

Epidermoid kistlerin araknoid kistlerden ayırımında FLAIR ve difüzyon ağırlıklı MRG bulguları

Bahattin Hakyemez, Harun Yıldız, Necdet Ergin, Sait Uysal, Müfit Parlak

AMAÇ

Intrakranial epidermoid ve araknoid kistlerin görüntülenmesinde, "fluid-attenuated inversion recovery" (FLAIR) ve difüzyon-ağırlıklı eko planar görüntüleme sekanslarını kullanarak, epidermoid kistlerin araknoid kistlerden ayırımında bu sekansların etkinliklerini araştırmak.

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma prospektif olarak iki farklı MR cihazında 24 olgu (12 epidermoid kist, 12 araknoid kist) üzerinde gerçekleştirildi. Değerlendirmede T1-ağırlıklı spin eko, T2-ağırlıklı fast spin eko, FLAIR ve difüzyon-ağırlıklı eko planar görüntüleme sekansları kullanıldı. Lezyonlar kalitatif ve kantitatif olarak değerlendirildi. Kalitatif değerlendirmede lezyonların sinyal intensiteleri beyin omurilik sıvısı ile karşılaştırıldı. Kantitatif değerlendirme difüzyon-ağırlıklı görüntüler üzerinden yapılarak, kistik alanlardan ve derin beyaz cevherden "apparent diffusion coefficient" (ADC) değerleri ölçüldü. İstatistiksel analiz için Mann-Whitney U testi kullanıldı.

BULGULAR

Araknoid kistler tüm sekanslarda beyin omurilik sıvısı ile aynı intensitede izlenirken, toplam ortalama ADC değeri $3,41 \pm 0,17 (\pm SS) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{sn}$ olarak ölçüldü. Epidermoid kistlerin tamamı ise, difüzyon-ağırlıklı "trace" görüntülerde beyin omurilik sıvısı ve beyin dokusuna göre belirgin hiperintensite. Epidermoid kistlerin ortalama ADC değeri, $1,15 \pm 0,11 (\pm SS) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{sn}$ olarak ölçüldü. Epidermoid kistlerin ADC değerinin araknoid kistlerden belirgin olarak düşük ($p < 0,001$), derin beyaz cevherden ise yüksek olduğu saptandı ($p < 0,01$).

SONUÇ

Bu çalışma ile epidermoid kistlerin radyolojik olarak gösterilmesi ve araknoid kistlerden ayırımında, FLAIR sekansının konvansiyonel sekanslara göre daha üstün olduğu, difüzyon-ağırlıklı "trace" görüntülemenin ve ADC değerinin ölçümünün ise problem çözücü olarak kullanılabileceği görüldü. Ayrıca bu sekansların operasyon sonrası olası rezidü lezyonların gösterilmesinde de yol gösterici olabileceği saptandı.

Epidermoid kist (EK) ve araknoid kist (AK) bilgisayarlı tomografide (BT) genellikle kontrast tutulumu göstermeyen beyin omurilik sıvısı (BOS) ile aynı dansitede kistik yapılar şeklinde görülür. Bu nedenle BT'de lezyonların ayırımını yapmak her zaman mümkün olamamaktadır (1). Konvansiyonel manyetik rezonans görüntülemesinde (MRG) ise lezyonlar uzun T1 ve T2 relaksasyon zamanına sahip olduklarından BOS ile aynı ya da BOS'a yakın intensitede görülürler (2, 3). BOS oranı yüksek bazı EK'ların sinyal intensiteleri başta AK'lar olmak üzere intrakranial kistik lezyonlar ile karışabildiğinden, konvansiyonel MRG teknikleri radyolojik ayırmda yetersiz kalabilmektedir (4, 5). Konu ile ilgili literatür gözden geçirildiğinde bu lezyonları görüntülemesinde konvansiyonel BT, BT sisternografi, konvansiyonel MRG, "constructive interference in steady-state" (CISS) ve "3D Fourier transform fast MR imaging with steady-state free precession" MRG gibi bir çok tekniğin kullanıldığı görülmektedir (6-8). Ancak bu yöntemlerin teknik yetersizlikleri ve kullanılan cihaza bağımlılık göstermeleri popüleritelerini ve klinik kullanımlarını önemli ölçüde kısıtlamaktadır (5, 7, 8).

"Fluid-attenuated inversion recovery" (FLAIR) sekansının konvansiyonel T1 ve T2-ağırlıklı sekanslara oranla intrakranial kistik lezyonları saptama ve karakterize etmede daha duyarlı olduğu belirtilmektedir (9-12). Difüzyon-ağırlıklı sekansların EK'ların tanısında ve diğer kistik lezyonlardan ayırımında ilave bilgiler verdiği önceki yayınlarda ifade edilmektedir (9, 13). Buna göre EK'lardan elde edilen "apparent diffusion coefficient" (ADC) değerlerinin BOS'dan ya da AK'lardan elde edilen değerlerden belirgin düşük olduğu görülmektedir. Ancak literatür incelendiğinde EK'ların ve AK'ların tanısında difüzyon-ağırlıklı görüntüleme ile ilgili çalışmaların sınırlı sayıda olduğu ve bu çalışmalarda en geniş serinin 8 olgu ile yapıldığı görülmektedir (5). Çalışmamızda difüzyon-ağırlıklı "echo-planar imaging" (EPI) ve FLAIR sekanslarını kullanarak bu sekansların EK'ların ve AK'ların radyolojik tanısına katkılarını prospektif olarak araştırdık ve ADC değerlerini sayısal olarak analiz ettik. Ayrıca bu lezyonların konvansiyonel MRG bulguları gözden geçirilerek, şimdiye kadar literatürde 10'dan az sayıda bildirilen dördüncü ventrikül yerleşimli bir EK olgusunu da sunduk.

Olgular

Çalışmamız 2000-2003 yılları arasında yaşları 10 ile 64 arasında değişen (yaş ortalaması, 42) 13'ü kadın, 11'i erkek toplam 24 olgu üze-

