

Beyin Tümörlerinin Cerrahi Planlamasında Difüzyon Tensör Görüntülemenin Katkısı

The Efficiency of Diffusion Tensor Imaging in Preoperative Arrangement of Brain Tumors

Diğdem Kuru Öz¹, Elif Peker², İlhan Erden²

¹ Özel Polatlı Can Hastanesi Radyoloji Bölümü
² Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı

Amaç: Cerrahi yapılan beyin tümürlü hastaların patoloji sonuçları, klinik muayene bulguları ve preoperatif Difüzyon Tensör Görüntüleme (DTG) özellikleri ile birlikte değerlendirilerek, DTG'nin tümör ile komşu beyaz cevher yolaklarının ilişkisini ameliyat öncesi ortaya koyabileceğinin gösterilmesi amaçlanmaktadır.

Gereç-Yöntem: Bu çalışmada 26 hastaya ait 54 etkilenmiş yolak ve 54 kontralateral hemisferik yolak değerlendirildi ve Fraksiyonel Anizotropi (FA) ölçümleri yapıldı. Beyaz cevher yolakları direkt renk kodlu haritalar kullanılarak ödem, yer değiştirme, infiltrasyon ve destrüksiyon şeklinde kategorize edildi. Kategorize edilen gruplar arasındaki FA değişimleri ($\Delta FA\%$) istatistiksel olarak karşılaştırıldı. Ödem ve yer değiştirme grubuna ait yolaklara sahip olan ve ameliyat yapılan hastalar operasyon sonrasında klinik olarak değerlendirildi.

Bulgular: Ödem, infiltrasyon ve destrüksiyon gruplarında $\Delta FA\%$ değeri anlamlı bulunmuştur. Hem ödem hem destrüksiyon grubundaki FA değeri yer değiştirmeden küçüktür. %30'dan küçük $\Delta FA\%$ değerinin, infiltrasyon ve destrüksiyon ile ilişkili olması muhtemeldir. Pozitif $\Delta FA\%$ değerinin, ödem veya yer değiştirme ile ilişkili olması muhtemeldir. Ödem ve yer değiştirme grubundaki hastalarda postoperatif ek nörolojik deficit gelişmemiştir.

Sonuç: Beyin tümürlü olgularda preoperatif difüzyon tensör görüntüleme ile kitle ve komşu beyaz cevher yolaklarının ilişkisini değerlendirmeyi amaçlanmış ve preoperatif DTG ile etkin bir cerrahi planlamanın mümkün olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: *Beyin Tümörü, Difüzyon Tensör Görüntüleme, Fraksiyonel Anizotropi*

Aim: It is intended to be revealed the relationship between tumor and adjacent white matter tract preoperatively by Diffusion Tensor Imaging (DTI), with evaluation of pathology results, clinical examination results and preoperative DTI characteristic of surgery performed brain tumor patients.

Materials-Methods: In this study, 54 lesion sided white matter tract and 54 contralateral white matter hemispheric controls belongs to 26 patient was examined and Fractional Anisotropy (FA) measurement was performed. White matter tracts was categorized as edema, displacement, infiltration and disruption with using directionally encoded color maps. FA changes ($\Delta FA\%$) between categorized groups was compared by statistically. Patients that have displaced and edematous white matter tract and also gone surgery were assessed clinically after surgery.

Results: A significant $\Delta FA\%$ was found in edema, disruption and infiltration groups. Both edema FA and disruption FA are significantly less than displacement FA. $\Delta FA\%$ less than -30% is likely to be associated with disruption and infiltration. A positive $\Delta FA\%$ is likely to be associated with edema or displacement. The patients in edema and displacement groups has not developed additional postoperative neurologic deficits.

Conclusion: In patient with brain tumor aimed to assess the relationship of mass and adjacent white matter tracts with preoperative diffusion tensor imaging and reached the conclusion that it is possible to effectively surgical planning with preoperative DTI.

Key Words: *Brain Tumour, Diffusion Tensor Imaging, Fractional Anisotropy*

Cerrahi nöroonkolojide maksimum tümör rezeksiyonunun yanında vital serebral dokunun korunması temel prensiptir(1-4). Konvansiyonel MR tetkikleri ile beyin tümörünün varlığı ve lokalizasyonu kolaylıkla saptanırken tümöre komşu beyaz cevher yolakları ile ilgili bilgi edinilemez(1,5). Difüzyon Tensör görüntüleme (DTG), beyin tümörüne komşu beyaz cevher yolaklarını değerlendirmede

yakın dönemde kullanılan yeni bir yöntemdir (1-3,5).

