

Intrakranial Tümörlerin Pre- ve İntra-operatif Görüntülemesi

Alp Dinçer

ÖĞRENME HEDEFLERİ

- Pre-operatif Görüntülemede Hedefler: Tümörün Anatomik Lokalizasyonu, Komşuluk İlişkileri, Tümör Grade Belirleme, Kıymetli Kortikal ve Subkortikal Yapılarla İlişki, Dominant Hemisfer Kavramı, Görüntüleme Bulgularının Operasyon Stratejisinin Belirlenmesinde Kullanımı
- İntra-operatif Görüntüleme: Nöronavigasyon, İntra-operatif Ultrasonografi, İntra-operatif Bilgisayarlı Tomografi, 3 Boyutlu Kortikal Yüzey Reformatı ve İntra-operatif Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) (Teknik Altyapı, Uygulama, Yorumlama, Endikasyon ve Etkinlik)

Giriş

Beyin tümör tedavisinde cerrahi, günümüzde kemoterapi ve radyoterapi ile birlikte sac ayağı oluşturur [1]. Tümör tipi ve derecesinden bağımsız olarak kemoterapi ve radyoterapi öncesinde maksimum tümör rezeksiyonu temel amaçtır. Gerek yüksek dereceli gerekse düşük dereceli tümör tedavisinde maksimum rezeksiyonun toplam yaşam süresini ve hastalıksız sağ kalım süresini anlamlı ölçüde uzattığı pek çok çalışmada gösterilmiştir [2]. Maksimum tümör rezeksiyonu yüksek grade'li tümörlerde kontrast sonrası sinyal artışı oluşturan alanların veya düşük dereceli tümörlerde FLAIR sekansında hiperintens alanların rezeksiyonu olarak tanımlanabilir. Ancak maksimum rezeksiyon çoğu zaman beyin dokusundan kaynaklanan nedenlerden dolayı sağlanamaz. Maksimum rezeksiyonun yanı sıra fonksiyonların da korunması bir diğer temel amaçtır. Dolayısı ile çoğu zaman rezeksiyon oranı ve fonksiyon ko-

runması dengelenmek zorundadır. Burada dayanak olarak kullanılan temel veriler ise büyük oranda görüntüleme tekniklerinden sağlanır.

Anatomik Lokalizasyon ve Komşuluk

Üç ortogonal düzlemde yüksek rezolüsyonlu imajlar şarttır. İntra-aksiyal ve ekstra-aksiyal yerleşim ayrımını yapmak sadece cerrahi planlama açısından önemli değil radyolojik doğru tanı ve ayırıcı tanı açısından da önem taşır. Temel doku kontrastlarını içeren T1 ve T2 ağırlıklı sekansların yanı sıra BOS'u basıkılayan ağır T2 olan FLAIR sekansı, manyetik duyarlılığa dayalı GRE T2* veya SWI (susceptibility-weighted imaging) alınmalıdır. GRE T2* ve SWI kanama ve kalsifikasyonu diğer sekanslara oranla çok belirgin şekilde ortaya koyarak doku kontrast zenginliğini artırır. Tümörü lokalize etmenin güç olduğu durumlarda veya komşuluk ilişkisini daha iyi ortaya koymada yüksek rezolüsyonlu 3 boyutlu ağır coherent T2* sekanslar (CISS, FIESTA; Balan-

ced FFA) yararlı olabilir. Mümkün olan durumlarda 3 boyutlu FLAIR sekansı özellikle düşük dereceli tümörün pre-operatif hacmini hesaplamada ve postoperatif görüntülerle kıyaslama yapıp rezeksiyon oranını daha kesin olarak belirlemekte kullanılabilir. Kontrast sonrası standart sekansların yanı sıra 3 boyutlu volümetrik GRE T1 görüntüler spin eko veya turbo spin eko sekansından kaynaklanan artefaktları değerlendirmede ve venleri hiperintens olarak ortaya koyarak komşuluk ilişkisinde farklı bakış açısı ve ek bilgi sağlayabilirler. Volümetrik kontrast sonrası T1 ağırlıklı sekansa VRT (volum rendering technique) reformat yapılırsa 3 boyutlu olarak özellikle parasagittal tümörlerde kitle venöz komşuluk ilişkisini pre-operatif olarak ortaya koymak mümkün olur. Bu bilgi beyin yüzeyine yakın kitle cerrahisinde önem taşır. Mutlaka ikincil odak olasılığı göz önüne alınarak sistematik değerlendirme yapılmalıdır. Gerekli durumlarda vertebralar da taranmalıdır. Leptomeningeal yayılım için tüm pial ve ependimal yüzeyler dikkatle değerlendirilmelidir.