B. Hakyemez (E)

BURATOM Radyolojik Tanı Merkezi, Bursa

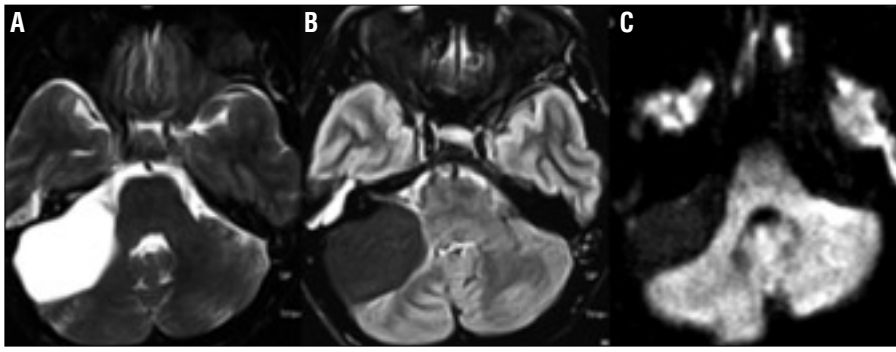
H. Yıldız, M. Parlak

Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Bursa

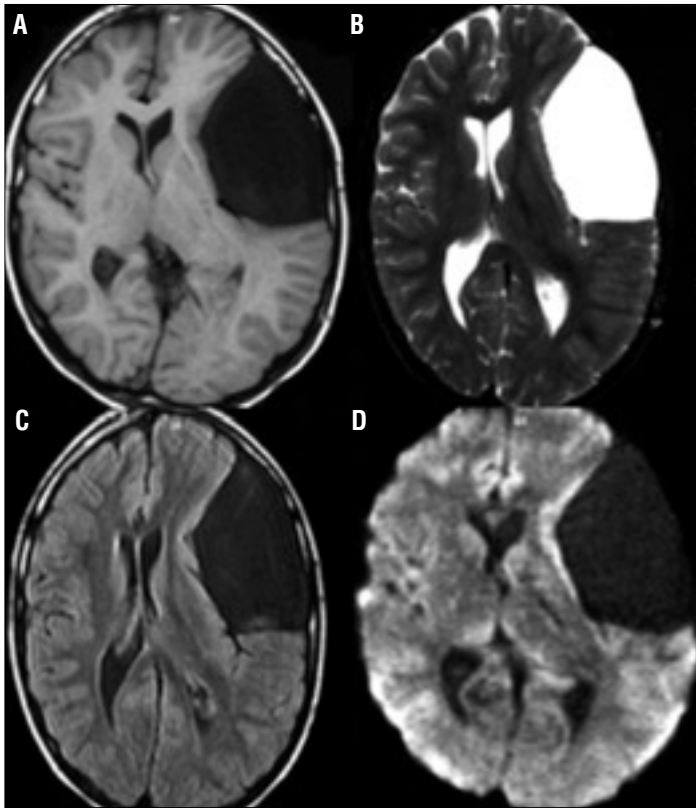
N. Ergin, S. Uysal

Bursa Devlet Hastanesi, Beyin Cerrahisi Bölümü, Bursa

Gelişi: 22.05.2003 / Kabulü: 04.09.2003



Resim 1. Otuzdokuz yaşında kadın olguda sağ serebellopontin köşe yerleşimli araknoid kist. **A.** Aksiyel T2-ağırlıklı FSE görüntülerde serebelluma belirgin bası görülüyor. Kistin intensitesi BOS ile aynı. Aksiyel FLAIR (**B**) ve difüzyon-ağırlıklı "trace" EPI (**C**) görüntülemelerde (B=1000 sn/mm²) kist içeriği tümüyle baskılanmakta ve BOS ile aynı intensitede izlenmekte. Kistin ADC değeri 3.343×10^{-3} mm²/sn ölçüldü.



Resim 2. Yirmidört yaşında kadın olguda sol temporoparietal yerleşimli araknoid kist. Aksiyel T1-ağırlıklı SE (**A**), T2-ağırlıklı FSE (**B**) ve FLAIR (**C**) görüntülerde BOS ile aynı intensitede kistik lezyon görülüyor. Difüzyon-ağırlıklı "trace" EPI görüntülemesinde (**D**) (B=1000 sn/mm²) lezyon tümüyle baskılanmakta ve BOS ile aynı intensitede izlenmekte. Kistin ADC değeri 3.276×10^{-3} mm²/sn ölçüldü.

rinde gerçekleştirildi. Olguların 12'si EK, 12'si AK idi. Lezyonların çapı 2 cm ile 13 cm arasında değişmekteydi. EK'ların sekizi serebellopontin açığı, biri perimezensefalik sistern, ikisi lateral ventrikül ve biri de dördüncü ventrikül yerleşimliydi. Lezyonların üçü rezidü lezyon olup, daha önceden opere edilmişti. Bu lezyonların ikisi serebellopontin açıda, diğeri lateral ventriküldeydi. Serebellopontin yerleşimli bir olgu klinik bulguların deva-

mı nedeniyle ikinci kez opere edildi. Diğer iki rezidü lezyonun radyolojik ve klinik izlemi sürmektedir. Serimizdeki AK'lar temporoparietal, serebellopontin köşe, kuadrigeminal sistern, temporal ve paryetooksipital bölge yerleşimliydi. Lezyonların 4'ünün tanısı cerrahi ile, 8'inin tanısı ise BT sisternografi ile karşılaştırılarak doğrulandı. Bu olgular belirgin klinik bulgu göstermemesi nedeniyle klinik ve radyolojik olarak izleme alındı.

MRG protokolü

Tüm incelemeler 1.5 T süper iletken iki ayrı magnette ve standart kafa sarğısı kullanılarak yapıldı. Olguların 11'inin tetkikleri Signa LX Highspeed (40 mT/M) (General Electric Medical Systems, Milwaukee, USA) cihazında, 13'ünün tetkikleri ise Magnetom Vision Plus (23 mT/M) (Siemens Medical Systems, Erlangen, Almanya) cihazında gerçekleştirildi. MRG yöntemi olarak kontrast madde öncesi aksiyel düzlemde konvansiyonel T1 ve T2-ağırlıklı, FLAIR ve difüzyon-ağırlıklı EPI sekanslar kullanıldı. Ardından kontrast madde sonrası aksiyel ve sagittal düzlemde T1-ağırlıklı görüntüler elde olundu. Teknik parametreler Signa LX cihazında: T1-ağırlıklı spin eko (SE) sekans için TR:600/TE:12/NEX:2, T2-ağırlıklı fast spin eko (FSE) sekans için TR:4500/TE:82/NEX:3, FLAIR inceleme için ise TR:9000/TE:124/TI:2200/NEX:1 olarak belirlendi. Magnetom Vision Plus cihazının teknik parametreleri, T1-ağırlıklı SE için TR:550/TE:14/NEX:2, T2-ağırlıklı FSE için TR:3500/TE:99/NEX:3 ve FLAIR inceleme için ise TR:10000/TE:112/TI:2100/NEX:1 olarak belirlendi. Her iki sistemde matriks büyüklüğü T1-ağırlıklı SE ve T2-ağırlıklı FSE sekanslarda 256x256, FLAIR sekansında 192x256 seçildi. Görüntüleme alanı (FOV) 200x230 mm, kesit kalınlığı 5 mm ve kesit aralığı 1 mm olup, tüm sekanslar için bu değerler standarttı. Faz kodlama yönü aksiyel düzlemde alınan sekanslarda sağ-sol, sagittal düzlemde alınan sekanslarda ön-arka olarak belirlendi.

Difüzyon-ağırlıklı görüntüler "single-shot" spin eko T2-ağırlıklı EPI sekansı ile elde edildi. Signa LX sisteminde teknik parametreler TR:10000/TE:126/NEX:1, matriks büyüklüğü 128x256, FOV 240x360 mm, kesit kalınlığı 5 mm, kesit aralığı ise 2 mm idi. Magnetom Vision Plus sisteminde TR:5800/TE:125/NEX:1, matriks büyüklüğü 128x256, FOV 230x320 mm, kesit kalınlığı 6 mm, kesit aralığı ise 1 mm olarak kullanıldı. Difüzyona duyarlı gradyentler her üç yönde de (fre-