DTG tekniğinin temeli su moleküllerinin in-vivo difüzyon hızının ve yönünün ölçülerek doku yapısının saptanmasına dayanır (2,5,6). Moleküllerin üç boyutlu ortamda yaptıkları ısı bağımlı serbest harekete 'Brownian hareket' denilmektedir. Bu şekilde moleküllerin her yöne eşit olarak yaptığı serbest

Geliş Tarihi : 30.08.2016 • Kabul Tarihi: 19.09.2016

İletişim

Dr. Diğdem Kuru Öz

E-posta: digdem@hotmail.com

Tel: 0 312 621 41 41

Faks: 0312 621 07 57

Özel Polatlı Can Hastanesi Radyoloji Anabilim Dalı Yeni Mah.

Gordion Cad. No:1 Polatlı/Ankara

difüzyona 'izotropik difüzyon' denilmektedir. Su moleküllerinin yaptıkları bu Brownian hareketin her üç yöndeki bileşeninden bir ya da daha fazlasının, dokudaki bir takım anatomik ya da fizyolojik engeller nedeniyle kısıtlanması 'anizotropi' olarak adlandırılır. DTG, üç boyutlu ortamda bir vektör boyunca su difüzyonunun yönü (anizotropi) ve büyüklüğü (difüzivite) hakkında kantitatif ve kalitatif bilgiler sağlamaktadır (7). Bu izotropi ve anizotropi verileri, ADC ve FA değerleri ile belirtilmektedir. ADC; dokudaki izotropi miktarını, FA; dokudaki difüzyonun anizotropik kısmının tüm difüzyona oranını temsil eder. Beyaz cevher gibi anizotropik difüzyonun baskın olduğu dokularda FA değerleri kullanılır (1). Bizim çalışmamızda da, tümöre komşu beyaz cevher yolaklarının etkilenme şekli, direkt renk kodlu haritalarda FA değerleri kullanılarak belirlenmiştir.

Gereç-Yöntem

Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji bölümünde, 2010 ile 2011 tarihleri arasında 3 Tesla MRG sisteminde (Magnetom Verio, Siemens, Erlangen, Almanya) beyin tümürlü 26 hasta değerlendirilmiştir. Yirmialtı hastada 54 etkilenmiş beyaz cevher yolağı tespit edilmiştir.

Difüzyon Tensör Görüntüleme, standart parametreler ile (TR/TE= 3600/95,

FOV= 23cm, matriks= 128x128) single-shot spin-echo EPI sekans kullanılarak yapılmıştır. Kesit kalınlığı 4.0 mm ve aralığı 1.2 mm olup ortalama 25 görüntü oluşmuştur. Difüzyon duyarlı gradient kodlama, difüzyon ağırlıklı faktör b değeri 1000s/mm² ile 64 yönde uygulanmıştır.

Patoloji sonuçları baz alınarak FA haritaları ile major eigen vektör yönü kullanılarak beyaz cevher yolakları 4 paterne kategorize edilmiştir. Yön haritası, kırmızı, yeşil ve mavi renkler ile kodlanan major eigen vektör komponenti tarafından oluşturulmakta olup renk parlaklığını FA değerleri belirlemektedir. Her yolağın lokalizasyonu ve renk tonu doğrultusal renk kodlu haritada karşı sağlam yolak ile karşılaştırılarak normal veya anormal olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca kantitatif analizler, 2 boyutlu FA haritasında incelenecek yolak üzerinde ve kontralateral hemisferdeki karşılığı yolağın manuel olarak çizilen 'Region of Interest' (ROI) ile Neuro 3D software yardımı ile yapılmıştır.

Beyaz cevher yolakları ödem, yer değiştirme, infiltrasyon ve destrüksiyon olarak kategorize edilmiştir. Kontralateral hemisferdeki homolog trakt ile karşılaştırıldığında FA değerleri normal veya hafif düşük (<%25) ve trakt anormal lokalizasyon ve/veya yönde yer değiştirme olarak sınıflandırılmıştır.