Tümör Derecesinin Belirlenmesi

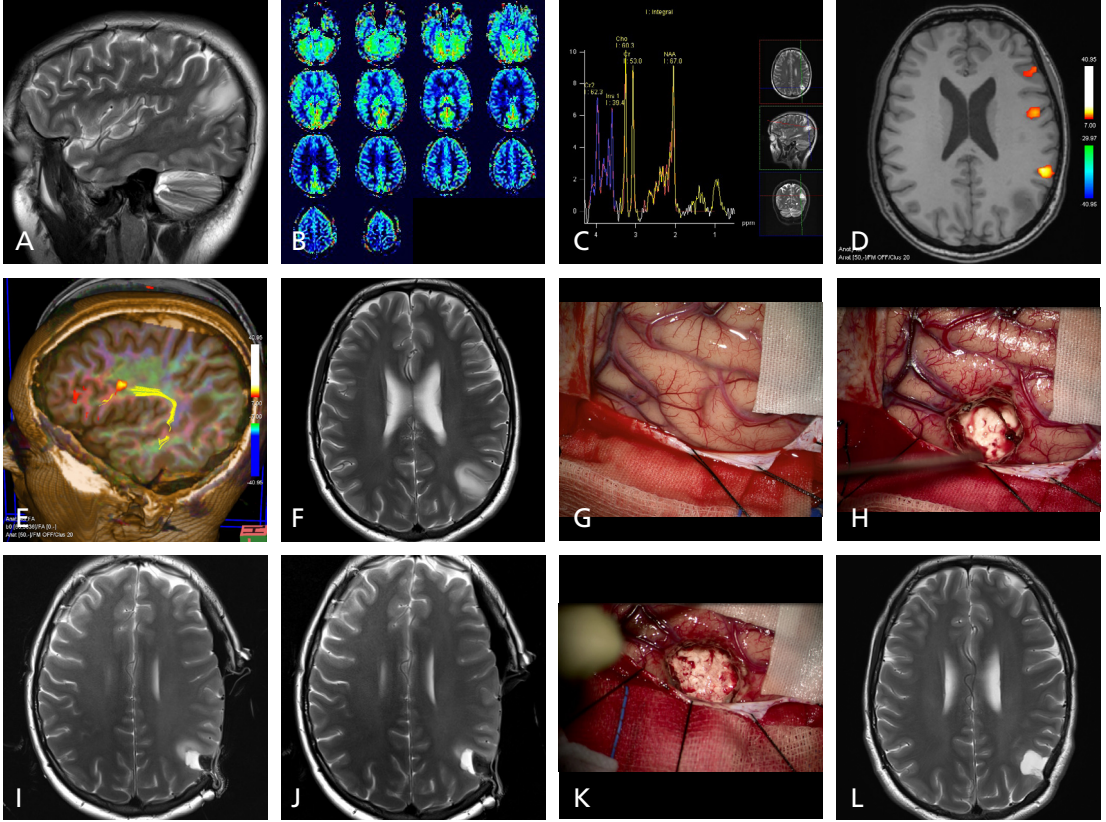
Tümör genetik çalışmaları sonrasında çok sayıda moleküler bilginin ortaya konması sadece patolojik bulgulara dayanarak tanımlanan sınıflamaların gelecekte yeterli olmayacağını ortaya koymakla birlikte yaygın kabul gören yeni bir sınıflama henüz ortaya konmamıştır. Bugün için beyin tümörlerinin sınıflamasında kullanılan altın standart yöntem, 2007 yılında Dünya Sağlık Örgütü'nce yayınlanan "WHO Classification of Tumours of the Central Nervous System, Fourth Edition" adlı kitaptır [3]. Temelde patolojik veriler radyolojik olarak beyin tümörlerinin sınıflama ve derecelemesinde de temel alınır.

Beyin tümörlerinin pre-operatif radyolojik değerlendirmesinde en kapsamlı morfolojik bilgiyi sağlayan modalite MRG'dir (Resim 1). Lezyon belirlenmesinde, lezyonun anatomik olarak lokalize edilmesinde ve sınıflamasında temel veriler konvansiyonel MRG sekanslarından elde edilir [4]. Bu bulgular çoğu zaman patolojik veriler ile örtüşür. **Tedavi yaklaşımlarında farklılık olacağı için temel amaç düşük**

ve yüksek derece ayrımını yapmaktır. Nekroz, kanama, heterojenite başta olmak üzere yüksek derece kriterleri kolaylıkla MRG ile ortaya konabilir. Ancak beyin tümörlerinin geniş bir aralıkta belirgin heterojenite göstermesi, alt grupların varlığı, yüksek ve düşük dereceli tümörler arasında morfolojik çakışmaların varlığı nedeniyle sadece morfolojik bulgulara dayanan veriler ile bu ayırım her zaman yüksek güvenilirlikle yapılamamaktadır. Bu nedenle MRG'nin zengin doku kontrast çeşitliliği ve fonksiyonel bilgi verme gücü beyin tümörlerinin sınıflama ve derecelemesinde kullanılmalıdır [4]. Bu konuda kullanılabilecek yöntemler:

1. Difüzyon ağırlıklı görüntüleme: ADC haritalaması başarılı şekilde tümörün hücre zenginliğini ortaya koyması açısından tümör proliferasyonunun dolaylı göstergesi olarak kullanılabilir. Bu durumda difüzyon kısıtlanmasını gösteren düşük ADC değerleri tümör hücre zenginliği ile doğrudan orantılı olup yüksek dereceyi işaret etmektedir. En başarılı şekilde çocukluk çağı posterior fossa tümörlerinin ayırıcı tanısında kullanılmaktadır. Medulloblastom ve atipik teratoid- rabdoid ile pilositik astrositom ve ependimom ADC bulgusuna dayanılarak yüksek güvenilirlikle ayrılabilir [5]. Primer santral sinir sistemi lenfoması da ADC haritalamasının tanıda başarı ile kullanıldığı tümörlerden biridir. Hücreden çok zengin lenfoma homojen belirgin difüzyon kısıtlanması ile diğer tümörlerden ayırt edilebilir. DTG parametreleri de literatürde bu amaçla kullanılmış olmakla birlikte hangi parametrenin ne güvenilirlikle kullanılabileceğine dair görüş birliği yoktur [4].