Tablo. Olguların klinik ve radyolojik özellikleri

No	Radyolojik tanı	Yaş ve cinsiyet	Lokalizasyon	Klinik	T1A SE	T2A FSE	FLAIR	Difüzyon EPI	Lezyonun ADC değeri	Beyaz cevherin ADC değeri	Tanının doğrulandığı yöntem
1	Epidermoid kist	32/K	Lateral ventrikül	Baş dönmesi	Heterojen izointens	Heterojen izointens	Heterojen hiperintens	Hiperintens	1.230 x 10 ⁻³	0.923 x 10 ⁻³	Cerrahi
2	Epidermoid kist	36/E	Serebellopantin köşe	Baş ağrısı, nöbet	Heterojen izointens	Heterojen izointens	Heterojen hiperintens	Hiperintens	0.994 x 10 ⁻³	0.879 x 10 ⁻³	Cerrahi
3	Epidermoid kist	44/K	Serebellopantin köşe	Baş ağrısı, dengesizlik	Heterojen izo/hiperintens	Heterojen izointens	Heterojen hiperintens	Hiperintens	1.280 x 10 ⁻³	1.023 x 10 ⁻³	Cerrahi
4	Epidermoid kist	15/K	Serebellopantin köşe	Dengesizlik	Homojen izointens	Homojen	Homojen hiperintens	Hiperintens	1.113 x 10 ⁻³	1.003 x 10 ⁻³	Cerrahi
5	Epidermoid kist	64/K	Serebellopantin köşe (postop kalan tümör)	Trigeminal nevralsi	Heterojen izointens	Heterojen izointens	Heterojen hiperintens	Hiperintens	1.126 x 10 ⁻³	1.123 x 10 ⁻³	Cerrahi
6	Epidermoid kist	34/E	Serebellopantin köşe (postop kalan tümör)	Baş ağrısı	Heterojen izointens	Heterojen izointens	Heterojen hiperintens	Hiperintens	1.360 x 10 ⁻³	0.974 x 10 ⁻³	Cerrahi
7	Epidermoid kist	38/K	Serebellopantin köşe	Baş ağrısı, dengesizlik	Heterojen izointens	Heterojen izointens	Heterojen hiperintens	Hiperintens	0.986 x 10 ⁻³	0.930 x 10 ⁻³	Cerrahi
8	Epidermoid kist	45/E	Dördüncü ventrikül	Baş ağrısı	Heterojen izointens	Heterojen izointens	Heterojen hiperintens	Hiperintens	1.230 x 10 ⁻³	0.912 x 10 ⁻³	Cerrahi
9	Epidermoid kist	22/K	Serebellopantin köşe	Baş ağrısı	Heterojen izointens	Heterojen izointens	Heterojen hiperintens	Hiperintens	1.112 x 10 ⁻³	0.923 x 10 ⁻³	Cerrahi
10	Epidermoid kist	36/K	Lateral ventrikül (postop kalan tümör)	Baş dönmesi, baş ağrısı	Heterojen izointens	Heterojen izointens	Heterojen hiperintens	Hiperintens	1.118 x 10 ⁻³	1.025 x 10 ⁻³	Cerrahi
11	Epidermoid kist	33/K	Ambiyent sistem	Baş ağrısı	Heterojen izointens	Heterojen izointens	Heterojen hiperintens	Hiperintens	1.142 x 10 ⁻³	0.910 x 10 ⁻³	Cerrahi
12	Epidermoid kist	54/E	Serebellopantin köşe	Baş ağrısı	Heterojen izointens	Heterojen izointens	Heterojen hiperintens	Hiperintens	1.070 x 10 ⁻³	0.984 x 10 ⁻³	Cerrahi
13	Araknoid kist	15/E	Temporoparietal bölge	Baş ağrısı, nöbet	Hipointens	Hiperintens	Hipointens	Hipointens	3.250 x 10 ⁻³	1.028 x 10 ⁻³	BT sisternografi
14	Araknoid kist	10/E	Temporal bölge	Baş ağrısı	Hipointens	Hiperintens	Hipointens	Hipointens	3.451 x 10 ⁻³	1.025 x 10 ⁻³	BT sisternografi
15	Araknoid kist	39/K	Serebellopantin köşe	Baş dönmesi	Hipointens	Hiperintens	Hipointens	Hipointens	3.343 x 10 ⁻³	1.125 x 10 ⁻³	BT sisternografi
16	Araknoid kist	14/E	Paryetookspital bölge	Baş ağrısı	Hipointens	Hiperintens	Hipointens	Hipointens	3.384 x 10 ⁻³	1.065 x 10 ⁻³	Cerrahi
17	Araknoid kist	19/E	Temporoparietal bölge	Baş ağrısı, dengesizlik	Hipointens	Hiperintens	Hipointens	Hipointens	3.576 x 10 ⁻³	0.945 x 10 ⁻³	BT sisternografi
18	Araknoid kist	32/K	Kuadrigeminal sistem	Baş ağrısı	Hipointens	Hiperintens	Hipointens	Hipointens	3.584 x 10 ⁻³	0.896 x 10 ⁻³	Cerrahi
19	Araknoid kist	28/E	Temporal bölge	Baş ağrısı, nöbet	Hipointens	Hiperintens	Hipointens	Hipointens	3.762 x 10 ⁻³	1.022 x 10 ⁻³	BT sisternografi
20	Araknoid kist	33/K	Serebellopantin köşe	Baş ağrısı, dengesizlik	Hipointens	Hiperintens	Hipointens	Hipointens	3.459 x 10 ⁻³	1.015 x 10 ⁻³	Cerrahi
21	Araknoid kist	24/K	Temporoparietal bölge	Baş ağrısı, nöbet	Hipointens	Hiperintens	Hipointens	Hipointens	3.276 x 10 ⁻³	1.005 x 10 ⁻³	BT sisternografi
22	Araknoid kist	18/E	Temporal bölge	Baş ağrısı, nöbet	Hipointens	Hiperintens	Hiperintens	Hipointens	3.214 x 10 ⁻³	1.038 x 10 ⁻³	BT sisternografi
23	Araknoid kist	37/E	Temporal bölge	Baş ağrısı	Hipointens	Hiperintens	Hiperintens	Hipointens	3.238 x 10 ⁻³	1.042 x 10 ⁻³	BT sisternografi
24	Araknoid kist	22/K	Kuadrigeminal sistem	Baş ağrısı, baş dönmesi	Hipointens	Hiperintens	Hiperintens	Hipointens	3.412 x 10 ⁻³	1.016 x 10 ⁻³	Cerrahi

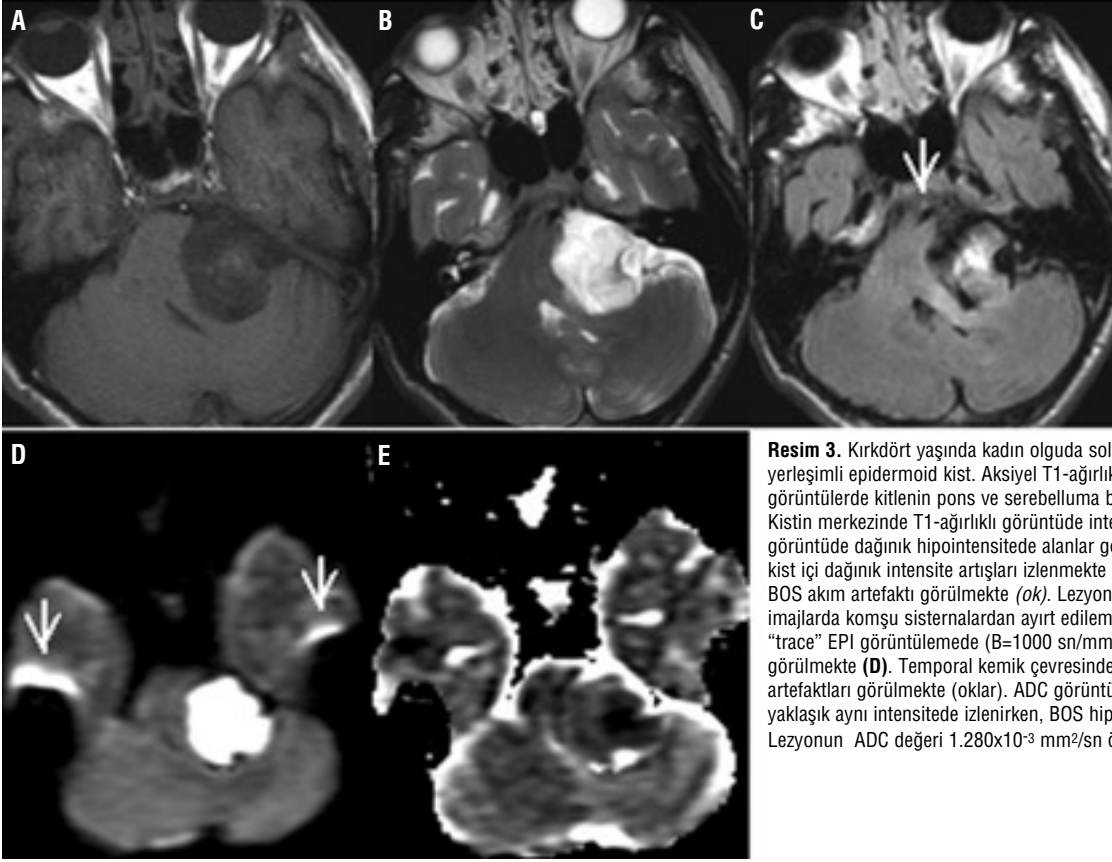
kans, faz ve kesit belirleme yöntemlerinde) uygulandı. Görüntülemelerde b değeri 0 ve 1000 sn/mm² olarak kullanıldı. ADC değerleri Signa LX magnette "Functool 1.9" opsiyonu kullanılarak otomatik ölçüldü. Magnetom Vision Plus cihazında otomatik ADC değerleri elde edilemediğinden, aşağıdaki formül ile ölçümler yapıldı.

$$ADC = 1/Bx \ln(So/Sb)$$

[So; difüzyon gradiyent uygulanmadan (B0=0 sn/mm²) elde edilen sinyal intensitesi, Sb; difüzyon gradiyent (Bmax = 1000 sn/mm²) uygulandıktan sonra elde edilen sinyal intensitesini göstermektedir] (9).