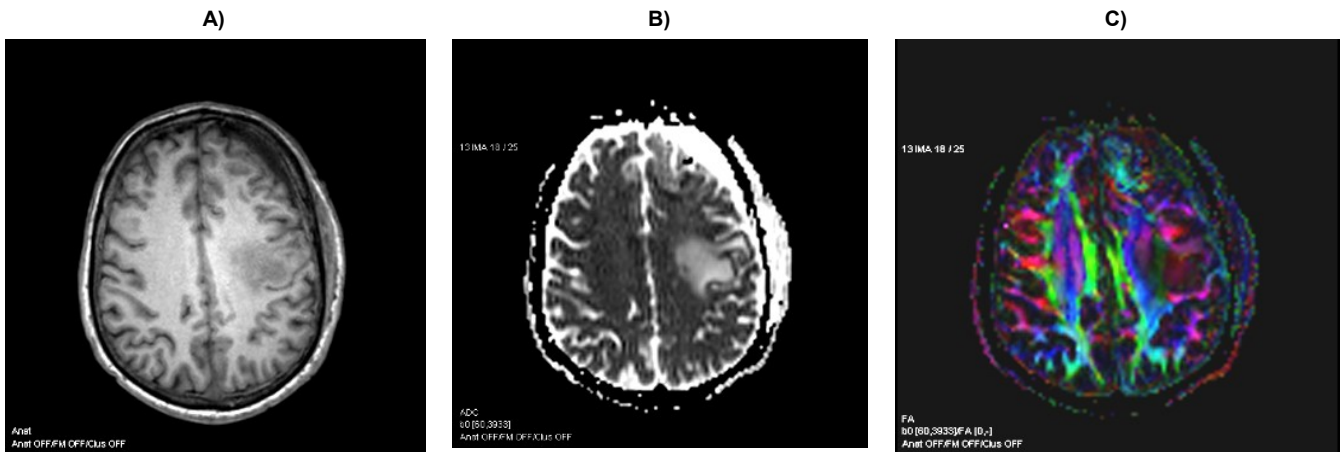
Ödem ve infiltrasyon paternlerinin her ikisinde de FA değerleri düşük kabul edilirken ayırım doğrultusal renk kodlu haritalardan yapılmıştır. Trakt normal lokalizasyon ve oryantasyonda iken renk tonları normal ise ödem, renk tonunda farklılık olduğunda infiltrasyon grubunda kabul edilmiştir. İzotropik veya izotropiye yakın difüzyonun olduğu traktların seçilemediği olgular destrüksiyon grubuna dahil edilmişlerdir (Şekil 1-4).

Ayrıca ΔFA% olarak adlandırılan, kontralateral normal hemisfer ile karşılaştırıldığında etkilenmiş taraftaki tümöre komşu beyaz cevherdeki FA değişimi hesaplanmıştır.

$$\Delta FA\% = \frac{FA(\text{etkilenmiş taraf}) - FA(\text{normal})}{FA(\text{normal})} \times 100\%$$

İstatistiksel olarak etkilenmiş taraftaki ve normal hemisferdeki FA değerleri tahmini marjinal ortalama±SH (standart hata) olarak gösterilmiştir. Tekrarlanan ölçü faktörü içeren ANOVA analizi kullanılmıştır. Hem yolaklar hem de etkilenmiş taraflar tekrarlanan faktörler olarak ele alınmıştır. p değerinin 0.05'in altında olması istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

Ameliyat yapılan hastalar operasyon sonrasında klinik muayene bulguları ile tekrar değerlendirilmiştir.

