

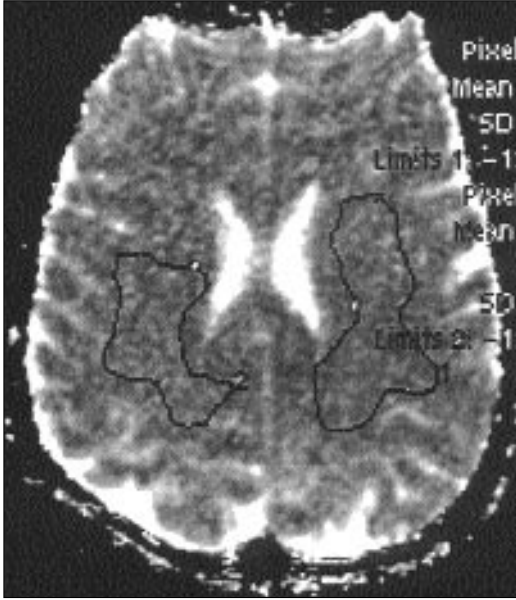
Difüzyon MRG'de "apparent diffusion coefficient" (ADC) değerleri

R. Nuri Şener

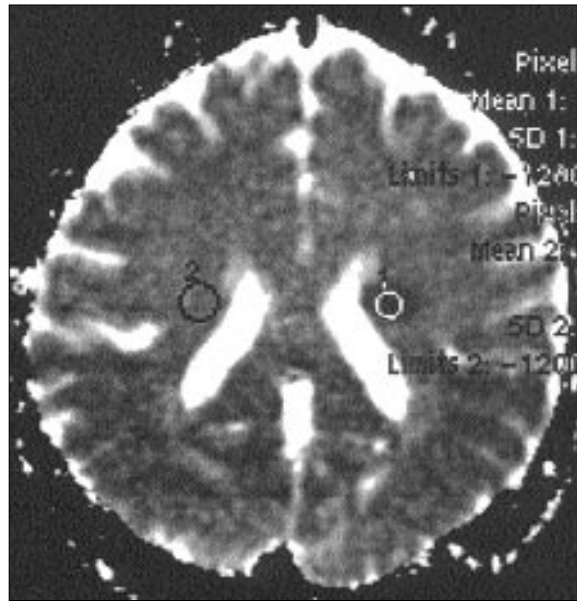
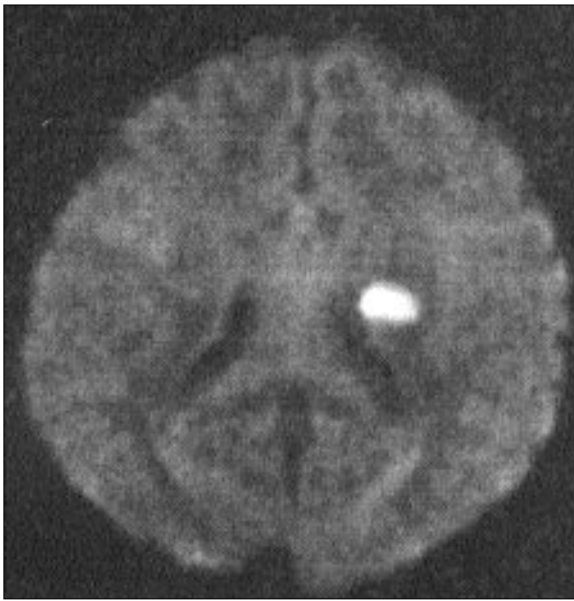
R. N. Şener
Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı,
Bornova, İzmir