Difüzyon-ağırlıklı EPI sekanslarda görsel değerlendirme "trace" görüntülerden yapıldı. EK'lı olguların sekizinden "exponential" difüzyon-ağır-

lıklı görüntüler elde edildi. Yalnızca Signa LX cihazı "exponential" difüzyon-ağırlıklı görüntüler elde edilmesine olanak veriyordu. Böylece dokunun T2 sinyal intensitesinden kaynaklanan T2-parlama etkisinin ortadan kaldırılması hedeflendi. Difüzyon-ağırlıklı "exponential" ve "trace" görüntüler birlikte incelenerek görüntülerde ortaya çıkan hiperintens görünümü-



Resim 3. Kırkdört yaşında kadın olguda sol serebellopontin köşe yerleşimli epidermoid kist. Aksiyel T1-ağırlıklı SE (A), T2-ağırlıklı FSE (B) görüntülerde kitlenin pons ve serebelluma belirgin basısı izlenmekte. Kistin merkezinde T1-ağırlıklı görüntüde intensite artışı, T2-ağırlıklı görüntüde dağınık hipointensite alanlar görülmekte. FLAIR görüntüde kist içi dağınık intensite artışları izlenmekte (C). Preontin sisternada BOS akım artefaktı görülmekte (ok). Lezyon sınırları A,B ve C'deki imajlarda komşu sisternalardan ayırt edilemiyor. Difüzyon-ağırlıklı "trace" EPI görüntülemeye (B=1000 sn/mm²), lezyon belirgin hiperintens görülmekte (D). Temporal kemik çevresinde EPI sekansa ait duyarlılık artefaktları görülmekte (oklar). ADC görüntülerde lezyon parankim ile yaklaşık aynı intensitede izlenirken, BOS hiperintens görülmekte (E). Lezyonun ADC değeri 1.280×10^{-3} mm²/sn ölçüldü.

mün nedeni açıklanmaya çalışıldı.

Kalitatif incelemede lezyonların; sinyal intensiteleri, içeriği (homojen ya da heterojen), sınırları (düzgün ya da düzensiz), komşu BOS ya da sisternalarla ilişkisi ve lezyonun kitle etkisi, iki radyolog tarafından görsel olarak değerlendirildi. Kistik lezyonların sinyal intensitelerinin BOS ile karşılaştırılması; belirgin hipointens, hafif hipointens, izointens, hafif hiperintens ve belirgin hiperintens şeklinde yapıldı. Kantitatif değerlendirme difüzyon-ağırlıklı görüntüler üzerinden gerçekleştirildi. Kistik lezyonların santralinden ve derin beyaz cevherden ADC değerleri elde edildi. Ölçümlerde en az 30 piksel sirküler "region of interest" (ROI) kullanıldı. Parsiyel volüm etkisinden mümkün olduğunca uzaklaşmak için, kistik lezyonların santralinden ölçümler yapıldı. Derin beyaz cevherden ADC ölçümleri periventriküler düzeyden elde edildi. İstatistiksel analiz için Mann-Whitney U testi kullanıldı.

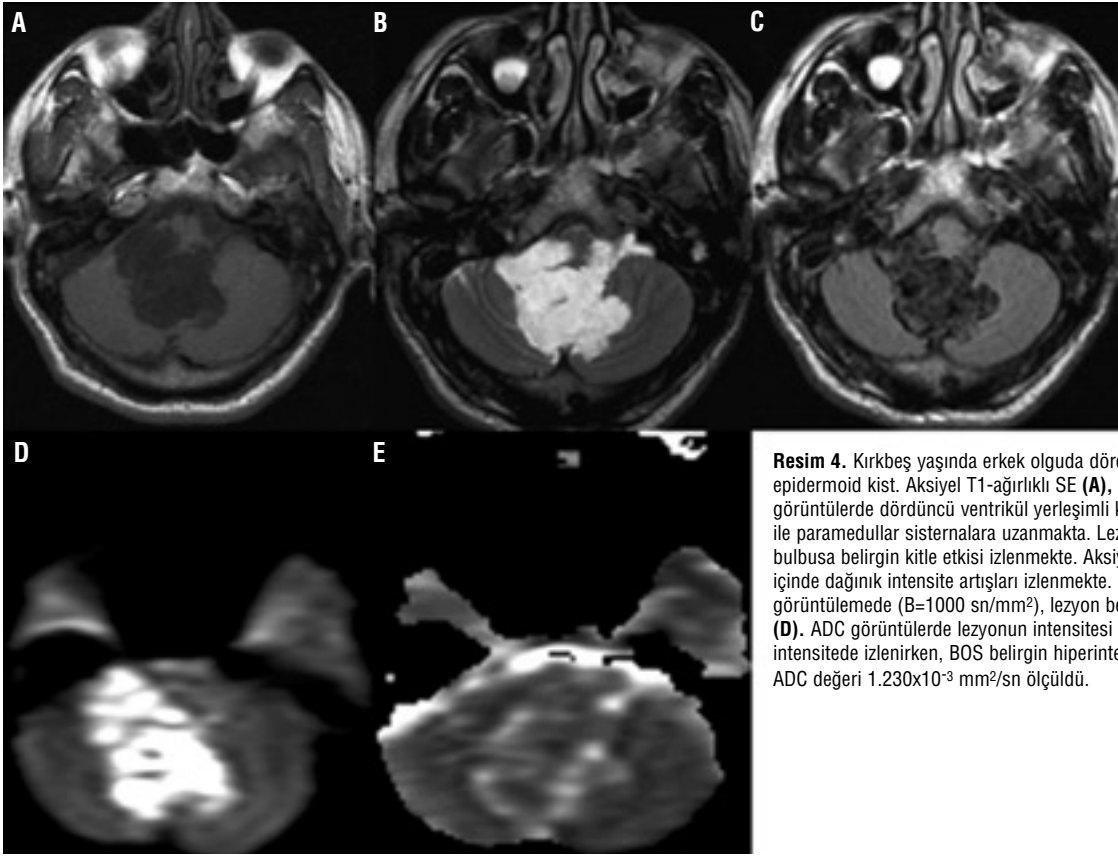
Bulgular

Olguların genel olarak klinik ve radyolojik özellikleri Tablo'da özetlenmiştir.

AK'lı olgulardaki lezyonların tamamı konvansiyonel T1 ve T2 ağırlıklı sekanslar, FLAIR ve difüzyon-ağırlıklı EPI sekanslarda BOS ile aynı intensitede izlendi (Resim 1, 2). Kistlerin sınırları düzgün olup, iç yapıları homojen görünümdeydi. Lezyonların tamamında komşu beyin dokusu üzerine belirgin kitle etkisi vardı. Toplam ortalama ADC değerleri, 3.214 ile 3.762 arasında ölçüldü (ortalama, $3,41 \pm 0,17 (\pm SS) \times 10^{-3}$ mm²/sn).