2. Perfüzyon MRG: Literatürde ASL (Arterial spin labelling), DSC (Dynamic susceptibility contrast) ve DCE (Dynamic contrast enhanced) perfüzyon MRG ile yapılmış çok sayıda çalışma mevcuttur. Temel amaç, tümör içi vasküler proliferasyonu ortaya koymaktır. Vasküler proliferasyonun varlığı ve derecesi tümör derecesi ile çoğu zaman doğrudan ilişkilidir. Perfüzyon çalışmalarında hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın perfüzyon artışı genel olarak yüksek dereceyi gösterir. Ancak oligodendrogliom gibi bazı tümör tiplerinin



Resim 1. A-L. Fokal nöbetle gelen 40 yaşında bayan hastaya ait sagittal T2 ağırlıklı (A) görüntüde (A) sol angular gyrus yerleşimli düşük dereceli tümör ile uyumlu kortikal lezyon izleniyor. ADC haritalamasında homojen hiperintens olan lezyon, ASL perfüzyon ile elde olunan rCBF haritalamasında (B) izo-perfüzyon göstermektedir. SWI sekansta duyarlılık alanları içermemektedir. Kısa TE single voksel proton spektroskopisi (C) NAA'da hafif azalma, ml ve Cho'de sınırlı artış göstermekte olup makromolekül piki izlenmemektedir. Tüm ileri görüntüleme teknikleri WHO derece 2 gliom tanısını desteklemektedir. fMRG'de, blok tasarımı sessiz fiil üretme paradigmasında, Broca ve Wernicke aktivasyon alanları aksiyal T1A anatomik görüntülere süperpoze olarak solda izlenmektedir (D). Bu bulgu sol hemisferal dominans olarak yorumlanmalıdır. Ayrıca duyuşal konuşma alanları ile kitle arasında yakın komşuluk ilişkisi mevcuttur. DTG'de FACT (fiber assignment by continuous tracking) algoritması kullanılarak 3 boyutlu olarak sagittal oblik T1 ağırlıklı anatomik görüntüye süperpoze olarak gösterilen sol arkuat fasikülüs kitlenin hemen önündedir (E). "Hemen" preoperatif aksiyal T2A içeren görüntülemeden sonra (F) kemik ve duranın kaldırılmasını takiben yüzeyden fark edilebilecek tümöre ait bulgu mevcut değildir (G). Görüntüleme teknikleri kullanmadan bu vakada doğru kortikal insizyonun yapılması mümkün değildir. Nöronavigasyon, 3 boyutlu kortikal rekonstrüksiyon veya sonografi bu amaçla kullanılabilir. Bu vakada tercih edilen sonografi ile yeri belirlenen tümör eksize edilmiş ve rezeksiyonun tamamlandığı düşünüldüğü anda (H) intraoperatif MRG ile birinci görüntüleme yapılmıştır. Bu anda alınan fotoğraf rezeksiyon sınırlarında yüzeyden görsel olarak fark edilebilen tümör olmadığını göstermektedir (H). Bu aşamada kontrol amaçlı yapılan intraoperatif sonografik değerlendirmede de rezidüye ait bulgu saptanamamıştır. Buna karşılık birinci intraoperatif MR görüntülemesinde aksiyal T2 ağırlıklı imajda rim tarzında rezidü bariz şekilde izlenmiştir (İ). Duyuşal konuşma alanından nispeten uzak olduğu bilinen rezidü için rezeksiyonun arttırılmasına o anda karar verilerek yapılan ek rezeksiyon sonrası ikinci intraoperatif MR görüntüleme yapılmıştır (J). İkinci kez yapılan intraoperatif görüntülemelerde aksiyal T2A gross-total rezeksiyonun sağlandığını göstermiştir (J). Resim 1K'da dura kapatılmadan cerrahinin son aşaması fotoğraflanmıştır (K). Birinci intraoperatif MRG öncesi alınan fotoğraf (H) ile kıyaslandığında rezeksiyondaki artış belirgindir. Post-operatif dönemde nörolojik sekel ve konuşma bozukluğu saptanamamıştır. Rutin üçüncü ay kontrol MRG'de aksiyal T2A gross-total rezeksiyonu doğrulamıştır (L).

istisna olması, düşük-yüksek derece ayrımında net sınır değer tayinindeki güçlükler bu yöntemin etkinliğini sınırlamaktadır [6].

3. **MRS:** Tümör-tümör olmayan patoloji ayrımında olduğu gibi tümör sınıflamasında da kullanılabilen yöntemdir. Ancak standardizasyonunun olmaması, uygulama zorluğu ve zaman alıcı olması dezavantajlarıdır. WHO 2007 patoloji sınıflamasına göre tümörleri ayırt etme yeteneğinin yanı sıra IDH (isocitrate dehydrogenase) gibi metabolitleri ortaya koyabilmesi nedeniyle tümör genetik belirleyicilerini in vivo gösterme potansiyeli olan bir yöntemdir. Bu da gelecekte tümör sınıflamasında daha belirleyici rol alabileceğini düşündürmektedir [7].

4. **SWI:** Tümör içi kan ve kalsifikasyonu yüksek duyarlılıkla göstermesi nedeni ile dereceleme amaçlı kullanımı tanımlanmıştır. Tümör derecesi intratümöral duyarlılık ile doğrudan ilişkili olup, yüksek güvenilirliğe sahiptir [8]. Morfolojik bulguların yanı sıra SWI, difüzyon, perfüzyon ve MRS'nin bir veya birkaçının birlikte kullanılması, birçok dezavantajı ortadan kaldıracak birbirini tamamlayıcı bilgi vereceğinden tercih edilmelidir. Multimodal değerlendirme olarak nitelendirilebilecek bu yaklaşımla yüksek güvenilirlikle pre-operatif radyolojik tümör tanı ve derecelemesi sağlanmış olur [4].

