

# Meningiomlarda Modern Görüntüleme Teknikleri

## Advanced Imaging of Meningiomas

Ayşenur CİLA

Hacettepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Sıhhiye, Ankara

Yazışma Adresi: Ayşenur CİLA / E-posta: acila@hacettepe.edu.tr

### ÖZ

Menengioma tanınmasında yardımcı klasik Bilgisayarlı Tomografi ve Manyetik Rezonans Görüntüleme özellikleri ile MR Spektroskopi, Diffüzyon Ağırlıklı Görüntüleme ve Perfüzyon Ağırlıklı Görüntüleme bulguları açıklanacaktır. İleri görüntüleme tekniklerinin menengioma alt tiplerini belirlemedeki etkinliği tartışılacaktır.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Meningioma, MR spektroskopi, MRI fonksiyonel

### ABSTRACT

Magnetic resonance imaging, MR spectroscopy, diffusion weighted imaging and perfusion weighted imaging findings will be explained together with classical computed tomography in meningiomas. We will discuss the effect of advanced imaging techniques in the description of meningioma subgroups.

**KEYWORDS:** Meningioma, MR spectroscopy, MRI functional

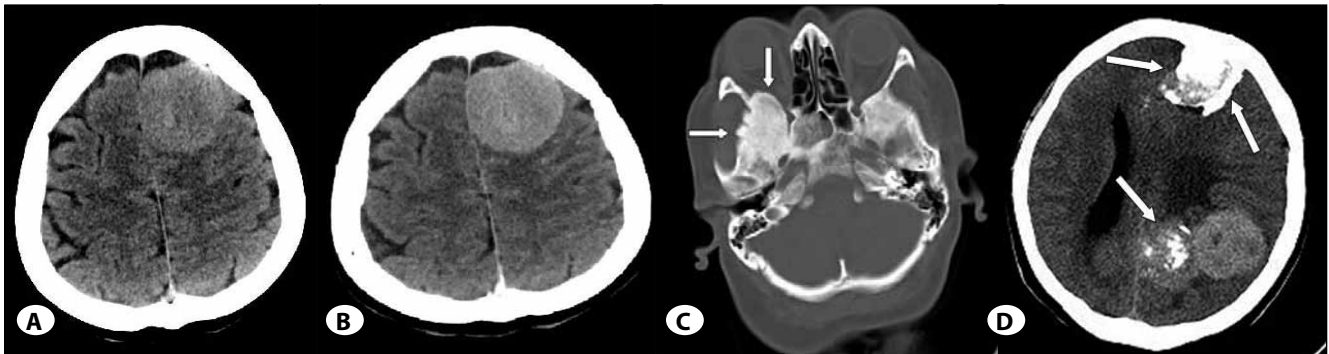
Meningioma en sık görülen erişkin ekstraaksiyel neoplazisidir. Yerleşim yerleri azalan sıklıkla parasagittal dura, konveksiteler, sphenoid kanat, serebellopontin köşe sistemini, olfaktor oluk ve planum sfenoidale'dir (10). % 90 supratentoryal yerleşimli; %1 embriyolojik araknoid kalıntılara bağlı ekstrakranial olabilirler. İntraventricüler menengioma'nın % 80'ni lateral ventriküllerde (özellikle sol lateral ventrikülde) koroid pleksusa yakın kesimde, daha nadir olarak 3. ve 4. ventriküllerde olurlar.

### MENİNGİOMLARDA KLASİK BT & MRG BULGULARI

Meningioma'nın klasik Bilgisayarlı Tomografi (BT) bulguları: Kontrastsız BT'de beyin dokusuna göre hiperdens (% 60), kalsifikasyon içeren (% 20), komşuluğundaki kemikte

hiperosteoz oluşturan, kontrastlı BT'de yoğun ve homojen kontrast tutan ekstraaksiyel kitledir (Şekil 1A-D) (10). Tümör kalsifikasyon olabilir; intraventricüler menengioma'da kalsifikasyon daha sıktır (% 45-68). Kafa tabanındaki menengioma'da planum sfenoidale ve tuberkulum sellanın kafa içine doğru bombeleşmesi ve etmoidal sinüslerde havalanma artışı (pnömosinüs dilatans) menengioma'ya spesifik olup, bu bölgenin şvannom, nazofaringeal karsinom gibi diğer kitlelerden ayırımında değerli bir bulgudur (Şekil 2A,B) (2).

Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) menengioma'nın tüm uzanımını, vasküler invazyonu, tumor vaskülaritesini, parankimal ödemi ve intraosseöz invazyonu BT'ye göre çok



**Şekil 1:** Meningioma'nın klasik BT bulguları. **A, B** Sol frontal menengioma'nın kontrast öncesi BT'de **(A)** beyin dokusuna göre hiperdens olduğu ve kontrast maddeyi yoğun ve homojen tuttuğu **(B)** görülmektedir. **C** Sağ sphenoid kanat menengioma olan hastanın kemik penceresindeki BT kesitinde, sphenoid kemikte hiperosteozaya bağlı dansite artışı (ok) ve ekspansiyona bağlı orbita hacminin azalması (ok) izlenmektedir. **D** NF II olan hastadaki multipl menengioma'da intratumör kalsifikasyonlar (ok) dikkati çekmektedir.

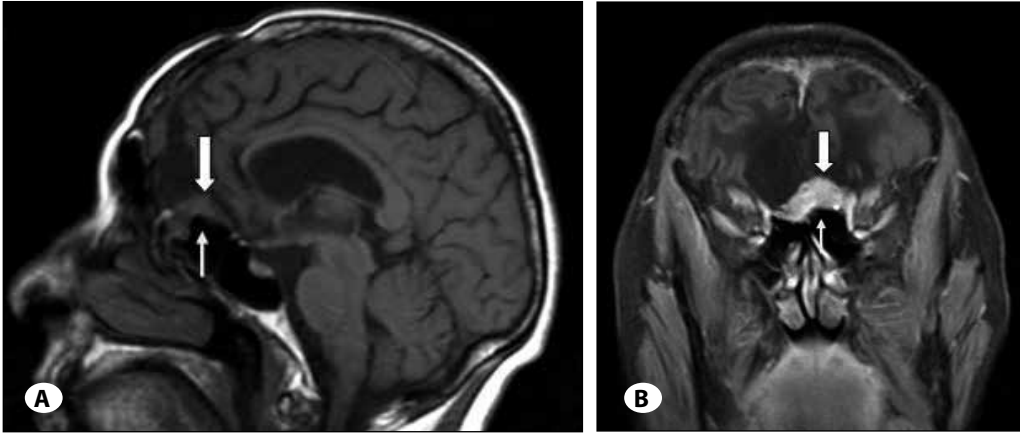
daha iyi ve ayrıntılı gösterir. T1-ağırlıklı (T1A) görüntülerde meningiom serebral kortekse benzer ya da hafif hipointens, T2-ağırlıklı (T2A) görüntülerdeyse gri cevhere göre hafif hiperintensdir. Kontrast madde ile yoğun parlaklaşır. İçindeki ve çevresindeki yoğun damarlar dikkat çeker (Şekil 3A-C). Meningiom gibi ekstra-aksiyel intradural lezyonların ayırımı için tanımlanan "yarık işareti", lezyon ile beyin dokusu arasında BOS, damar ya da hipointens dura varlığında söylenebilir (Şekil 4A,B) (10).

"Dural kuyruk" kontrastlı MRG'de görülen, lezyonun kenarlarından periferik doğru uzanan dural kalınlaşmaya verilen isimdir ve meningiomların % 72'sinde görülür (Şekil 5) (2). Dural kalınlaşma meningeal infiltrasyon ya da fibrovasküler reaktif proliferasyona ait olabilir. Bu bulgu özellikle parasellar ya da köşe sistemli yerleşimli kitlelerde meningiomu şvannomdan ayırt etmekte yardımcıdır (Şekil 6A-C ve Şekil 7).