EK'lı olgulardaki lezyonların tamamı ise, konvansiyonel T1-ağırlıklı SE sekanslarda BOS'a göre hafif heterojen ve izointens görünümdeydi. İzointens olarak izlenen bir lezyonda dağınık tarzda hiperintens alanlar görüldü (Resim 3A). T2-ağırlıklı FSE sekanslarda lezyonların tamamı BOS ile aynı intensite özellikleri taşıırken, bu lezyonların onbirinde heterojen ve dağınık tarzda hafif hipointens septa izlenimi

veren yapılar görüldü (Resim 3B). Serebellopontin açı yerleşimli bir EK'nın içeriği T1/T2 ağırlıklı sekanslarda BOS ile aynı özellikte ve homojen görünümdeydi. T1 ve T2 sinyal özelliklerine göre bu lezyonun AK'dan ayrımı tam yapılamadı. FLAIR sekansında, lezyonların onbirinde dağınık tarzda BOS'a göre belirgin intensite artışları saptanırken, bir olgu homojen hiperintens özellikler göstermekteydi. Çalışmamızda EK'ların tanısında FLAIR sekansın konvansiyonel T1 ve T2-ağırlıklı sekanslara oranla lezyonların gösterilmesinde daha anlamlı olduğu görüldü. Ancak onbir olguda lezyonların sınırlarının komşu BOS alanlarından ayrımı T1/T2-ağırlıklı sekanslar ile birlikte FLAIR görüntülerde tam olarak yapılamadı (Resim 3). Serebellopontin açıda yerleşim gösteren iki EK'lı olgu dışında diğer EK'ların tamamında kitle etkisi belirgindi. Özellikle serebellopontin açıda izlenen lezyonlarda bası bulguları ileri düzeydeydi (Resim 3). EK'ların difüzyon-ağırlıklı "trace" görüntülerde



Resim 4. Kırkbeş yaşında erkek olguda dördüncü ventrikül yerleşimli epidermoid kist. Aksiyel T1-ağırlıklı SE (A), T2-ağırlıklı FSE (B) görüntülerde dördüncü ventrikül yerleşimli kitlenin foramen luchka yolu ile paramedullar sisternalara uzanmakta. Lezyonun dördüncü ventrikül ve bulbusa belirgin kitle etkisi izlenmekte. Aksiyel FLAIR görüntüde (C) kist içinde dağınık intensite artışları izlenmekte. Difüzyon-ağırlıklı "trace" EPI görüntülemelerde (B=1000 sn/mm²), lezyon belirgin hiperintens görülmekte (D). ADC görüntülerde lezyonun intensitesi parankim ile yaklaşık aynı intensitede izlenirken, BOS belirgin hiperintens görülmekte (E). Lezyonun ADC değeri 1.230×10^{-3} mm²/sn ölçüldü.

BOS ve derin beyaz cevher ile karşılaştırıldığında belirgin derecede hiperintens oldukları görüldü (Resim 3D, 4D, 5D). Lezyonların ortalama ADC değerleri 0.986 ile 1.360 arasında (ortalama, $1,15 \pm 0,11 (\pm SS) \times 10^{-3}$ mm²/sn) ve derin beyaz cevherin 0.879 ile 1.123 arasında (ortalama, $0,97 \pm 0,07 (\pm SS) \times 10^{-3}$ mm²/sn) değişmekteydi. EK'ların ADC değerleri AK'lerden daha düşük ($p < 0,001$), derin beyaz cevherden daha yüksek bulundu ($p < 0,01$). EK tanısı alan ve daha önce opere edilen üç olgunun operasyon sonrası elde olunan MRG'lerinde rezidü lezyonu gösteren bulgular vardı (Resim 6). Bu lezyonların da difüzyon-ağırlıklı EPI sekanslar ile kolayca gösterilebildiği saptandı. ADC ve "eksponential" difüzyon-ağırlıklı görüntülerde kistik lezyonların tamamı beyin dokusu ile aynı intensitede ya da minimal hiperintens görünümdeydi (Resim 3E, 4E, 6C-D).

Tartışma

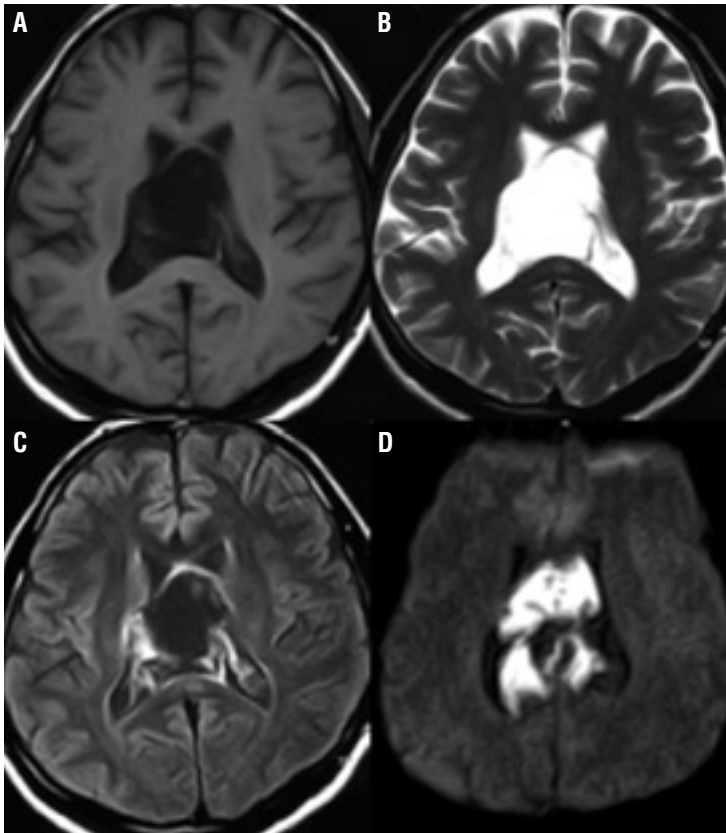
EK'lar, tüm intrakranyal tümörlerin

%0.2-1.8'ini oluşturan, ektodermal orijinli nadir görülen konjenital lezyonlardır (4). Benign lezyonlar olup, genellikle 3-4. dekata kadar belirgin klinik bulgu göstermezler. Sıklıkla serebellopontin açıda, daha az olarak parasellar bölgede ve orta kranyal fossada yerleşim gösterirler. Nadir olarak intraaksiyel yerleşim gösterdiklerinde sıklıkla dördüncü ventrikül düzeyindedirler (14). Histolojik olarak dışı fibröz kapsül ile çevrili olup içi yassı epitel hücrelerden oluşur. Kist içerisinde zengin kolesterol kristalleri, keratin, protein, debri ve BOS bulunmaktadır (15, 16). Sıklıkla ekstraaksiyel düzeyde yerleşen bu lezyonlar patolojik olarak düzensiz sınırlı ve karnıbahar görünümünde olup dış görünüşleri nedeniyle "inci tümörler" olarak bilinirler. En önemli özellikleri yavaş şekilde ilerlemesi, boşluklara doğru ilerleyici yapıda olması, nörovasküler yapıları sarması ve komşu beyin dokusu içerisine invajinasyon göstermesidir. Bu nedenle klinik bulgu verdiklerinde lezyonlar ileri boyutlardadır. Klinik bulgu veren olgularda

genel yaklaşım cerrahi olup, amaç kisti mümkün olduğunca dekompresye etmek ve tümör kapsülünü çıkarmaktır (17).

AK'lar intrakranyal kitlelerin yaklaşık %1'ini oluşturan, araknoid tabaka ile devamlılık gösteren, sıklıkla ekstraaksiyel bölgede dura ile beyin arasında, düzgün sınırlı, BOS ile aynı sinyal ve dansite özellikleri gösteren, kalsifikasyon içermeyen ve kontrast madde tutmayan benign lezyonlardır (18). Nadir olarak komplike oldukları zaman içeriği ksantokromik, proteinöz veya hemorajik özellikte olabilirler (19). Bu durumlarda EK ile karışabilirler (5, 7). En sık orta kranyal fossa (%43) olmak üzere, daha az sıklıkla serebellopontin köşede, serebral konveksitede, suprasellar bölgede, kuadrigeminal sinternde, interhemisferik fissürde, koroidal fissürde ve retrosebellar bölgede de görülebilirler (18). Radyolojik görüntüleme olgularının çoğunda tanısal değer taşımaktadır (18).