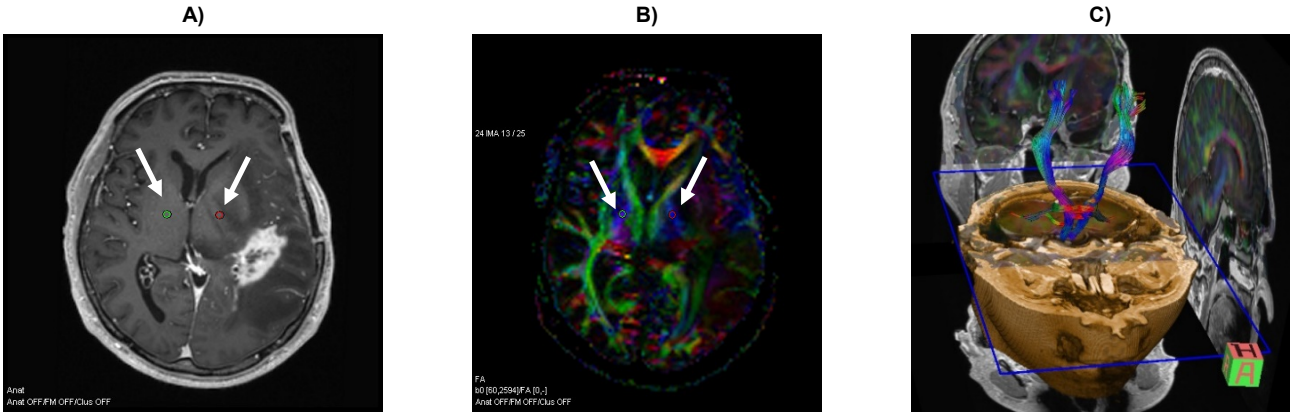


Şekil 1: Sol frontoparietal yerleşimli nöroendokrin tümör metastazi, sol süperior fasikulusda (SLF) ödem

A) T1 ağırlıklı görüntülerde subkortikal yerleşimli hipointens kitle

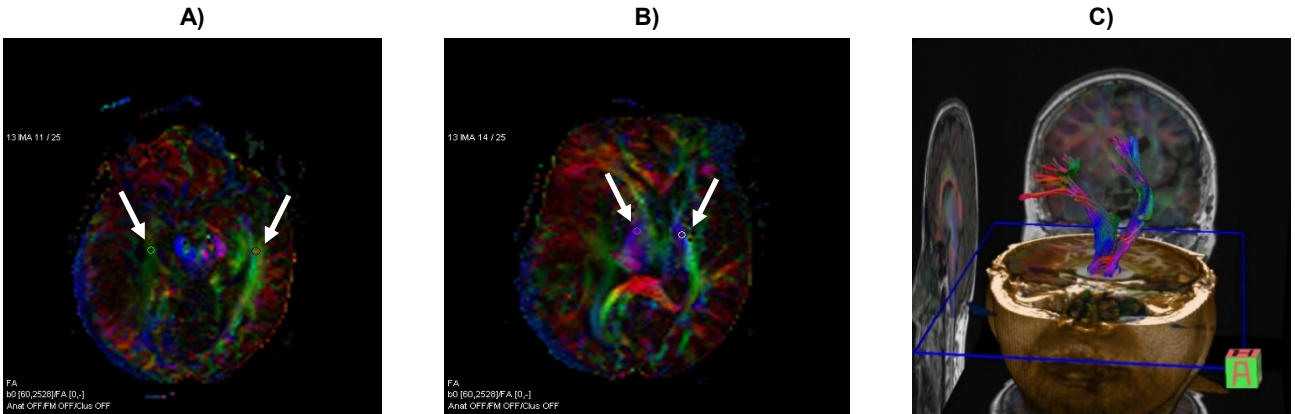
B) ADC haritalarında kitle çevresinde hiperintesite

C) Doğrultusal renk kodlu haritada sol SLF'de simetriğine oranla FA değerlerinde belirgin değişiklik saptanmamıştır (sağ-0.495,sol-0.490)



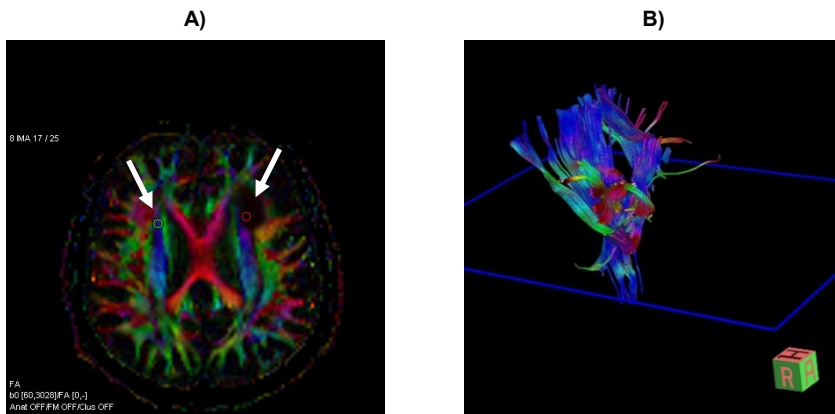
Şekil 2. Sol temporoparietal yerleşimli nüks Glioblastome multiforme (GBM), kortikospinal traktta (KST) yer değiştirme