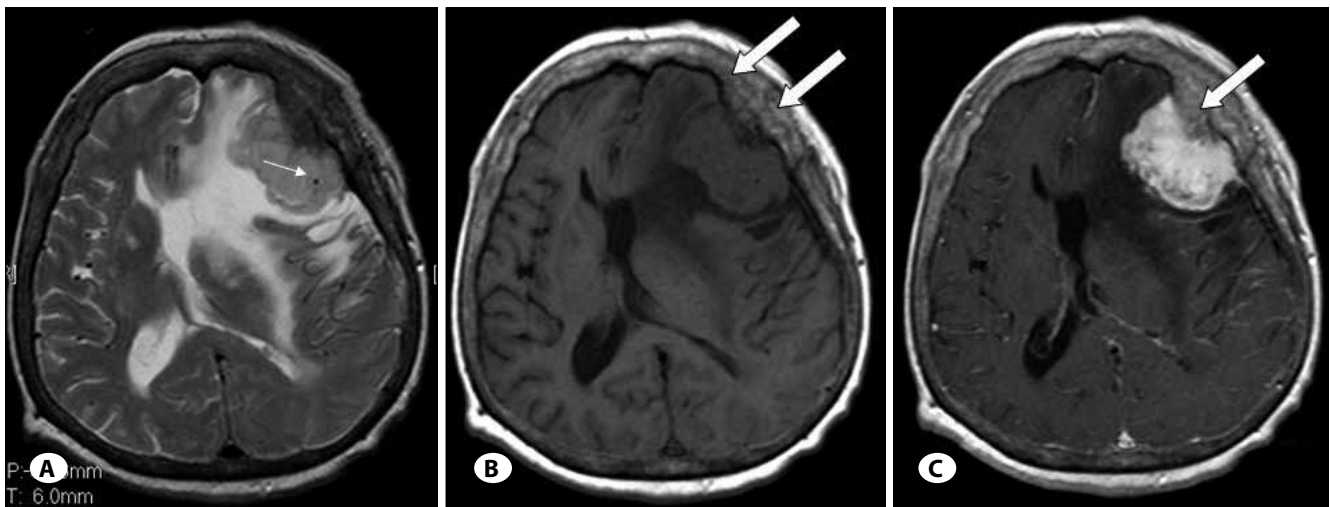
MRG ile meningiomların dural sinus invazyonu ve özellikle parasellar arteriyel sıkıştırma belirtileri hızlı T2A incelemelerle bile söylenebilir (Şekil 8). Kontrastlı manyetik rezonans (MR) Anjiyografi veya BT Anjiyografi vasküler daralma ve invazyonu daha ayrıntılı gösterir (Şekil 8A-C).

### MENİNGİOMLARDA DİFFÜZYON AĞIRLIKLILIKLI GÖRÜNTÜLEME BULGULARI

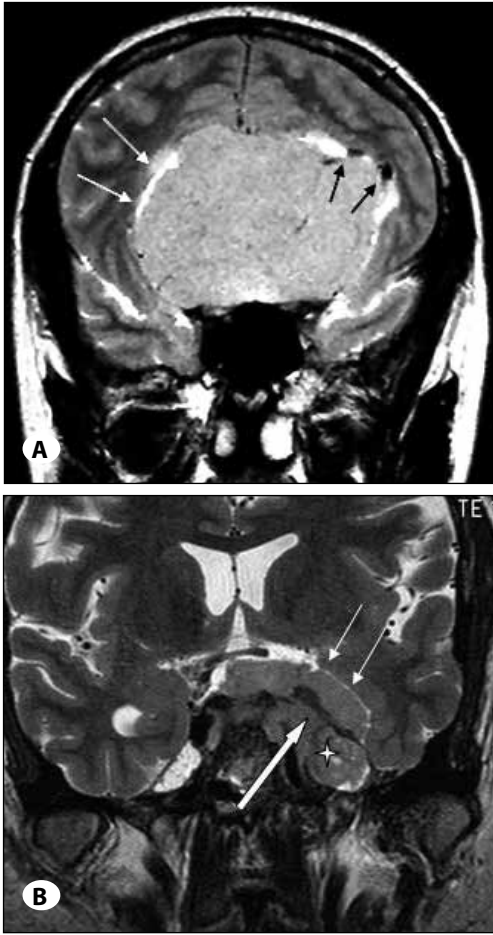
Diffüzyon ağırlıklı görüntüleme (DAG) primer beyin tümörlerinin değerlendirilmesinde tanısal bir yöntem olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Tümör derecesinin apparent diffusion coefficient (ADC) değerleri ile korele olduğu bilinmektedir (6,18,25). Yüksek dereceli beyin tümörlerinin ADC değerleri, düşük dereceli olanlar ve normal beyin parankiminden daha düşüktür (3,18,20,25). Literatürde tümörlerin diffüzyon özellikleri ile histopatolojik derecesi arasındaki ilişkiyi gösteren çalışmaların çoğu intraaksiyal tümörlere yöneliktir (11,18).