Literatürde EK'ların konvansiyonel MRG bulgularını tanımlamada kistin



Resim 5. Otuzaltı yaşında kadın olgunun lateral ventrikül düzeyinde rezidü epidermoid kist. Aksiyel T1-ağırlıklı SE (A), T2-ağırlıklı FSE (B) görüntülerde kitle lateral ventriküle doğru yayılım göstermekte. Aksiyel FLAIR görüntüde kist çevresinde dağınık intensite artışları izlenmekte (C). Lezyon sınırı komşu BOS alanlarından ayırt edilemiyor. Difüzyon-ağırlıklı "trace" EPI görüntülemeye (B=1000 sn/mm²), rezidü lezyon belirgin hiperintens görülmekte (D). Lezyonun ADC değeri 1.118×10^{-3} mm²/sn olarak ölçüldü.

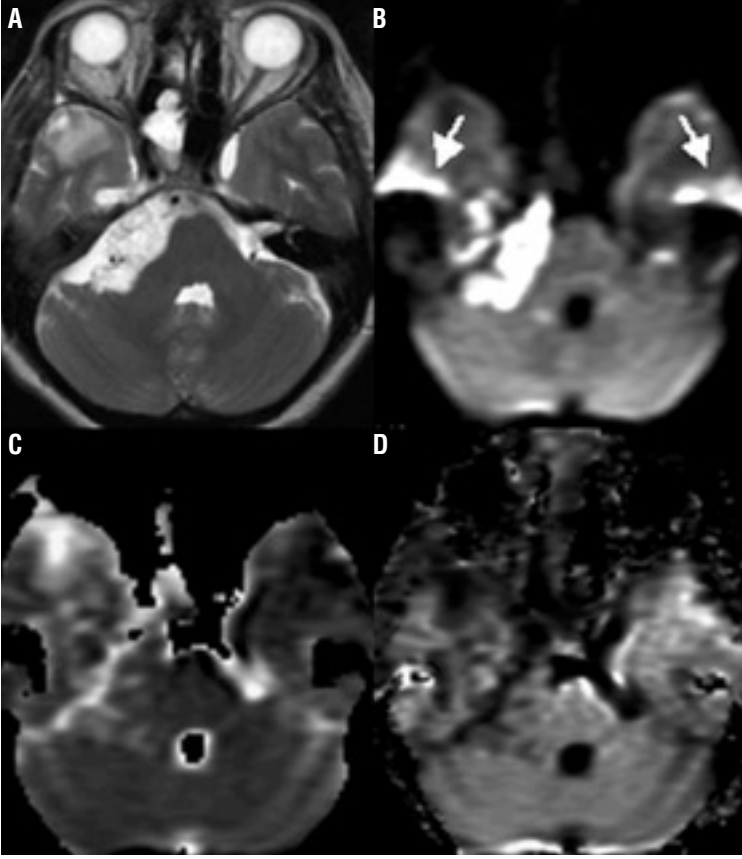
içeriği, dış yüzeyi ve kitlenin beyin parankimi ile olan ilişkisi üzerinde durulmaktadır. EK'lar T1-ağırlıklı sekanslarda sıklıkla hipointens özellikte olup, BOS ile aynı ya da BOS ile beyin parankimi arası intensite özelliği gösterirler. T2-ağırlıklı sekanslarda ise BOS ile izointens ya da hafif hiperintens olup, dağınık şekilde heterojen hipointens sinyal alanları içerirler (3, 20, 21). EK'ların dış yüzeylerinin düzensizlikler göstermesi, sisternalar boyunca genişleyerek yayılımı, nörovasküler yapıları sarması ve kitle etkisinin belirgin oluşu önemli tanı kriterleri olarak gösterilmektedir (3,20,22, 23). Serebellopontin köşe yerleşimli küçük boyutlardaki iki lezyon dışında serimizdeki diğer tüm EK'larda belirgin kitle etkisi ve konvansiyonel sekanslarda tanımlanan tanı kriterleri izlenmekteydi. Daha önceki çalışmalarda da bildirilen konvansiyonel MRG ile EK'ların büyük bir bölümünün

AK'lardan kolayca ayrılabilmesi görüşü bizim çalışmamızla da doğrulandı. Ancak konvansiyonel sekanslar ile bu ayrımı yapmanın mümkün olmadığı az sayıda olgu için gelişmiş sekanslara ihtiyaç olduğu görüldü. Çalışma esnasında EK'ların sisternalar içerisinde BOS ile intensitelerinin örtüşmesi nedeniyle, lezyon sınırlarının konvansiyonel sekanslar ile tam olarak gösterilemediği dikkati çekti. Ancak AK'ların tamamında lezyonların sınırlarının net olarak seçilebildiği görüldü.

FLAIR sekansının ağır T2 özelliği olması ve BOS'u baskılaması nedeniyle EK'ların tanısında ilave bilgiler verdiği bilinmektedir. Konvansiyonel T1 ve T2-ağırlıklı sekanslar ile birlikte kullanıldığında FLAIR sekansının tanı duyarlılığı belirgin bir şekilde artmaktadır (5,24). Ayrıca literatürde EK'ları tanımlamada ve anatomik yapılarla ilişkisini göstermede CISS se-

kansı ile ilgili çalışmalar bildirilmektedir. CISS sekansı FLAIR sekansa göre epidermoid tümörün yayılımını ve özellikle nörovasküler yapılarla ilişkisini daha doğru şekilde ortaya koymaktadır (25). Çalışmamızda FLAIR sekansında EK'ların tamamının BOS'a göre hiperintens, AK'ların ise hipointens olduklarını izledik. EK'larda izlenen hiperintens görünüm bir olgu dışında kist içinde dağınık şekildeydi. FLAIR sekansta; kist içinde intensite artışlarının homojen olmaması nedeniyle EK'lerin sınırları net olarak seçilememekteydi. EK'ların FLAIR sekansı ile elde olunan imajlarda hiperintens görünümünün nedeni kistik ortamda bulunan protein ve keratin içeriğine bağlanmaktadır (7,24). EK'ları göstermede bu sekansın en önemli dezavantajlarından birinin BOS miktarının yüksek olduğu kistik alanlarda sinyal intensitelerinin BOS ile aynı intensitede olmasıdır (7). Ayrıca bazal sisterna, pre-pontin ve ambiyent sisternalar gibi BOS dolanımının yüksek olduğu alanlarda FLAIR sekansta hiperintens artefaktlar görülebilmektedir (Resim 3C). Bu durumlar küçük boyutlu EK'ların saptanmasında ve özellikle operasyon sonrası dönemde olası rezidü lezyonu değerlendirmede ciddi güçlükler neden olabilmektedir (5). Ancak konvansiyonel sekanslar ile birlikte FLAIR sekansı ile elde olunan bir MRG protokolü AK'ları tanımlamada yeterli olmaktadır.