Difüzyon MRG yakın zamanlarda klinik uygulama alanına girmeye başlayan yeni bir fonksiyonel görüntüleme yöntemidir. Temel özelliği doku içindeki su moleküllerinin hareketlerini yansıtması, böylece doku integrasyonu hakkında bilgi sağlamasıdır. Konvansiyonel MRG'de H₂O (su) moleküllerinin doku içindeki difüzyon olayının, elde edilen manyetik rezonans sinyaline katkısı çok küçüktür. Difüzyon MRG'de ise çok güçlü manyetik gradyentler eşliğinde eko-planar sekansı kullanılarak su moleküllerinin hareketlerini görüntülemek mümkün olmaktadır. Bu yöntemle, tamamen su moleküllerinin hareketlerine bağlı olan görüntüler elde edilebilmekte, bu da eko-planar difüzyon MRG, ya da sadece difüzyon MRG olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemin diğer bir tanımı 'izotropik difüzyon' görüntülemesidir. Bundan ayrı olarak, PSIF (reverse FISP, fast imaging in steady state precession) görüntüleme adı verilen bir gradyent-eko sekansı da difüzyon görüntüleri elde etmek olasıdır. Bunun da diğer bir tanımı 'anizotropik difüzyon' görüntülemesidir. İkisi arasındaki en önemli fark şudur: "apparent diffusion coefficient" (ADC) değeri adı verilen su difüzyonu değerinin matematiksel olarak ölçümü, yalnızca birinci yöntemle, eko-planar difüzyon MRG ile mümkün olmaktadır. İkinci yöntem olan PSIF ile ise piksel değer ölçümleri yapılması ve değişik lezyonların kıyaslanması olasıdır, ancak ADC değeri hesaplanmaz. Her iki yöntemin en geniş uygulama alanı beyindir (1-3).

Eko-planar difüzyon MRG ya da 'izotropik difüzyon' görüntüleme için kliniğimizdeki 1.5 Tesla cihazda (Siemens, Magnetom Vision, Erlangen, Almanya) üç temel protokol vardır. Bunlardan birincisi 'b-0-1000' adlı protokol olup genellikle TR=4700, ve TE=118 milisaniye (ms) uygulanarak 23 saniyede difüzyon görüntüleri vermektedir. Bunda otomatik ADC haritası olmadığından ADC değerleri Stejskal-Tanner formülüne göre hesaplanmaktadır. İkinci protokol 'b-0-500-1000-slice-read-phase-ADC' adlı olandır ve genellikle TR=4000 ve TE=110 ms uygulanarak 32 saniyede difüzyon görüntüleri elde edilmektedir. Bunda otomatik ADC haritası vardır ve yeterli kalitededir. Ancak, bu protokolun en önemli dezavantajı rutin uygulamada 160 adet kesit oluşturması ve özellikle PACS sisteminde gereksiz olarak aşırı yer kaplamasıdır. Birinci yöntemde oluşan kesit sayısı ise 140 adettir ve otomatik ADC haritası bulunmamaktadır. Üçüncü protokol ise 'trace-0-500-1000-ADC' veya kısaca 'trace difüzyon' olup en gelişmiş, ve kullanılması özellikle önerilen protokoldür. 'Trace difüzyon' genellikle TR=5700 ve TE=139 ms uygulanarak 22 saniyede difüzyon görüntüle-



Resim 1. Normal olgu (17 yaş, erkek). ADC haritası. Geniş ROI uygulamalarıyla elde olunan normal serebral parenkim ADC değerleri gösterilmektedir. 1 numaralı ROI'de kapsanan piksel 1583 adettir. Ortalama (mean) piksel değeri 75.61'dir (standart sapma 15.47). Böylece ADC değeri 0.75×10^{-3} mm²/saniye(s) olmaktadır. 2 numaralı ROI'de kapsanan piksel sayısı 1150'dir. Ortalama piksel değeri 82.44'tür. ADC değeri de 0.82×10^{-3} mm²/s'dir.