Kıymetli Kortekslerle İlişki ve Dominant Hemisfer

Kıymetli korteks belirli bir işlevi yerine getiren ve hasarlanması doğrudan ilişkili fonksiyon kaybı ile sonuçlanan beyin korteksidir. Motor korteks, görme ve konuşma merkezleri kıymetli kortekslere örnektir. Fonksiyonel MRG "nörovasküler eşleşme" yi göstermeye dayanan, kortikal nöronal aktivasyonu dolaylı olarak gösterip kıymetli korteksi ortaya koyabilen bir yöntemdir. Nöronal aktivasyonun o bölgede artmış kan akımına neden olmasına dayanır. Temelde gösterdiği kortikal kan oksijenizasyon değişikliğidir. Dolaylı olarak nöronal aktiviteyi ortaya koyar. Deoksihemoglobine duyarlı hızlı T2* görüntüler alınırken hastaya belirli bir görev yaptırılır. Hasta, belli bir zaman aralığında

aynı görevi tekrarlarlarken aynı görüntüler nötral istirahat sırasında da elde olunur. İki görüntü grubu arasındaki sinyal farklılığı işlenip istatistiksel yöntemlerle ortaya konarak anatomik görüntüler üzerine yerleştirilerek gösterilir. Blok tasarım fMRG olarak adlandırılan bu yöntem kendini kanıtlamış ve nöroradyolojide pratik uygulamada yaygın kullanılan bir yöntem olarak klinik uygulamada yer bulmuştur. Bu yöntemle primer motor korteks belirlenmesi çok yüksek güvenilirlikle sağlanabilmektedir. fMRG bulguları operasyonda uygulanan elektrofizyolojik kortikal haritalama yöntemleri ile büyük korelasyon gösterir.

fMRG ile dominant hemisfer tayini ve dil lateralizasyonu bu alanda altın standart kabul edilen uygulaması zor olan WADA testleri ile uyumlu sonuçlar verdiğinden klinik uygulamaya girmiş bir uygulamadır. Hastaya farklı görevler yaptırılarak motor, duyuşal dil alanları ve SMA (supplementary motor area) ortaya konabilmektedir. Cerrahi öncesinde dominant serebral hemisfer belirlenerek cerrahi planlaması ve rezeksiyon oranı belirlenmesinde olası fonksiyon kayıpları göz önüne alınmış olur [9, 10].

Subkortikal Haritalama

fMRG başarılı şekilde kortikal yapılar ile kitlelerin ilişkisini ortaya koyabilmektedir. Ancak cerrahi öncesi bu bilgi gerekli olmakla birlikte çoğu zaman yeterli değildir. Beyaz cevher yolaklarını da göstermek korteks kadar önem taşımaktadır. Belirli işlevlerle ilişkili beyaz cevher yolakları kıymetli subkortikal yapı olarak adlandırılır. Hasarlanması doğrudan fonksiyon kaybı ile ilişkilidir. Kortikospinal yolak, optik radyasyon, arkuat fasikülüs subkortikal kıymetli yapılardan birkaçıdır. Difüzyon tensör görüntüleme (DTG), subkortikal yapıları göstermekte kullanılan dolaylı bir yöntemdir. Anizotropik su hareket kısıtlanmasının gösterilmesine dayanan yöntem aslında doğrudan yolakları değil de yolak yapılanması nedeniyle oluşan anizotropiyi gösterme esasına dayanır. Dolaylı da olsa beyaz cevher yolaklarını in vivo olarak gösterebilen tek yöntemdir. Aslında difüzyon görüntüleme tekniğidir. En az 6 yönde difüzyon gradienti kullanılarak elde olunan

nispeten yüksek çözünürlüklü difüzyon ağırlıklı görüntülerin matematiksel olarak tensör modellenmesi ile elde olunur. Anizotropinin derecesini ve yönünü veren pek çok parametrikle ifade edilebilen bir yöntemdir. En çok FA (fraksiyonel anizotropi) ve ona yön bilgisi de eklenmiş olan renkli FA haritalamaları kullanılır. İki boyutlu bu yöntemler farklı program ve algoritmalar ile 3 boyutlu olarak beyaz cevher yollarını ortaya koyarlar. Ancak temelde difüzyon sekansı olmasından kaynaklanan tüm dezavantajları barındırırlar. Artefaktlara çok duyarlıdır. Özellikle tümör etrafındaki vazojenik ödemden etkilenirler. Tümör invazyonu ve ödem ayırımı yapmak zor hatta imkânsızdır. Bunlara rağmen beyaz cevher yollarını gösteren tek yöntem olmaları nedeniyle nöroradyolojide pratik klinik araç haline gelmiştir.

Cerrahi tekniğin ve yaklaşımın belirlenmesinde, rezeksiyon miktarının operasyon öncesi kararının verilmesinde önemli bir silahtır. Beyin sapı fokal lezyonların cerrahisinde ana yolların korunmasında önemli rol üstlenebilir. Periventriküler tümörlere en optimum yaklaşım yolunu belirlemede etkindir. Ancak tümör-yolak ilişkisini tanımlamada dikkatli olunmalıdır. Kompresyon, invazyon ve atenjasyon tanımlamalarında özellikle vazojenik ödemin yanılgılara yol açabileceği göz önüne alınmalıdır [11].

Cerrahi Stratejisinin Belirlenmesi

Tümör tanısının konması, gerçek anatomik lokalizasyonun ve komşuluk ilişkilerinin belirlenmesi, radyolojik olarak tümör derecelenmesi, tümörün kıymetli kortikal ve subkortikal yapılar ile ilişkisinin ortaya konması, dominant hemisferin belirlenmesi ile hastanın pre-operatif radyolojik değerlendirilmesi tamamlanmış olur. Bu bilgilerin ışığı altında klinisyen tedavi stratejisini belirler. Cerrahi uygulanamayacak vakalarda optimum stereotaktik biyopsi planlaması yapılabilir. Cerrahi uygulanacak vakalarda kraniotomi yeri, giriş ve tümöre yaklaşım ile rezeksiyon hedefi belirlenir. Uyanık cerrahi tekniğin kullanılabilirliği değerlendirilir. Operasyonda kullanılması

gerekebilecek nöronavigasyon, intra-operatif ultrasonografi, intra-operatif MRG, intra-operatif elektrofizyolojik kortikal haritalama tekniklerine karar verilir.