**Şekil 2: A)** Sagittal T1-ağırlıklı MR. **B)** Kontrast sonrası koronal T1-ağırlıklı MR. Planum sfenoidale yerleşimli meningiomlarda (kalın ok) altındaki paranasal sinüste havalanma fazlalığı (küçük ok) ve planumda kafa içine doğru bombeleşme tipiktir. Bu bölgenin meningiom dışı tümörlerinden ayırt edilmesinde yararlı bir bulgudur.



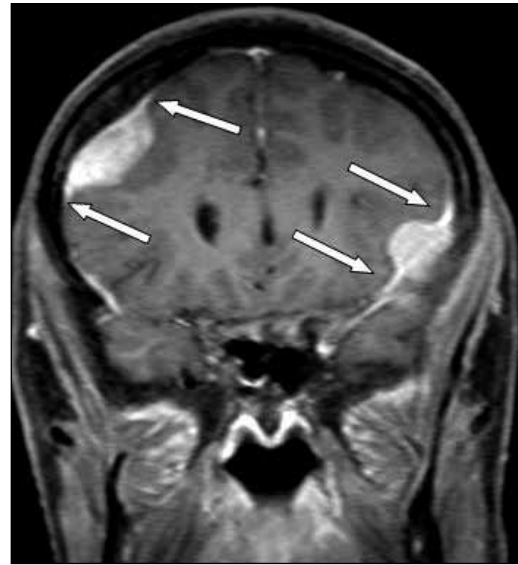
**Şekil 3: Sol frontal meningiom. A)** Transvers T2-ağırlıklı MR. **B)** Transvers T1-ağırlıklı MR. **C)** Kontrast sonrası transvers T1-ağırlıklı MR. Meningiominin köken aldığı meninkse komşu frontal kemikte hiperosteoza bağlı kalınlaşma özellikle iç tabulada belirgindir (kalın beyaz ok). Meningiom T2A'da beyine göre hiperintens, T1A'da beyinle aynı intensitedir. Kontrast maddeyi yoğun tutarak hiperintens olmaktadır (C). T2A görüntüde kitle içindeki sinyalsiz nokta geniş vasküler yapıya aittir (küçük beyaz ok). Meningiom parankimde ödeme ve subfalsin şifte neden olmuştur.



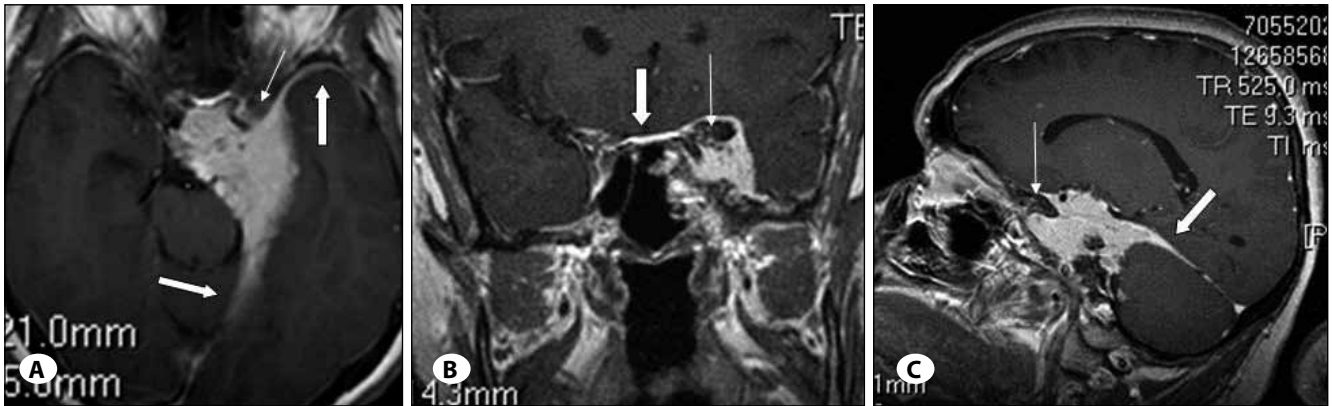
**Şekil 4:** “Yarık işareti” ekstraaksiyel lokalizasyonu gösteren bulgudur. **A)** Falks meningiomlu hastanın koronal T2A görüntüsünde kitle ile beyin dokusu arasında hiperintens BOS (beyaz ok) ve damarlar (siyah ok) kitlenin ekstraaksiyel olduğunu belirleyen bulgudur. **B)** Sol kavernoöz sinüs meningiomlu hastanın koronal T2A görüntüsünde, meningiom ile beyin dokusu arasındaki ince hiperintens BOS varlığı (küçük beyaz ok) ve kitle içindeki hipointens kalın leptomeninks (kalın beyaz ok) “yarık işareti”nin özellikleridir. Sol Gasser ganglionu (α) meningiomla infiltridir.