- A) Kontrastlı T1 ağırlıklı görüntülerde periferik hipointensitenin eşlik ettiği kitle
B) Doğrultusal renk kodlu haritada sol KST normal lokalizasyon ve oryantasyonda değildir. Yapılan FA ölçümlerinde simetriğine oranla belirgin farklılık (sağ- 0.722, sol-0.713)
C) 3D Traktografide sol KST'de yer değiştirme



Şekil 3: Sağ temporoparietalde GBM, sağ İnförior longitudinal fasikulus (ILF) infiltrasyon, sağ KST'de yer değiştirme.

- A) Doğrultusal renk kodlu haritada sağ İLF normal lokalizasyonunda ve seçilebilmekte ancak parlaklığı simetriğine oranla azalmış, FA ölçümlerinde oranla belirgin derecede azalma mevcut (sağ-0.293, sol-0.573).
B) Direkt renk kodlu haritada sağ KST simetriğinle benzer parlaklıkta ancak anormal lokalizasyonda, yapılan FA ölçümlerinde belirgin değişiklik (sağ-0.763, sol-0.762).
C) 3D Traktografi görüntülerinde sağ KST'de mediale itilme



Şekil 4: Sol frontal yerleşimli oligoastrozitom, sol Korona radiata süperior kesiminde (SKR) destrüksiyon

- A) Doğrultusal renk kodlu haritada SKR lifleri seçilememekte ve yapılan ölçümlerde sol SKR'de simetriğine oranla izotropik difüzyona yakın belirgin derecede azalma (sağ-0.468, sol-0.053)
B) 3D traktografi görüntülerinde SKR anterior kesimde lifler seçilememektedir.

Bulgular

Beyin tümörlü 26 hastada, lezyon tarafındaki 54 beyaz cevher yolağı ve kontralateral hemisferdeki normal beyaz cevher yolağı olmak üzere toplam 108 yolağı değerlendirilmiştir. Değerlendirilen yolağları sınıflandırdığımızda 12'si ödem, 11'i yer değiştirme, 10'u infiltrasyon ve 21'i destrüksiyon şeklinde etkilenmişlerdir.

Ödem, infiltrasyon ve destrüksiyon gruplarında $\Delta FA\%$ değeri anlamlı olarak bulunmuştur. Yer değiştirme grubu için anlamlı $\Delta FA\%$ değeri bulunmamıştır. Hem ödem hem de destrüksiyon grubundaki FA değeri yer değiştirmeden küçüktür (Tablo 1).

$\Delta FA\%$ değerinin $\%30$ 'dan küçük olması infiltrasyon ve destrüksiyon ile ilişkili iken pozitif değerde olması ödem veya yer değiştirme ile ilişkili bulunmuştur (Tablo 2).

Ameliyat olan hastalar postoperatif dönemde beyin cerrahları tarafından klinik olarak tekrar değerlendirilmiş olup preoperatif olarak DTG sonuçlarına göre özellikle ödem ve yer değiştirme grubuna dahil ettiğimiz hastalarda postoperatif ek nörolojik defisit gelişmediği bildirilmiştir.

Tartışma

Beyin tümörlerinin rezeksiyonu öncesinde komşuluğundaki fonksiyonel anatomik yapılar ve beyaz cevher yolağları ile ilişkisinin detaylı bir şekilde ortaya koyulması gerekmektedir. Özellikle dominant hemisferdeki sensorimotor, konuşma ve kognitif fonksiyon merkezleri ile ilişkisi net bir şekilde belirlenmelidir (1,6).

Yeni metodlardan biri olan DTG, beyinde beyaz cevher yolağlarının uzanım ve yönelimlerini ve bu yolağların niceliksel ve niteliksel bilgisini noninvaziv olarak in vivo sağlaması nedeni ile önemli ve yeni bir görüntüleme tekniğidir (2,6,8).