Intra-operatif Görüntüleme Teknikleri

Mikrocerrahi temel beyin cerrahisi tümör rezeksiyon tekniğidir. Mikroskop altında uygulanan beyin cerrahi yöntemidir. Beyin cerrahisi ameliyatlarında pre-operatif görüntüleme bulgularına göre strateji belirlendikten sonra hastaya pozisyon verilir. Kafa sabitlenerek hasta uyutulur ve kraniotomi uygulanır. Dura açıldıktan sonra öncelikli olarak lezyon korteksten fark edilemiyorsa yerini doğru belirlemek gerekir. Yeri belirlenen vakalarda da rezeksiyon sınırlarını ortaya koymak, tümör ve cerrahi nedeniyle kaybolabilen mirengi noktalarını tayin edebilmek kritik öneme sahiptir. **Cerrah ne kadar tecrübeli olursa olsun sadece yüzeyden sağlanan cerrahi bakış açısı ile tüm bu bilgilere sahip olmak her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle günümüzde beyin cerrahisi modern ameliyathanelerde yardımcı tekniklere ihtiyaç duyar ve sıklıkla kullanır. Bunların başlıcaları nöronavigasyon, sonografi, tomografi, 3 boyutlu kortikal yüzey rekonstrüksiyonları ve MRG'dir [2, 12].**

Nöronavigasyon

Pre-operatif olarak genellikle aynı gün yapılan beyin MR tetkikinde alınan volümetrik T1 veya T2 görüntülere dayanır. Lokalizasyon yöntemleri gelişen teknolojiye bağlı olarak çeşitlenmiş olup temelde kafa üzerine konan işaret (fiducial) kullanan ve kullanmayan olarak 2 ana gruba ayrılabilir. Kullanan teknikte kafa yüzeyden birden fazla sayıda "fiducial" ile işaretlendikten sonra 3D T2 veya postkontrast 3D GRE T1 ağırlıklı sekanslar alınır. Bu sekanslar özel software kullanılarak işlenir. Tümör ve kıymetli yapılar işaretlenerek ameliyat sırasında görüntüler ameliyat mikroskobuna yansıtılır. Böylece cerrah ameliyat sahasının yanı sıra başka bir bakış açısı ile tümör ve komşuluk ilişkisini değerlendirir. Çoğu zaman başarılı şekilde kılavuzluk sağlasa da pratik uygulamada pek çok soruna açıktır. En önemli problem

beyin kaymasıdır. Kraniotomi ve dura açılmasını takiben BOS boşalması sonrası farklı derecelerde de olsa beyin kayması ortaya çıkar. Bu kayma bazen 2 santimetreyi aşabilmektedir. Bu durumda kraniotomi öncesi görüntülemeye dayanan nöronavigasyonda önemli sonuçlara yol açabilecek sapma ortaya çıkar. Kıymetli korteksle yakın küçük lezyonlarda bu sapma nedeniyle kullanımı tartışmalıdır. Bu sorunu aşmak için intraoperatif görüntüleme ile birlikte kullanım tanımlanmış olup kraniotomi sonrası elde olunan görüntüler ile görüntü güncellemesi sağlanabilir. Ancak bu uygulama zaman alıcıdır [2, 12, 13].

Intra-operatif Ultrasonografi

Tanısal sonografi ile benzer sorunları ve üstünlükleri paylaşır. Nispeten ucuz, ameliyat ortamında bile kolay uygulanabilir bir yöntemdir. Ancak kişiye bağımlı olması, sınırlı doku kontrastı sağlaması ve artefaktları en temel problemidir. Özellikle düşük dereceli lezyonların beyin parankiminden ayrılmasında başarılı olamaması ve rezidü değerlendirmesinde düşük güvenilirlik en önemli dezavantajdır [2, 12].

Intra-operatif Bilgisayarlı Tomografi

Ameliyathaneye ilk giren ileri teknoloji radyolojik görüntüleme yöntemi olmasına karşın beyin cerrahisi ameliyatlarında yaygın kabul görmemiştir. Bunun temel nedeni doku kontrast sağlamada yeterli başarıyı sağlayamamasıdır. Verebileceği sınırlı bilgi genellikle arzulananı sağlamadığından kullanımı çok kısıtlı kalmıştır. Buna karşılık portabl BT cihazlarının pratikliği ve kullanım kolaylığı son zamanlarda yüksek dereceli tümör cerrahisinde ve nöronavigasyonun hızlı güncellemesinde kullanımını arttırmıştır [14].

Üç Boyutlu Kortikal Yüzey Reformatları

İki boyutlu görüntülemeden farklı olarak cerrahi pozisyonda korteks görünümünü 3 boyutlu simüle edebilmesi yüzey venöz yapılarını göstererek anatomik oryantasyonda büyük kolaylık sağlaması en önemli avantajıdır. Ancak özel yazılım gereksinimi olması dezavantajıdır (15).