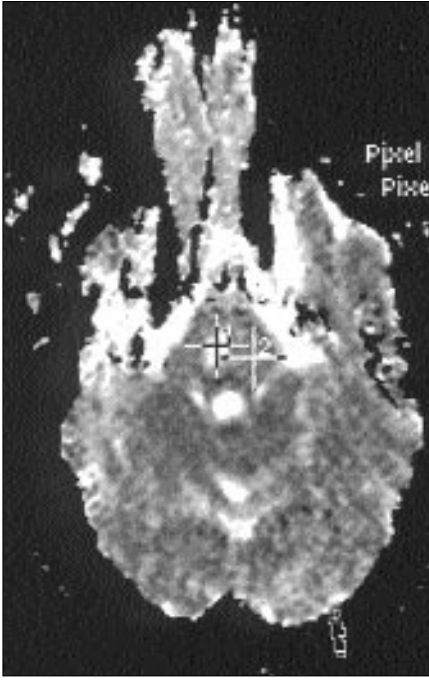
Resim 2. Akut infarkt (64 yaş, kadın). **A.** $b=1000$ S saniye (s)/mm² (gerçek difüzyon) görüntüde soldaki yüksek sinyalli alan akut laküner infarkta aittir. (S slice select gradienttir. ADC değeri, ADC haritası olmadan Stejskal-Tanner formülüne $[(ADC=-(1/b) \ln(S/So)]$ göre hesaplanmak istenirse, her üç gradyentteki yani S slice select, R readout ve P phase encoding görüntülerden elde olunan piksel değerleri toplanıp üçe bölünerek $b=1000$ s/mm² görüntünün ortalama piksel değeri saptanır. Trace görüntüleme ise sadece bir adet $b=1000$ s/mm² vardır, bu nedenle sözkonusu hesaplama daha kolay ve daha doğrudur. **B.** ADC haritası. Akut infarkt alanında ADC değeri 0.35×10^{-3} mm²/s'dir. Karşı taraftaki normal parenkim ADC değeri ise 0.83×10^{-3} mm²/s'dir.

rini ortaya çıkarmaktadır. Trace difüzyonun esası X,Y ve Z eksenlerindeki üç gradyentin ortalamasını almasıdır. Böylece elde edilen kesit sayısı ilk iki protokole kıyasla dramatik olarak azdır ve sadece 80 adettir (ADC haritaları dahil). Bunun yanı sıra 'trace difüzyon'un gerçek difüzyon adı da verilen ($b=1000$ saniye/mm²) görüntüleri, ilk iki protokoldeki anizotropik etki artefaktlarından arınmıştır. Ayrıca, 'trace difüzyon'da yüksek kalitede

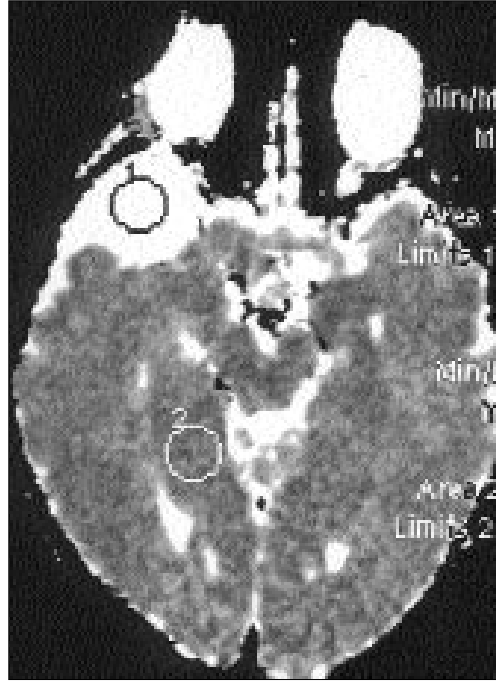
otomatik ADC haritaları bulunmaktadır (1-3). Departmanımızın pediatrik nöroradyoloji seksiyonunda kullanılan protokol de budur.

Eko-planar difüzyon MRG'de matematiksel ADC değerleri iki ana yöntemle ölçülmektedir: Birincisi Stejskal-Tanner formülüdür, diğeri ise ADC haritası üzerinden yapılan doğrudan ölçümdür. Her ikisinde de öncelikle istenilen bölge ve bölgelerde ROI (region of interest) ve/veya pik-