Yüksek dereceli tümörlerdeki düşük ADC değerlerini açıklamaya yönelik farklı teoriler bulunmaktadır. Tümörün artmış hücre yükü, nükleus/sitoplazma oranında artış, küçük hücre boyutu, tümördeki fibröz ya da gliotik bileşenler, tümörün kanlanma özellikleri (kapiller yataktaki moleküllerin mikrohareketleri, vs) yüksek dereceli tümörlerdeki kısıtlanmış diffüzyondan sorumlu olabilir (8,20,24).

İntraaksiyal tümörlerin DAG özelliklerini araştıran çok sayıda çalışmaya rağmen en sık görülen ekstraaksiyal tümörler olan meningiomların değerlendirilmesinde bu tekniğin önemini irdeleyen az sayıda makale bulunmaktadır (11,13,20,25). Atipik/malign meningiomlar histolojik olarak artmış mitotik aktivite, küçük hücre boyutu, yüksek nükleus/sitoplazma oranı, devamlı büyüme paterni gibi su diffüzyonunu azaltması ve ADC değerlerini düşürmesi beklenen özelliklere sahiptir (24). Literatürde meningiomların histopatolojik alt

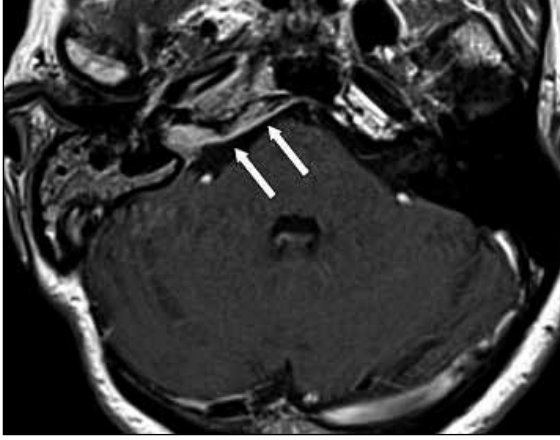


**Şekil 5:** NF I ve multipl meningiomu olan hastanın kontrast sonrası T1A görüntüsünde sağ frontal konveksite ve sol sphenoid kanat meningiomlarının kenarlarında kalınlaşmış duranın oluşturduğu “dural kuyruk” (ok) görülmektedir.



**Şekil 6:** Sol kavernoöz meningiom. Postkontrast **A)** aksiyel, **B)** koronal, **C)** sagittal T1A görüntüleri. Meningiomdan periferik uzanan “dural kuyruk” (kalın ok) ve sol ön klinoiddeki hipertrofi (küçük ok) meningiomun şvannomdan ayırımında yardımcı bulgulardır.