Intra-operatif MRG

Beyin tümör cerrahisi sırasında görüntülemeye olan gereksinim MRG'nin ameliyat koşullarında kullanımını gündeme getirmiştir. Gerek cerrahi gerekse MRG kendine has özellikleri ve kısıtlamaları olan ortamlar olup birlikte kullanımı teknolojinin sınırlarını zorlamıştır. 1990'lı yılların ortalarından itibaren geliştirilmeye başlayan bu sistemler henüz tümüyle kabul gören standardize sistemler haline gelmemiştir. Her klinik, ihtiyaçları ve olanakları doğrultusunda kendi sistemlerini belli başlı üretici firmaların desteği ile geliştirmiştir. Temel problem ameliyat koşullarında kullanılan pek çok ferromanyetik materyal ile MRG ortamını bağdaştırmaktan geçmektedir. Bugün için 2 temel yaklaşım söz konusudur: MRG cihazını ameliyat odasına veya yanına yerleştirmek. Ameliyat odasına yerleştirilen sistemler pahalı olup neredeyse tüm ameliyat ekipmanlarının MR uyumlu olmasını gerektirmektedir. Bunun yanı sıra neredeyse eşzamanlı görüntü alma olanağı olması, hastayı ameliyat sırasında oynatma ihtiyacı duymaması, görüntü alma süreçlerinin daha hızlı olması gibi avantajları vardır. Ameliyat odası ve MR sistemlerini komşu odalara konumlandırmak bugün için daha yaygın kabul görmüş, nispeten daha ekonomik uygulamalardır. Bu "set-up" da ameliyat doğal ortamında özel ekipmana ihtiyaç duymadan gerçekleştirilebilir. Ancak bu durumda taşınma problemini çözmek gerekir. Kayan masa, döner masa gibi hastayı hareket ettiren sistemlerin yanı sıra magneti hareket ettiren (IMRIS) sistemler de kullanımdadır. Her bir sistemin kendine özel avantaj ve dezavantajları vardır. Manyetik alan gücü seçimi de geniş aralıktadır. 0,12 T -3T aralığında sistemler kullanımdadır. Rezistif, permanent veya superconducting magnet sistemleri de kullanımdadır. Düşük tesla sistemleri ile sadece morfolojik görüntüleme yapılabilir iken yüksek tesla sistemleri tanısal MRG sistemleri ile aynı özellikleri taşıdığından ameliyat koşullarında her türlü ileri görüntüleme tekniği kullanımına olanak sağlamaktadır. Ülkemizde ilk intra-operatif MRG sistemi 2004 yılında kurulmuş olup günümüzde beşten fazla intra-operatif MRG sistemi devrededir [2, 12].

Intra-operatif MRG Uygulaması

Çift odalı sistemlerde ameliyatın başlamasından 30 dakika önce sistem ameliyat koşullarına döndürülerek sterilizasyon sağlanır. Hangi kurulum kullanılırsa kullanılsın hasta pozisyonlanması ve uyutulmasını takiben “hemen preop” görüntüleme yapılmalıdır. Üç ortogonal planda T2 ağırlıklı görüntüler ve birlikte nöro-navigasyon kullanılacaksa 3D T2 ağırlıklı görüntüleri içermelidir. Tek plan T1 ağırlıklı görüntü protokole eklenebilir. Ancak operasyon öncesinde intravenöz kontrast madde kullanılmamalıdır. Ameliyat öncesi kontrast kullanımı rezeksiyon sınırlarında cerrahi ile indüklenen T1 hiperintensitesi ve çok bariz durumlarda T2 sinyal azalmasına yol açacağından uygulanmaz. Sonrasında hasta cerrahiye devam edilmek üzere ameliyat pozisyonuna dönlür. Ameliyatın istenen aşamasında hasta magnete alınarak aynı parametreler ile tekrar taranır. Üç plan T2 ağırlıklı görüntüleme ve aksiyal planda difüzyon ağırlıklı görüntüleme çoğu endikasyonda yeterli olur [2, 12]. Değerlendirme mutlaka ameliyat öncesi ile kıyaslanarak yapılmalıdır. Rezeksiyonun miktarı ve olası komplikasyonlar değerlendirilmelidir. Yüksek dereceli lezyonlarda veya pilositik astrositom gibi derece I lezyonlarda intravenöz kontrast uygulanabilir. Ancak cerrahi ile indüklenen kontrast artışları rezeksiyon sınırlarını değerlendirme güçlüğüne yol açabilir. Gerekli durumlarda bu sorunu ortadan kaldırmak için DCE perfüzyon rezidü/cerrahi indüksiyonu ayırımında pratikte de kullanılabilir [16]. Cerrahi alandan kaynaklanan problemler konvansiyonel sekanslarda genellikle artefakta yol açmaz. Ancak kortikal lezyonlarda hava-doku teması artefakta yol açacağından pozisyonun imkan verdiği durumlarda serum fizyolojik ile dokunun kaplanması sorunu çözer. Kanama hiperakut dönemde su gibi davranış sergilediğinden artefakta yol açmaz. Difüzyon görüntüleme tanısal görüntülemeye oranla daha fazla artefakta yol açar. Bu durum difüzyonun etkinliğini sınırlasa da enfarkt, cerrahi kontüzyon gibi patolojiler erken dönemde konvansiyonel sekanslar ile görünlenebileceğinden mutlaka uygulanmalıdır.

Gerekli durumlarda intra-operatif koşullarda MRS, DTG ve fMRG yüksek tesla sistemlerinde tanımlanmış ve kullanımı bildirilmiştir [17, 18].

“İntra-operatif MRG sonrasında total rezeksiyona erişildiği anlaşılmışsa işlem ve cerrahi sonlandırılır. Rezidü varlığında, pre-operatif hedefe ulaşıp ulaşılmadığına ve rezeksiyonun artırılıp artırılamayacağına karar verilir. Değerlendirme mutlaka cerrah ve radyolog tarafından birlikte yapılmalıdır. Cerrahiye devam kararı verilen durumlarda istenildiğinde ikinci ve gerekirse daha çok görüntüleme yapılabilir. Her görüntüleme ortalama olarak transfer süresi de dâhil olmak üzere toplam 10-15 dakika cerrahi sürede artışa yol açar. Birlikte nöro-navigasyon kullanımı, kontrast madde verilmesi ve ileri görüntüleme tekniklerinin kullanılması sürede ek artışlara yol açar.

