infection rates after shared-resource intraoperative magnetic resonance imaging: A single-center experience with 195 cases. *World Neurosurg* 103:275-282, 2017
6. Fahlbusch R: Development of intraoperative MRI: A personal journey. *Acta Neurochir Suppl* 109:9-16, 2011
7. Familiari P, Frati A, Pesce A, Miscusi M, Cimatti M, Raco A: Real impact of intraoperative magnetic resonance imaging in newly diagnosed glioblastoma multiforme resection: An observational analytic cohort study from a single surgeon experience. *World Neurosurg* 116:e9-e17, 2018
8. Giordano M, Samii A, Lawson McLean AC, Bertalanffy H, Fahlbusch R, Samii M, Di Rocco C: Intraoperative magnetic resonance imaging in pediatric neurosurgery: Safety and utility. *J Neurosurg Pediatr* 19:77-84, 2017
9. Global Intraoperative MRI Market Research Report 2018. QYResearch Group. <https://www.wiseguyreports.com/reports/2807679-global-intraoperative-mri-market-research-report-2018>. Accessed 16.12.2018
10. Hlavac M, Wirtz CR, Halatsch ME: Intraoperative magnetic resonance imaging. *HNO* 65:25-29, 2017
11. Kamata K, Maruyama T, Iseki H, Nomura M, Muragaki Y, Ozaki M: The impact of intraoperative magnetic resonance imaging on patient safety management during awake craniotomy. *J Neurosurg Anesthesiol* 31:62-69, 2019
12. Liu X, Zhang J, Fu K, Gong R, Chen J, Zhang J: Microelectrode recording-guided versus intraoperative magnetic resonance imaging-guided subthalamic nucleus deep brain stimulation surgery for parkinson disease: A 1-year follow-up study. *World Neurosurg* 107:900-905, 2017
13. Lu CY, Chen XL, Chen XL, Fang XJ, Zhao YL: Clinical application of 3.0 T intraoperative magnetic resonance combined with multimodal neuronavigation in resection of cerebral eloquent area glioma. *Medicine (Baltimore)* 97:e11702, 2018
14. Moriarty TM, Titsworth WL: The evolution of iMRI utilization for pediatric neurosurgery: A single center experience. *Acta Neurochir Suppl* 109:89-94, 2011
15. Mutchnick I, Moriarty TM: Intraoperative MRI in pediatric neurosurgery-an update. *Transl Pediatr* 3:236-246, 2014
16. Pal'a A, Knoll A, Brand C, Etzrodt-Walter G, Coburger J, Wirtz CR, Hlavac M: The value of intraoperative magnetic resonance imaging in endoscopic and microsurgical transsphenoidal pituitary adenoma resection. *World Neurosurg* 102:144-150, 2017
17. Pamir MN: 3 T iMRI: The Istanbul experience. *Acta Neurochir Suppl* 109:131-137, 2011
18. Pesce A, D'Andrea G, Frati A, Wierzbicki V, Caruso R, Raco A: Preoperative volumetric assessment matched with high-field intraoperative magnetic resonance imaging-guided stereotactic evacuation of brain abscesses. *World Neurosurg* 91:238-244, 2016

19. Pesce A, Frati A, D'Andrea G, Palmieri M, Familiari P, Cimatti M, Valente D, Raco A: The real impact of an intraoperative magnetic resonance imaging-equipped operative theatre in neurovascular surgery: The sapienza university experience. *World Neurosurg* 120:190-199, 2018
20. Roessler K, Kasper BS, Heynold E, Coras R, Sommer B, Rampp S, Hamer HM, Blumcke I, Buchfelder M: Intraoperative magnetic-resonance tomography and neuronavigation during resection of focal cortical dysplasia type II in adult epilepsy surgery offers better seizure outcomes. *World Neurosurg* 109:e43-e49, 2018
21. Schroeck H, Welch TL, Rovner MS, Johnson HA, Schroeck FR: Anesthetic challenges and outcomes for procedures in the intraoperative magnetic resonance imaging suite: A systematic review. *J Clin Anesth* 54:89-101, 2018
22. Schulder M, Spiro D: Intraoperative MRI for Stereotactic Biopsy. *Acta Neurochir Suppl* 109:81-87, 2011
23. Stadlbauer A, Merkel A, Zimmermann M, Sommer B, Buchfelder M, Meyer-Base A, Rossler K: Intraoperative magnetic resonance imaging of cerebral oxygen metabolism during resection of brain lesions. *World Neurosurg* 100:388-394, 2017
24. Stienen MN, Fierstra J, Pangalu A, Regli L, Bozinov O: The Zurich checklist for safety in the intraoperative magnetic resonance imaging suite: Technical note. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 2018 (Epub ahead of print)
25. 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