Difüzyon ağırlıklı MRG'de elde edilen görüntü temelde su moleküllerinin translasyonel hareketinden (Brownian hareket) oluşmaktadır (26). Difüzyon ağırlıklı görüntülerde elde edilen sinyal intensitesi dokunun ADC değerinden ve T2 relaksasyon zamanından etkilenmektedir (27). ADC değerinin düşük olduğu lezyonlar (iskemi, apse ve EK gibi) hiperintens izlenirken, ADC değerinin yüksek olduğu lezyonlar (AK, porencefalik kist gibi) ise hipointens olarak görülürler (9,13). Tsuruda ve ark. EK'lardan elde edilen ADC değerinin beyin parankimiyle, AK'lardan edilenin ise BOS ile benzer olduğunu gös-



Resim 6. Altmışdört yaşında kadın olguda sağ serebellopontin köşe yerleşimli rezidü epidermoid kist. Aksiyel T2-ağırlıklı FSE görüntülerde pons ve serebelluma hafif derecede bası izlenmekte (A). Kistin intensitesi T2-ağırlıklı görüntülerde BOS ile aynı intensitede izlenmekte. Kitle içinde vasküler yapılar sarılmış olup, kist içinde heterojenite görülmekte. Difüzyon-ağırlıklı "trace" EPI'de (B=1000 sn/mm²) lezyon belirgin hiperintens görülmekte (B). Temporal kemik çevresinde EPI sekansa ait artefakt izlenmekte (oklar) ADC görüntülerde lezyon parankim ile yaklaşık aynı intensitede izlenirken, BOS hiperintens görülmekte (C). Lezyonun ADC değeri 1.126×10^{-3} mm²/sn ölçüldü. "Ekspansiyon" difüzyon-ağırlıklı görüntülerde dokunun T2 etkisi uzaklaştırıldığından lezyon beyin dokusu ile benzer intensitede görülmekte (D). Bu bulgu difüzyon-ağırlıklı "trace" görüntülerde ortaya çıkan belirgin hiperintensitenin kısıtlanmış difüzyondan ziyade, dokunun artan T2 etkisinden olduğunu göstermekte.

termişlerdir (13). Ancak kullandıkları sekans EPI olmadığından kantitatif ADC ölçümleri yapamamışlardı. Decambre ve ark. serebellopontin köşe yerleşimli tek bir EK'lı olguda ADC değerini $1.090 (\pm 0.2) \times 10^{-3}$ mm²/sn olarak bildirmişlerdir (28). Chen ve ark. sekiz EK'lı olguda ortalama ADC değerini 1.197×10^{-3} mm²/sn, Annet ve ark. altı EK'lı olguda ADC değerini ortalama 1.070×10^{-3} mm²/sn olarak göstermişlerdir (5,29). EK'larda ADC değerinin düşük olması kist içeriğinin yoğun keratinöz ve proteinöz yapıda olmasına bağlanmaktadır. Bu nedenle serbest protonlarda belirgin kısıtlanma görülmekte ve bunun yansıması olarak da ADC değerinde düşme ile birlikte difüzyon ağırlıklı "trace" görüntülerde belirgin hiperintens

görünüm ortaya çıkmaktadır (29). Çalışmamızdaki dokuz primer ve üç rezidü EK'nın tamamı difüzyon-ağırlıklı EPI sekanslarda BOS'a göre belirgin hiperintensite. Serimizdeki EK'ların ortalama ADC değeri 1.15×10^{-3} , AK'ların 3.41×10^{-3} mm²/sn, derin beyaz cevherin ise 0.97×10^{-3} mm²/sn olarak ölçüldü. EK'ların ADC değerinin beyaz cevherden daha yüksek değerde olmasına rağmen difüzyon ağırlıklı "trace" görüntülerde lezyonların beyaz cevherden belirgin derecede hiperintens olduğu görülmektedir. Bu nedenle ADC değerinde azalma, "trace" görüntülerde ortaya çıkan hiperintens görünümünden tek başına sorumlu olmamaktadır. Difüzyon ağırlıklı görüntülerde anormal ADC değerinin ve dokunun T2 özelliğinin ne oranda sin-

yale katkı sağladığını göstermek zordur. Difüzyon ağırlıklı "trace" görüntülerde akut dönem enfarkt alanında izlenen hiperintens bulguların geç akut ve subakut dönem boyunca da devam ettiği görülmektedir. Enfarkt alanının erken döneminde dokunun ADC değerinin, geç dönemlerde ise doku içinde artan T2 relaksasyon zamanının, sinyal intensitesindeki artışın temel nedeni kabul edilmektedir. Enfarktlı alanda tanımlanan ve dokunun sinyal özelliklerinden kaynaklanan bu durum T2 parlama etkisi olarak bilinmektedir (30, 31). EK'larda uzun T2 zamanı T2 parlama etkisine neden olup, difüzyon ağırlıklı "trace" görüntülerde hiperintens görünümün temel nedenini oluşturmaktadır (5, 28). Çalışmamızda bu modelden yola çıkarak sekiz olguya "exponential" difüzyon-ağırlıklı görüntüler kullanıldı. "Exponential" görüntü matematiksel bir terim olup, ADC'nin negatif logaritmik değeri olarak kabul edilir. Bmax'ın (1000 sn/mm²) B0'a (0 sn/mm²) bölünmesinden elde edilir (29). Bu görüntülerin amacı difüzyon-ağırlıklı görüntülere etki eden dokunun T2 etkisini ortadan kaldırmaktır. Dolayısıyla lezyon ile doku arasında kontrast farkını gösterirler. Elde ettiğimiz "exponential" difüzyon ağırlıklı görüntülerde, EK'ların beyin parankimi ile benzer intensitede oldukları görüldü. Sonuç olarak "trace" görüntülerde izlenen hiperintens görünümün temel nedeni, ADC değerlerindeki azalma değil, dokunun T2 etkisindeki artıştan kaynaklanmaktadır.

Difüzyon EPI MRG'nin en önemli dezavantajı serebral yapılarda anatomik detayın konvansiyonel sekanslara göre yetersizliğidir. Bu durum sekansın çok güçlü gradyentler gerektirmesi ve sinyal-gürültü oranının yeterli düzeyde olmamasından kaynaklanmaktadır (26). Dolayısıyla konvansiyonel MRG, lezyonların operasyon öncesi planlanmasında zorunlu olmaktadır. EPI sekansın kaynaklanan, özellikle kafa tabanı düzeyinde izlenen, kemik yapılara yakın anatomik distorsiyon artefaktları görüntülerde yetersizliğe neden olabilmektedir (Resim 3D, 6B).

Ancak bu artefaktlar kemik-hava ara yüzeylerinde izlendiklerinden radyolojik olarak kolayca ayrılabilirler (5). Özellikle premedullar ve prepontin sisternalar düzeyinde EPI sekansından kaynaklanan bu anatomik distorsiyon etkisinin belirgin olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak intrakranyal EK'ları göstermede FLAIR sekansı ile yapılan MRG'nin, konvansiyonel MRG'ye oranla daha üstün olduğu söylenebilir. Ancak EK'ların heterojen içeriğe sahip olması ve elde olunan imajlarda BOS akımından kaynaklanan artefaktlar nedeniyle, FLAIR ve konvansiyonel sekanslar ile yapılan MRG, lezyonun sınırlarını tam olarak gösteremeyebilir. Operasyon öncesi sınırları tam belirlenemeyen ve diğer intrakranyal kistik lezyonlarla ayrımı kesin olarak yapılamayan durumlarda difüzyon ağırlıklı EPI sekanslar yüksek duyarlılık göstermekte olup, operasyon sonrası olası rezidü bir EK'ı saptamada ve sınırlarını belirlemede de konvansiyonel sekanslara ilave bilgiler verebilmektedir. Bu nedenle difüzyon ağırlıklı EPI sekanslarının ekstraaksi-

yel kistik lezyonların ayırıcı tanısında rutin MRG protokolüne ilave edilme-

sinin gerekli olduğu kanısındayız.

FLAIR AND DIFFUSION-WEIGHTED MR IMAGING IN DIFFERENTIATING EPIDERMOID CYSTS FROM ARACHNOID CYSTS

PURPOSE: To explore the use of fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR) and diffusion-weighted echo planar imaging sequences in imaging of the intracranial epidermoid and arachnoid cysts and assess the efficiency of those sequences in differentiation of epidermoid cysts from arachnoid cysts.