Intra-operatif MRG Endikasyonları ve Etkinliği

Hemen her beyin cerrahisi ameliyatlarında kullanımı tanımlanmıştır. Cerrah, görüntülemenin katkısı olacağını düşündüğü her durumda kullanabilir. Ancak literatürde en yaygın olarak düşük dereceli tümör ve hipofiz cerrahisinde kullanılmaktadır. Cerrahi başarıya katkısı bu konuda yayınlanan hemen tüm literatürde gösterilmiştir. Total rezeksiyonun yüzdesinde ve rezeksiyon oranlarında artış sağladığı genel kabul görmüştür. Ancak hastalarda total sağkalım süresi ve yaşam kalitesi üzerine etkisi tartışmalıdır. Henüz bunlarda artışa yol açtığına dair kanıta dayalı veri mevcut değildir. En temel dezavantajı uygulamanın maliyeti ve cerrahi süresinde yol açtığı artıştır [2, 12, 16, 17].

Kaynaklar

- [1]. D'Amico RS, Kennedy BC, Bruce JN. Neurosurgical oncology: advances in operative technologies and adjuncts. J Neurooncol 2014; 119: 451-63. [\[CrossRef\]](#)
- [2]. Pamir MN, Ozduman K, Dincer A, Yildiz E, Peker S, Ozek MM. First intraoperative, shared-resource, ultrahigh-field 3-Tesla magnetic resonance imaging system and its application in low-grade glioma resection. J Neurosurg 2010; 112: 57-69. [\[CrossRef\]](#)
- [3]. Louis DN, Ohgaki H, Wiestler OD, Cavenee WK, Burger PC, Jouvet A, et al. The 2007 WHO classi-

- fication of tumours of the central nervous system. *Acta Neuropathol* 2007; 114: 97-109. [\[CrossRef\]](#)
- [4]. Brandão LA, Shiroishi MS, Law M. Brain tumors: a multimodality approach with diffusion-weighted imaging, diffusion tensor imaging, magnetic resonance spectroscopy, dynamic susceptibility contrast and dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2013; 21: 199-239. [\[CrossRef\]](#)
 - [5]. Koral K, Alford R, Choudhury N, Mossa-Basha M, Gargan L, Gimi B, et al. Applicability of apparent diffusion coefficient ratios in preoperative diagnosis of common pediatric cerebellar tumors across two institutions. *Neuroradiology* 2014; 56: 781-8. [\[CrossRef\]](#)
 - [6]. Sahin N, Melhem ER, Wang S, Krejza J, Poptani H, Chawla S, et al. Advanced MR imaging techniques in the evaluation of nonenhancing gliomas: perfusion-weighted imaging compared with proton magnetic resonance spectroscopy and tumor grade. *Neuroradiol J* 2013; 26: 531-41. [\[CrossRef\]](#)
 - [7]. Emir UE, Larkin SJ, de Pennington N, Voets N, Plaha P, Stacey R, et al. Noninvasive Quantification of 2-Hydroxyglutarate in Human Gliomas with IDH1 and IDH2 Mutations. *Cancer Res* 2016; 76: 43-9. [\[CrossRef\]](#)
 - [8]. Wang XC, Zhang H, Tan Y, Qin JB, Wu XF, Wang L, et al. Combined value of susceptibility-weighted and perfusion-weighted imaging in assessing who grade for brain astrocytomas. *J Magn Reson Imaging* 2014; 39: 1569-74. [\[CrossRef\]](#)
 - [9]. Mabray MC, Barajas RF Jr, Cha S. Modern brain tumor imaging. *Brain Tumor Res Treat* 2015; 3: 8-23. [\[CrossRef\]](#)
 - [10]. Mahvash M, Maslehaty H, Jansen O, Mehdorn HM, Petridis AK. Functional magnetic resonance imaging of motor and language for preoperative planning of neurosurgical procedures adjacent to functional areas. *Clin Neurol Neurosurg* 2014; 123: 72-7. [\[CrossRef\]](#)
 - [11]. Dimou S, Battisti RA, Hermens DF, Lagopoulos J. A systematic review of functional magnetic resonance imaging and diffusion tensor imaging modalities used in presurgical planning of brain tumour resection. *Neurosurg Rev* 2013; 36: 205-14. [\[CrossRef\]](#)
 - [12]. Pamir MN, Peker S, Ozek MM, Dinçer A. Intraoperative MR imaging: preliminary results with 3 tesla MR system. *Acta Neurochir Suppl* 2006; 98: 97-100. [\[CrossRef\]](#)
 - [13]. Orringer DA, Golby A, Jolesz F. Neuronavigation in the surgical management of brain tumors: current and future trends. *Expert Rev Med Devices* 2012; 9: 491-500. [\[CrossRef\]](#)
 - [14]. Barbagallo GM, Palmucci S, Visocchi M, Paratore S, Attinà G, Sortino G, et al. Portable Intraoperative Computed Tomography Scan in Image-Guided Surgery for Brain High-grade Gliomas: Analysis of Technical Feasibility and Impact on Extent of Tumor Resection. *Neurosurgery* 2015 Nov 9. [Epub ahead of print]
 - [15]. Mert A, Buehler K, Sutherland GR, Tomanek B, Widhalm G, Kasprian G, et al. Brain tumor surgery with 3-dimensional surface navigation. *Neurosurgery* 2012; 71: 286-94. [\[CrossRef\]](#)
 - [16]. Özduman K, Yıldız E, Dinçer A, Sav A, Pamir MN. Using intraoperative dynamic contrast-enhanced T1-weighted MRI to identify residual tumor in glioblastoma surgery. *J Neurosurg* 2014; 120: 60-6. [\[CrossRef\]](#)
 - [17]. Pamir MN, Özduman K, Yıldız E, Sav A, Dinçer A. Intraoperative magnetic resonance spectroscopy for identification of residual tumor during low-grade glioma surgery: clinical article. *J Neurosurg* 2013; 118: 1191-8. [\[CrossRef\]](#)
 - [18]. Nimsky C. Intraoperative acquisition of fMRI and DTI. *Neurosurg Clin N Am* 2011; 22: 269-77. [\[CrossRef\]](#)