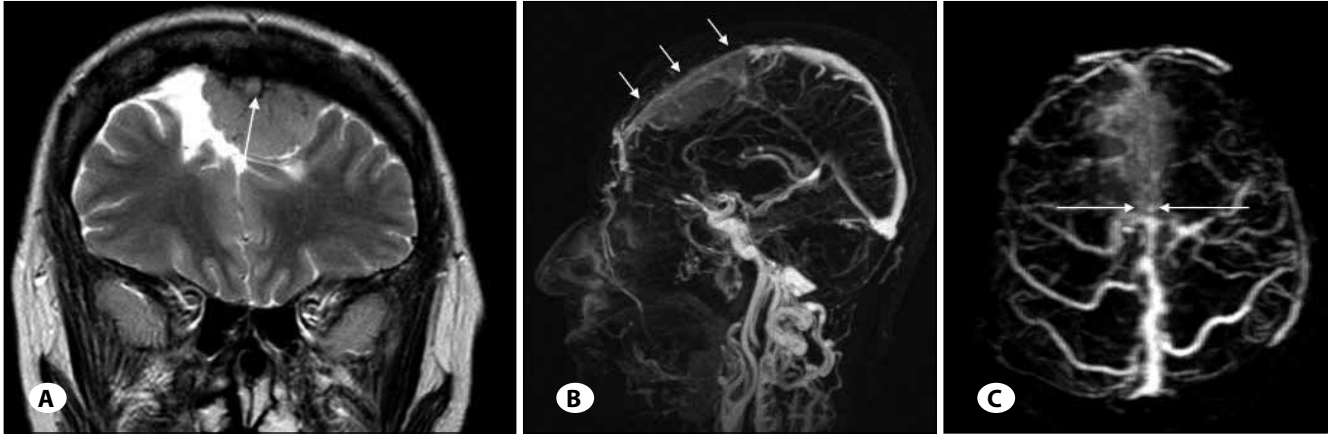
tipleri ile ADC değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı korelasyon bulunduğunu bildiren makaleler bulunmaktadır (9,11,18). Bu çalışmalarda atipik/malign meningiomlar



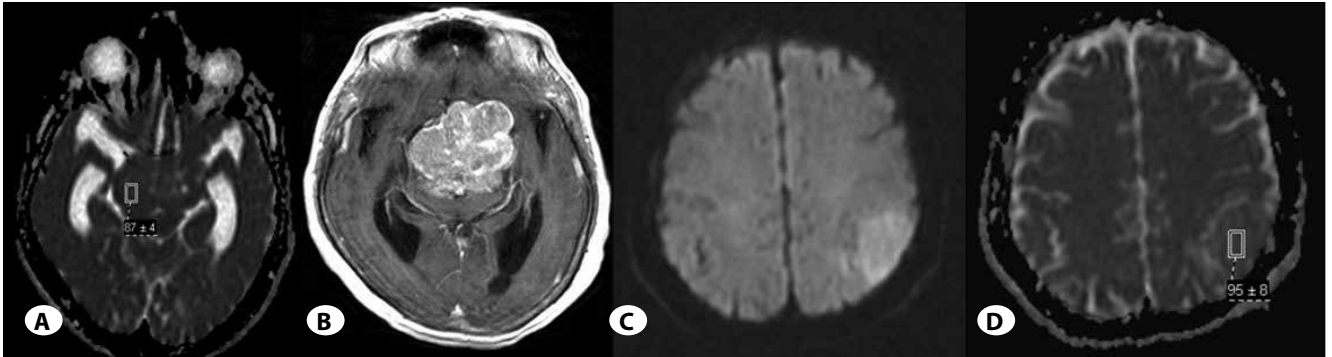
**Şekil 7:** Sol pontoserebellar köşe meningiomu. Postkontrast aksiyel T1A görüntüde sol internal akustik kanal içine de uzanan meningiomdan klival yüzeylere uzanan "dural kuyruk" (ok) kitlenin meningiom olduğunu desteklemektedir.

için ortalama ADC değerleri benign olanlarından daha düşük bulunmuştur (9,11,18,20). Ek olarak Nagar ve ark. tümör ADC değerinin normal görünen beyaz cevher ADC değerine oranını değerlendirmiş, benign ve atipik-malign meningiomlar için ADC değerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu bildirmiştir (18). Aynı çalışmada % 96 hassasiyet ve % 100 özgüllük ile ADC oranı için 0.99 değeri kesim noktası olarak belirtilmiştir.