Witwer ve ark. (1), tümöre komşu beyaz cevher yolağlarını FA ve doğrultusal renk kodlu haritaları kullanarak ödem, yer değiştirme, infiltrasyon ve destrüksiyon olarak sınıflamışlardır. Diffüz oligodendrogliomu olan infiltrasyon grubuna dahil ettikleri 2 hastanın tümör rezeksiyon sınırından alınan çok sayıda patolojik örnekte beyaz cevher yolağlarında neoplastik hücre infiltrasyonu gösterilmiştir. Beyaz cevher yolağlarında yer değiştirme izlenen hastaların hiçbirinde postoperatif nörolojik defisit gelişmediği hatta bir hastada ameliyat sonrasında muhtemelen kortikospinal trakt (KST) üzerindeki bası etkisinin kalkmasına bağlı ameliyat öncesi var olan hemipareziye gerileme izlenmiştir. Ödem grubuna dahil ettikleri 2 hastada ameliyat sonrası afazi ve dizartriye düzelme olduğu izlenmiştir. Sonuçlarına göre, DTG'nin tümör ile komşuluğundaki subkortikal beyaz cevher ilişkisini ortaya koymada kullanılabileceğini ve anormal görünen alanlarda anatomik olarak intakt yolağların olabileceğini savunmuşlardır (1).

Yen ve ark. (9), beyaz cevher yolağlarını Witwer metoduna göre kategorize etmişlerdir. FA değerlerini karşılaştırmak için mikst model analiz kullanmışlardır. Sonuçlarına göre $\Delta FA\%$ değerini destrüksiyon grubunda anlamlı bulmuş olup bu bulguları ameliyat öncesi korunmuş beyaz cevher yolağlarının belirlenmesinde kullanabileceklerini savunmuşlardır. Ayrıca hem ödem hem de destrüksiyon grubundaki FA değerini yer değiştirme grubundan düşük bulmuşlardır. $\Delta FA\%$ 'nın -30% 'dan daha düşük olmasının destrüksiyon ile ilişkili olduğunu, pozitif $\Delta FA\%$ 'nın ödem ve yer değiştirme ile ilişkili olduğunu ve 0% ile -30% $\Delta FA\%$ 'nın da yer değiştirme ve infiltrasyon ile ilişkili olduğunu savunmuşlardır (9).

Field ve ark. (10), beyaz cevher yolağlarını Yen ve ark. (9) gibi 4 paterne kategorize etmişlerdir. Farklı olarak FA haritasının yanı sıra ADC haritası ile ana eigen vektör yönünü kullanmışlardır. Yine farklı olarak yer değiştirme grubunda FA değerlerinin normal veya hafif düşük (<25), ADC değerlerinin normal veya hafif yüksek (>25) olabileceğini, ödem ve infiltrasyon paternlerinin her ikisinde de FA değerlerini düşük, ADC değerlerini yüksek kabul ederlerken ayrımı doğrultusal renk kodlu haritalardan yapmışlardır. Ödem paterninde; trakt normal lokalizasyon ve oryantasyonda iken renk tonlarının normal, infiltrasyon paterninde renk tonunda farklılık olduğunu kabul ederek ayrımı yapmışlardır. Destrüksiyon paternini benzer şekilde

Field ve ark. (10), beyaz cevher yolağlarını Yen ve ark. (9) gibi 4 paterne kategorize etmişlerdir. Farklı olarak FA haritasının yanı sıra ADC haritası ile ana eigen vektör yönünü kullanmışlardır. Yine farklı olarak yer değiştirme grubunda FA değerlerinin normal veya hafif düşük (<25), ADC değerlerinin normal veya hafif yüksek (>25) olabileceğini, ödem ve infiltrasyon paternlerinin her ikisinde de FA değerlerini düşük, ADC değerlerini yüksek kabul ederlerken ayrımı doğrultusal renk kodlu haritalardan yapmışlardır. Ödem paterninde; trakt normal lokalizasyon ve oryantasyonda iken renk tonlarının normal, infiltrasyon paterninde renk tonunda farklılık olduğunu kabul ederek ayrımı yapmışlardır. Destrüksiyon paternini benzer şekilde

Tablo 1: Etkilenmiş taraftaki FA değerlerinin kontralateral taraf ile karşılaştırılması

Beyaz Cevher Etkilenme Tipi	Lezyon EMM±SE	Normal EMM±SE	p*
Ödem	0.327±0.029	0.385±0.029	0.002
Yer Değiştirme	0.607±0.025	0.631±0.025	0.201
İnfiltrasyon	0.290±0.042	0.615±0.042	0.001
Destrüksiyon	0.096±0.031	0.615±0.042	<0.001