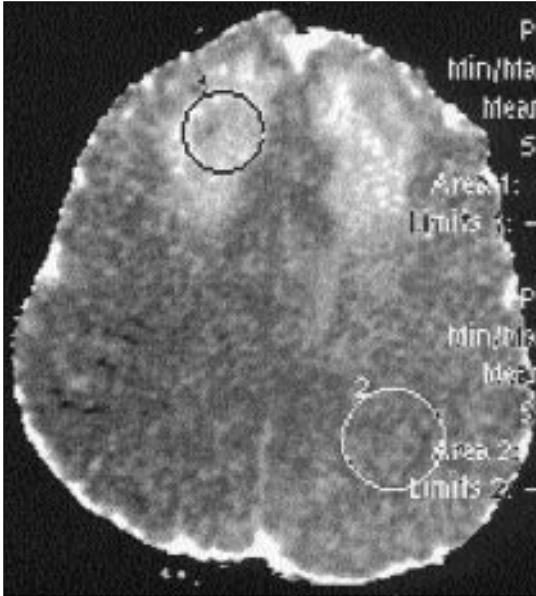
sel lens ölçümleri alınır. ROI istenildiği kadar geniş olabilir ve daire şeklinde, rektangul veya irregüler olarak uygulanabilir. Piksel lens ise 1 den 16'ya kadar pikseli kapsayabilir. Bu ölçümler alındıktan sonra ADC değerini bulmak için Stejskal-Tanner formülünden veya ADC haritasında piksel değerinden hesaplama yapılır. Stejskal-Tanner formülü şöyledir: $ADC=-(1/b) \ln (S/So)$. Burada So , $b=0$ veya $b=50T$ 'deki piksel değeridir



Resim 3. Kronik infarkt (50 yaş, kadın). ADC haritası. Piksel lens ile yapılan ölçümde ponsun sağ yarısındaki kronik infarktın ADC değeri $2.49 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 'dir. Karşı taraftan normal ADC değeri gösterilmiştir: $0.78 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$.



Resim 4. Araknoid kist (3 yaş, erkek). ADC haritası. Araknoid kistin ADC değeri $3.02 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ dir. Normal parenkim değeri $0.89 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 'dir.

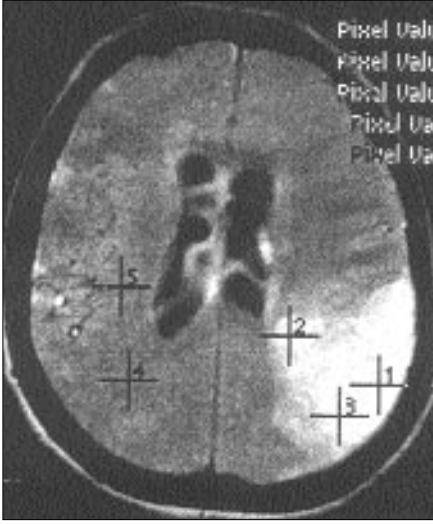


Resim 5. Adrenolökodistrofi (atipik form) (11 yaş, erkek). ADC haritası. Sağ frontal lobtaki lezyon bölgesinde ADC değeri $1.65 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 'dir. Normal oksipital lob ADC değeri ise $1.01 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 'dir.

(T=trace). S ise 'b=1000 sec/mm²'deki piksel değeridir. "ln" doğal logaritmadır ve '1/b'deki b=1000'dir (formülün başında 'eksi' bulunduğuna dikkat ediniz). Bu hesaplama herhangi bir bilgisayardaki bilimsel hesap makinasıyla yapılabilir (1-3). İkinci yöntem olan ADC haritasında piksel de-

ğerinden doğrudan hesaplama ise çok daha kolay ve güvenlidir ve yukarıda söz edilen iki adet difüzyon görüntüleme protokolünde elde olunan otomatik ADC haritaları bunu sağlamaktadır (2,3). Örneğin, bir ADC haritasında elde ettiğimiz piksel değeri veya ortalama ROI değeri 84.35 ise, bu 0.84