MATERIALS AND METHODS: This study was performed prospectively by using two different MR devices in 24 patients (12 epidermoid cysts, 12 arachnoid cysts). T1-weighted spin echo, T2-weighted fast spin echo, FLAIR and diffusion-weighted echo planar imaging sequences were used. Lesions were evaluated qualitatively and quantitatively. In qualitative evaluation, the signal intensity of the lesions were compared with cerebral spinal flow. Quantitative evaluation was made from the diffusion-weighted images by measuring values of apparent diffusion coefficient (ADC) from the cystic spaces and cerebral white matters. In statistic analyses, Mann-Whitney U test was used.

RESULTS: Arachnoid cysts had the same intensity with cerebral spinal flow in all sequences. Mean ADC value was $3.41 \pm 0.17 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{sn}$. All epidermoid cysts on diffusion-weighted trace images were more hyperintense than brain parenchyma. The mean ADC value of the epidermoid cysts was $1.15 \pm 0.11 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{sn}$. The ADC values of the epidermoid cysts were lower than the arachnoid cysts ($p < 0.001$), but were higher than the cerebral white matter ($p < 0.01$).

CONCLUSION: FLAIR sequences were superior to conventional sequences in imaging of epidermoid cysts and in differentiation of epidermoid cysts from arachnoid cysts. It was also shown that diffusion-weighted trace imaging and measurement of ADC values might be used as problem solving tools. Furthermore, those sequences may be a guide to demonstrate postoperative residual lesions.

Key words: • diffusion magnetic resonance imaging • arachnoid cyst • epidermoid cyst

TURK J DIAGN INTERVENT RADIOL 2003; 9:418-426

Kaynaklar

1. Wasenko JJ, Rosenbloom SA, Estes M, Lanzieri CF, Duchesneau PM. Magnetic resonance of intracranial epidermoids. *Eur J Radiol* 1991;13(2):103-106.
2. Tekkok IH, Cataltepe O, Saglam S. Dense epidermoid cyst of the cerebellopontine angle. *Neuroradiology* 1991; 33:255-257.
3. Steffey DJ, De Filipp GJ, Spera T, Gabrielsen TO. MR imaging of primary epidermoid tumors. *J Comput Assist Tomogr* 1988; 12(3):438-440.
4. Davis KR, Roberson GH, Taveras JM, et al. Diagnosis of epidermoid tumor by computed tomography. Analysis and evaluation of findings. *Radiology* 1976; 119:347-353.
5. Chen S, Ikava F, Kurisu K, et al. Quantitative MR evaluation of intracranial epidermoid tumors by fast fluid-attenuated inversion recovery imaging and echo-planar diffusion-weighted imaging. *AJNR* 2001; 22(6):1089-96.
6. Fein JM, Lipow K, Taati F, Lansem T. Epidermoid tumor of the cerebellopontine angle: diagnostic value of computed tomographic metrizamide cisternography. *Neurosurgery* 1981; 9:179-182.
7. Ikushima I, Korogi Y, Hirai T, Sugahara T, et al. MR of epidermoids with a variety of pulse sequences. *AJNR* 1997; 18(7):1359-1363.
8. Sakamoto Y, Takahashi M, Ushio Y, Korogi Y. Visibility of epidermoid tumors on steady-state free precession images. *AJNR* 1994; 15:1737-1744.
9. Hakyemez B, Parlak M. Characterization of intracranial cystic and necrotic lesions with FLAIR and diffusion-weighted EPI MR imaging. *Turk J Diagn Intervent Radiol* 2002; 8:19-26.
10. Rydberg JN, Hammond CA, Grimm RC, et al. Initial clinical experience in MR imaging of the brain with a fast fluid-attenuated inversion recovery pulse sequence. *Radiology* 1994; 193:173-180.
11. Aprile I, Laiza F, Lavaroni A, Budai R, et al. Analysis of cystic intracranial lesions performed with fluid-attenuated inversion recovery MR imaging. *AJNR* 1999; 20:1259-1267.
12. Tsuchiya K, Mizutani Y, Hachiya J. Preliminary evaluation of fluid-attenuated inversion recovery MR in the diagnosis of intracranial tumors. *AJNR* 1996; 17:1081-1086.
13. Tsuruda JS, Chew WM, Moseley ME, Norman D. Diffusion-weighted MR imaging of the brain: value of differentiating between extraaxial cysts and epidermoid tumors. *AJNR* 1990; 11:925-931.
14. Gormley WB, Tomocek FJ, Qureshi N, Malik GM. Craniocerebral epidermoid and dermoid tumors. A review of 32 cases. *Acta Neurochir (Wien)* 1994; 128(1-4):115-121.
15. Murakami N, Matsushima T, Kuba H, et al. Combining steady-state constructive interference and diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the surgical treatment of epidermoid tumors. *Neurosurg Rev* 1999; 22(2-3):159-162.
16. Timmer FA, Sluzewski M, Treskes M, et al. Chemical analysis of an epidermoid cyst with unusual CT and MR characteristics. *AJNR* 1998; 19:1111-1112.
17. Lalwani AK. Meningiomas, epidermoids and other nonacoustic tumors of the cerebellopontine angle. *Otolaryngol Clin North Am* 1992; 25:707-728.
18. Leo JS, Pinto RS, Hulvat GF, Epstein F, Kricheff II. Computed tomography of arachnoid cysts. *Radiology* 1979; 130(3):675-680.
19. Kjos BO, Brant-Zawadzki M, Kucharczyk W. Cystic intracranial lesions: magnetic resonance imaging. *Radiology* 1985; 155(2):363-369.
20. Tampieri D, Melanson D, Ethier R. MR imaging of epidermoid cysts. *AJNR* 1989; 10:351-356.
21. Kallmes DF, Provenzale JM, Cloft HJ, McClendon RE. Typical and atypical MR imaging features of intracranial epidermoid tumors. *AJR Am J Roentgenol* 1997; 169:883-887.
22. Dechambre S, Duprez T, Lecouvet F, Raf-topoulos C, Gosnard G. Diffusion-weighted MRI postoperative assessment of an epidermoid tumour in the cerebellopontine

- angle. *Neuroradiology* 1999; 41(11):829-831.
23. Dutt SN, Mirza S, Chavda SV, Irving RM. Radiologic differentiation of intracranial epidermoids from arachnoid cysts. *Otol Neurotol* 2002; 23:84-92.
 24. Karantanas HA. MR imaging of intracranial epidermoid tumors: specific diagnosis with turbo-FLAIR pulse sequence. *Comput Med Imaging Graph* 2001; 25:249-255.
 25. Doll A, Abu Eid M, Kehrl P, et al. Aspects of FLAIR sequences, 3D-CISS and diffusion-weight MR imaging of intracranial epidermoid cysts. *J Neuroradiol* 2000; 27(2):101-106.
 26. Le Bihan D. Diffusion and perfusion with MR imaging. In: Riederer SJ, Wood ML (eds) *RSNA categorical course in physics: the basic physics of MR imaging*. RSNA 1997; 131-144.
 27. Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, et al. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application of diffusion and perfusion in neurologic disorders. *Radiology* 1986; 161:401-407.
 28. Laing AD, Mitchell PJ, Wallace D. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging of intracranial epidermoid tumors. *Australas Radiol* 1999; 43(1):16-19.
 29. Annet L, Duprez T, Grandin C, Doods G, Collard A, Cosnard G. Apparent diffusion coefficient measurements within intracranial epidermoid cysts in six patients. *Neuroradiology* 2002; 44(4):326-328.
 30. Provenzale JM, Engelter ST, Petrella JR, Smith JS, MacFall JR. Use of MR exponential diffusion-weighted images to eradicate T2 "shine-through" effect. *AJR Am J Roentgenol* 1999; 172:537-539.
 31. Burdette JH, Elster AD, Ricci PE. Acute cerebral infarction: quantification of spin density and T2 shine-through phenomena and diffusion-weighted MR images. *Radiology* 1999; 212:333-340.