*: Mikst etki ANOVA (varyans analizi), EMM: 'estimated marginal mean', SE: Standard error. ÖdemFA < Yer değiştirmeFA Yer değiştirmeFA > DestrüksiyonFA

Tablo 2: Beyaz Cevher Etkilenme Tipinin $\Delta FA\%$ şeklinde Hesaplanması (strata analizi)

Beyaz Cevher Etkilenme Tipi	$\Delta FA\%$ strata			p*
	< -30	-30 - 0	> 0	
Ödem	9 (18.4%)	1 (100%)	2(50%)	0.055
Yer Değiştirme	9 (18.4%)	0 (0%)	2(50%)	
İnfiltrasyon	10 (20.4%)	0 (0%)	0 (0%)	
Destrüksiyon	21 (42.9%)	0 (0%)	0 (0%)	

sınıflandırılmıştır. Yer değiştirme, ödem ve infiltrasyon paternlerinde FA değerleri ile ADC değerleri arasında ters ilişki olduğunu bulmuşlardır. Sonuç olarak preoperatif olarak tümör ile komşuluğundaki beyaz cevher traktlarının ilişkisinin DTG ile ortaya koyulabileceğinin ve preoperatif planlamada en yararlı paternlerin yer değiştirme ve destrüksiyon paternleri olduğunu savunmuşlardır (10).

Bizim çalışmamızda beyaz cevher yolları Field ve arkadaşlarının (10) sınıflandırdığı gibi kategorize edilmiş olup doğrusal renk kodlu harita yanı sıra kantitatif olarak yalnızca FA değerleri kullanılmıştır. Yen ve arkadaşlarında (9) olduğu gibi $\Delta FA\%$ değeri hesaplanmış olup farklı olarak bizim çalışmamızda destrüksiyon yanı sıra ödem ve infiltrasyon grubunda da $\Delta FA\%$ değeri anlamlı bulunmuştur. Bu farklılığın beyaz cevher yollarını sınıflandırırken Yen ve arkadaşlarından (9) farklı olarak ödem ve infiltrasyon grubunda da FA değişiminin olabileceğini kabul ettiğimizden kaynaklandığını düşünmekteyiz. Benzer şekilde hem ödem hem de destrüksiyon grubundaki FA değerlerini yer değiştirmeden küçük olarak bulduk. Farklı olarak biz infiltrasyon grubundaki FA değerlerini de yer değiştirme grubundaki FA değerlerinden küçük bulduk. Bu farklılığın da aynı nedene bağlı olduğunu düşünmekteyiz. Ayrıca bizim çalışmamızda da Yen ve arkadaşlarının (9) kadar yüksek olmasa da benzer şekilde

$\Delta FA\%$ 'nın -30%'dan daha düşük olması destrüksiyon ile ilişkili, pozitif $\Delta FA\%$ ödem ve yer değiştirme ile ilişkili bulunmuştur. Farklı olarak bizde 0% ile -30% $\Delta FA\%$ ödem ile ilişkili bulunmuştur. Ancak artan olgu sayıları ve bu konudaki farklı çalışmalar ile birlikte istatistiksel anlamlılığın belirginleşeceği ve bu çelişkinin azalacağını düşünmekteyiz.

İliescu ve ark. (11), beyaz cevher etkilenim şekillerini yer değiştirme, ödem, infiltrasyon ve destrüksiyon olarak karakterize etmişlerdir. Bizim çalışmamızdan farklı olarak ödem grubunu Witwer metoduna göre yalnızca normal anizotropi ve oryantasyon gösteren ancak anormal T2 hiperintens alana sahip olanlardan oluşturmuşlardır. İnfiltrasyon grubunu ise anizotropide düşük gösteren ancak oryantasyon haritasında seçilebilen yollar olarak oluşturmuşlardır. Sonuçlarına göre yer değiştirme grubuna dahil ettikleri hastalarda ek nörolojik defisit gelişmediği hatta bir hastada yer değiştiren KST'ye göre ameliyat öncesi cerrahi prosedürü değiştirerek, yapılan ameliyat sonrasında hastanın nörolojik muayene bulgularında iyileşme olduğu kaydedilmiştir (11). Konvansiyonel görüntülerde anormal görünen alanlarda anatomik olarak intakt yolların bulunabileceğini beyaz cevherin DTG ile değerlendirilerek bulguların cerrahi planlamada ve güvenli rezeksiyon alanının belirlenmesinde yararlı olacağını

belirterek Witwer ile aynı görüşü savunmuşlardır (11).