Intrakranial Tümörlerin Pre- ve İntra-operatif Görüntülemesi

Alp Dinçer

Sayfa 72

Beyin tümör tedavisinde cerrahi, günümüzde kemoterapi ve radyoterapi ile birlikte saç ayağı oluşturur. Tümör tipi ve derecesinden bağımsız olarak kemoterapi ve radyoterapi öncesinde maksimum tümör rezeksiyonu temel amaçtır. Gerek yüksek grade'li gerekse düşük dereceli tümör tedavisinde maksimum rezeksiyonun toplam yaşam süresini ve hastalıksız sağ kalım süresini anlamlı ölçüde uzattığı pek çok çalışmada gösterilmiştir. Maksimum tümör rezeksiyonu yüksek grade'li tümörlerde kontrast sonrası sinyal artışı oluşturan alanların veya düşük dereceli tümörlerde FLAIR sekansında hiperintens alanların rezeksiyonu olarak tanımlanabilir. Ancak maksimum rezeksiyon çoğu zaman beyin dokusundan kaynaklanan nedenlerden dolayı sağlanamaz. Maksimum rezeksiyonun yanı sıra fonksiyonların da korunması bir diğer temel amaçtır. Dolayısı ile çoğu zaman rezeksiyon oranı ve fonksiyon korunması dengelenmek zorundadır. Burada dayanak olarak kullanılan temel veriler ise büyük oranda görüntüleme tekniklerinden sağlanır.

Sayfa 73

Tedavi yaklaşımlarında farklılık olacağı için temel amaç düşük ve yüksek derece ayrımını yapmaktır. Nekroz, kanama, heterojenite başta olmak üzere yüksek derece kriterleri kolaylıkla MRG ile ortaya konabilir. Ancak beyin tümörlerinin geniş bir aralıkta belirgin heterojenite göstermesi, alt grupların varlığı, yüksek ve düşük dereceli tümörler arasında morfolojik çakışmaların varlığı nedeniyle sadece morfolojik bulgulara dayanan veriler ile bu ayırım her zaman yüksek güvenilirlikle yapılamamaktadır. Bu nedenle MRG'nin zengin doku kontrast çeşitliliği ve fonksiyonel bilgi verme gücü beyin tümörlerinin sınıflama ve derecelemesinde kullanılmalıdır.

Sayfa 76

Cerrah ne kadar tecrübeli olursa olsun sadece yüzeyden sağlanan cerrahi bakış açısı ile tüm bu bilgilere sahip olmak her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle günümüzde beyin cerrahisi modern ameliyathanelerde yardımcı tekniklere ihtiyaç duyar ve sıklıkla kullanır. Bunların başlıcaları nöronavigasyon, sonografi, tomografi, 3 boyutlu kortikal yüzey rekonstrüksiyonları ve MRG'dir.

Intrakranial Tümörlerin Pre- ve İntra-operatif Görüntülemesi

Alp Dinçer

1. Preoperatif beyin tümör görüntülemesinde aşağıdaki önermelerden hangisi doğru değildir?
 - a. Doğru tanı için lezyonun anatomik lokalizasyonu çok önem taşır.
 - b. T1 ve T2 ağırlıklı imajlar tümör derecelemesinde her zaman yeterli bilgiyi sağlar.
 - c. SWI kan ve kalsifikasyona diğer sekanslara göre daha duyarlıdır.
 - d. İkincil odak ve leptomeningeal yayılım olasılığı göz önüne alınmalıdır.
2. Beyin tümör görüntülemesinde ileri tümör görüntüleme yöntemleri ile ilişkili olarak aşağıdakilerden hangisi doğru değildir?
 - a. fMRG kıymetli korteksi değerlendirmede kullanılabilir.
 - b. DTG kıymetli subkortikal yolakları ortaya koyabilir.
 - c. MRS tümör/tümör dışı ayrımında, tümör derecelendirmesinde kullanılabilir.
 - d. Perfüzyon MRG'nin tümör görüntülemesinde yeri kısıtlıdır.
3. Aşağıdakilerden hangisi beyin tümör cerrahisi sırasında tümör görüntüleme aracı olarak kullanılmaz?
 - a. Direkt grafi
 - b. Sonografi
 - c. Bilgisayarlı tomografi
 - d. MRG
4. İntraoperatif MRG ile ilişkili aşağıdaki önermelerden hangisi doğrudur?
 - a. MRG güvenlik problemleri nedeniyle ameliyat ortamında kullanılamaz.
 - b. Ameliyat alanında ortaya çıkan kanama, cerrahi materyal vb. nedeniyle genellikle MRG'de ameliyat sırasında tanınal görüntü almak mümkün değildir.
 - c. Gadolinium şelatları beyin tümör cerrahisi sırasında uygulanan intraoperatif MRG sırasında rutinin bir parçası olarak daima kullanılmalıdır.
 - d. T1 ve T2 ağırlıklı görüntülemelerin yanı sıra yüksek tesla intraoperatif MRG sistemlerinde fMRG, DTG ve MRS ameliyat sırasında uygulanabilir.
5. Aşağıdaki önermelerden hangisi pre-operatif beyin tümör görüntülemesinde difüzyon ve DTG kullanımı hakkında doğru bilgi içermez?
 - a. ADC haritalaması inme için kullanılmakta olup tümör hakkında ek bilgi vermez.
 - b. DTG beyaz cevher yolaklarını radyolojik olarak gösterebilen tek tanı yöntemidir.
 - c. Difüzyon intraoperatif olarak uygulanabilir. Ancak cerrahi ortamdan kaynaklanan artefaktlar nedeniyle dikkatli yorumlanmalıdır.
 - d. DTG tümör-normal parankim ve tümör-ödem ayrımında her zaman başarılı ayrım yapamaz.