olarak ifade edilip ' $10^{-3} \text{ mm}^2/\text{saniye}$ (s)' ile çarpılır. Bu örnekte ADC değeri: $0.84 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ olmaktadır, ve normal beyinin beyaz maddesinin ADC değeridir (2,3). Stejskal-Tanner formülünden elde edilen ADC değeri de formülün başındaki 1/1000, 10^{-3} 'e çevrilerek aynı şekilde ifade edilir. Normal beyaz maddenin ADC değer limitleri yaklaşık olarak $0.60 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ile $1.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ arasındadır (3). Fonksiyonel olarak, $0.60 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 'nin altındaki değerler, su molekül hareketlerinin kısıtlandığının işaretidir. Sitotoksik ödem (akut iske mi ve akut infarkt) buna örnektir. Epidermoid tümör, hemorajiler ve demir depolanması diğer örneklerdir. $1.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 'nin üstündeki değerler ise su molekül hareketlerinin normal beyin parenkimine kıyasla arttığını ifade eder ve doku integrasyonunda bozulma ya da gevşekleşme olduğunu gösterir. Vazojenik ödem buna örnektir. Diğer örnekler arasında lökoriyazis, transependimal sıvı rezorpsiyonu, periventriküler lökomalazi, radyasyon nekrozu, mikrokistik ensefalomalazi (kronik infarkt tipi), hamartom, mukopolisakkaridoz, Leigh hastalığı ve



Resim 6. Akut infarkt (28 yaş, kadın). PSIF (reverse FISP, fast imaging in steady state precession) görüntüleme ya da 'anizotropik difüzyon' görüntüleme (ilk 5 örnek izotropik difüzyon görüntüleme değildir). PSIF sekansı sol hemisferdeki akut infarkt alanında hiperintensite göstermektedir. İnfarktın piksel değerleri 159, 132 ve 144'tür. Karşı hemisferden normal piksel değerleri gösterilmiştir: 86 ve 92. Ancak, PSIF'le elde edilen piksel değerleri ADC değeri hesaplanmasında kullanılmaz. Günümüzde ADC değeri hesaplanması sadece eko-planar difüzyon MRG ile mümkündür (ilk 5 örnek izotropik difüzyon yada eko-planar difüzyon MRG'ye aittir).

multipl skleroz sayılabilir. Diğer taraftan, beyin-omurilik sıvısında (BOS) su molekülleri serbest hareket ederler ve bunun ADC değeri de $2.40 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ile $4.40 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ arasında değişir. Kronik infarkt (makrokistik ensefalomalazi), araknoid kist, hidatik kist, kistik tümörler, ve tümör nekrozu gibi durumların ADC değerleri BOS'un ADC değer limitleri arasında bir dağılım gösterirler (3). Bu makalede, sekiz adet olguda difüzyon MRG ve ADC değer ölçümleri resimlerle gösterilmekte ve bulgu ve yöntemler detaylı olarak açıklanmaktadır (Resim 1-8).

Sonuç olarak, ADC değer ölçümleriyle birlikte difüzyon MRG bir fonksiyonel görüntüleme yöntemi olarak tanı ve ayırıcı tanıda önemli katkılar sağlayabilmektedir. Kontrast madde kullanımına gerek olmaması, uygulamanın kolay olup görüntülerin saniyeler içinde elde edilebilmesi belli başlı

avantajlarıdır. Özellikle 'trace difüzyon' protokolü yüksek kalitede difüzyon görüntüleriyle birlikte ADC haritalarını 22 saniye gibi kısa bir sürede vermektedir. Dokudaki su difüzyonu değerlerinin ADC haritaları üzerinden direkt olarak ölçülüp matematiksel olarak ortaya konabilmesi, diğer fonksiyonel görüntüleme yöntemlerine kıyasla büyük bir avantajdır. Klinik uygulamada henüz çok yeni bir fonksiyonel görüntüleme yöntemi olan difüzyon MRG'nin önümüzdeki yıllarda daha belirgin bir gelişme göstereceği kuşkusuzdur.

Kaynaklar

1. Morriss MC, Zimmerman RA, Bilaniuk LT, Hunter JV, Haselgrove JC. Changes in brain water diffusion during childhood. *Neuroradiology* 1999; 41:929-934.
2. Şener RN. Diffusion MRI: ADC evaluations in the normal brain, and in various diseases. *MAGMA (Suppl)* 2000; 11:120.
3. Şener RN. Diffusion MRI: apparent diffusion coefficient (ADC) values in the normal brain, and a classification of brain disorders based on ADC values. *Comput Med Imaging Graph* 2001; 25:299-326.