Bizim çalışmamızda da postoperatif dönemde hastalar beyin cerrahları tarafından klinik olarak tekrar değerlendirilmiş olup postoperatif ek nörolojik defisit gelişmemiş olduğu bildirilmiştir. Sonuçlarımız klinik olarak da desteklenmiş olup cerrahi planlamada DTG'nin tümör ile beyaz cevher yolları ilişkisini ortaya koymada kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Mori ve ark. (12), tümör hücreleri tarafından infiltre edilen alandaki FA değerlerinin peritümöral ödemden daha düşük olduğunu bulmuşlardır (1,12). Bizim çalışmamızda da anlamlı düzeyde olmasa da infiltrasyon grubundaki FA değerinin ödemden daha düşük olduğu bulunmuştur.

Sonuç

Sonuçlarımız, DTG verilerinin kalitatif ve kantitatif analizi ile beyaz cevher yollarının ameliyat öncesi değerlendirilebileceğini ve etkin bir cerrahi planlamayı mümkün kılacağını göstermiştir. En uygun tedavi planının gerçekleştirilmesi ile nüks olasılığının azalması beraberinde vital serebral fonksiyonların korunması ile morbitidenin azalması ve kaliteli yaşam şansının artması sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

1. Witwer BP, Moftakhar R, Hasan KH, et al. Diffusion-Tensor Imaging of White Matter Tracts in Patients with Cerebral Neoplasms. *J Neurosurg* 2002;97:568-575.
2. Itagiba VGA, Borges R, Cruz Jr LCH, et al. Use of diffusion tensor magnetic resonance imaging in the assessment of patterns of white matter involvement in patients with brain tumors: is it useful in the differential diagnosis?. *Radiol Bras.* 2010;43:362-368.
3. Sternberg EJ, Lipton ML, Burns J. Utility of Diffusion Tensor Imaging in Evaluation of the Peritumoral Region in Patients with Primary and Metastatic Brain Tumors. *AJNR Am J Neuroradiol* 2014;35:439-444.
4. Bryan J. Laundre, Brian J. Jellison, Behnam Badie, et al. Diffusion Tensor Imaging of the Corticospinal Tract before and after Mass Resection as Correlated with Clinical Motor Findings: Preliminary Data. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005;26:791-796.
5. Hagmann P, Jonasson L, Maeder P, et al. Understanding Diffusion MR Imaging Techniques: From Scalar Diffusion Weighted Imaging to Diffusion Tensor Imaging and Beyond. *Radiographics* 2006;26:205-223
6. Ibrahim AS, Gomaa M, Sakr H, et al. Role of diffusion tensor imaging in characterization and preoperative planning of brain neoplasms. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine* 2013;44:297-307.
7. Price SJ, Gillard JH. Imaging Biomarkers of brain Tumour Margin and Tumour Invasion. *Br J Radiol* 2011;84:159-167
8. Cruz LCH, Sorensen AG. Diffusion Tensor Magnetic Resonance Imaging of Brain Tumors. *Magn Reson Imaging Clin N* 2006;14:183-202
9. Yen PS, Teo BT, Chiu CH, et al. White Matter Tract Involvement in Brain Tumors: A Diffusion Tensor Imaging Analysis. *Surgical Neurology* 2009;72:464-469
10. Field AS, Alexander AL, Wu Y, et al. Diffusion Tensor Eigenvector Directional Color Imaging Patterns in the Evaluation of Cerebral white Matter Tracts Altered by Tumor. *J Magn Reson Imag* 2004;20:555-562
11. Iliescu B, Negru D, Poeta I. MR Tractography for Preoperative planning in Patients with Cerebral Tumors in Eloquent Areas. *Rom Neurosurg* 2010;4:413-420
12. Mori S, Frederiksen K, Van Zijl PCM, et al. Brain white matter anatomy of tumor patients evaluated with diffusion tensor imaging. *Ann Neurol* 2002;51:377-380..