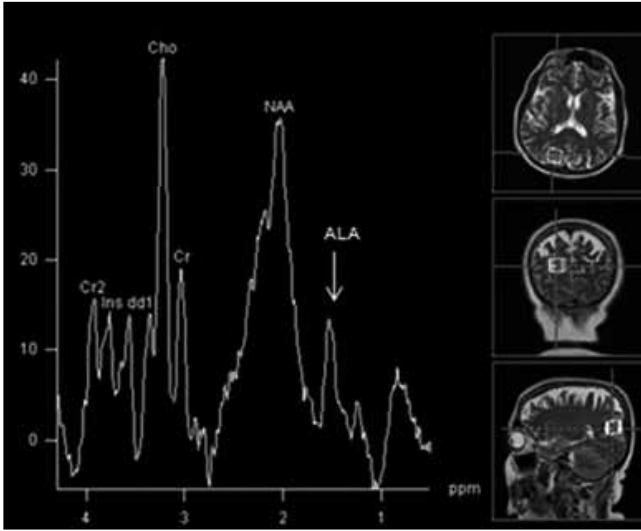
Tüm bu çalışmalara karşın benign ve atipik ve/veya malign meningiom ayırımında ADC değerlerinin anlamlı olmadığını bildiren çalışmalar da vardır (13,14,23,25). Farklı sonuçlar magnet gücü, manyetik alan homojenitesi, görüntüleme protokolü (b değeri, DAG'nin kontrastlı serilerden önce ya da sonra yapılmış olması), ilgi alanı boyutu ve yerleştirildiği lezyon alanı, tümör içerisindeki mikroskopik nekroz odakları gibi birçok faktör sonuçlar arasındaki farklılıkları doğurabilir (20,23). Nitekim biz de meningiom derecesi ve alt tipleri ile ADC değerleri arasındaki ilişkiyi araştırdığımız geniş seride korelasyon bulmadık (Şekil 9A-D) (19). Ek olarak benign meningiom ADC değerleri ile histopatolojik tümör hücre yükünü değerlendiren bir çalışma da istatistiksel anlamlılık olmadığı bildirilmiştir (13).



**Şekil 8:** Anterior falks meningiomu. **A)** Koronal T2A, **B)** Sagittal kontrastlı MR Venografi, **C)** aksiyel kontrastlı MR Venografi. Koronal T2A görüntüde meningiom superior sagittal sinüsün ön kesimini infiltr etmiştir (ok). Patent damarlar T2A görüntülerde siyah ve sinyalsiz olurlar (Bkz Şekil 4A ve 4B). Kontrastlı MR Venografi'de invazyon ve oklüzyon doğrulanmaktadır (ok).



**Şekil 9:** Histopatolojik olarak atipik meningiom olarak tanı alan parasellar menigiomun **B)** ADC haritasında **A)** kısıtlanmış difüzyon; sol parietal menigiomun **C)** ADC haritasındaysa **D)** hafifçe artmış difüzyyon saptanmıştır. Difüzyon ağırlıklı görüntüler atipik ve malign menigiomun preoperatif tanısını koymakta yararlı olamamaktadır.



**Şekil 10:** Sağ parietal meningioma için kısa eko zamanlı (TE: 30 ms) MRS'inde kolinde hafif derecede artış ve normal parankimde saptanmayan alanin varlığı (ok) görülmektedir.

### MENİNGİOMLARDA PERFÜZYON AĞIRLIKLIL GÖRÜNTÜLEME BULGULARI

Perfüzyon MR görüntüleme tekniği beyin kanlanmasının yarı-kantitatif değerlendirilmesinde kullanılabilir. Nöroradyolojide ağırlıklı olarak kullanılan perfüzyon tekniği intravenöz (iv) yolla bolus tarzında uygulanan kontrast maddenin beyin parankiminden geçişi sırasında yol açtığı sinyal kaybını gösterme ilkesine dayalı dinamik duyarlılık kontrast (DDK) perfüzyon MR görüntülemesidir (22). Kontrast maddenin intravasküler ve ekstrasvasküler kompartmanlar arasındaki geçişini yansıtan perfüzyon eğrileri serebral kan hacmini (CBV) ve tümör ile normal doku eğrilerinin birbirine oranı ise görece serebral kan hacmini (rCBV) gösterir. Renk kodlu haritalar oluşturularak ilgi alanındaki dokunun kanlanma özellikleri değerlendirilir (22,27). Bu teknik tedavi yaklaşımı ve davranışı birbirinden oldukça farklı benign ve atipik/malign menenjiyomların cerrahi öncesinde tanısını sağlamada olduğu kadar, santral sinir sisteminin en sık rastlanan hipervasküler tümörlerinden biri olan meningiomlarda cerrahi öncesinde embolizasyon gereksinimini göstermede de oldukça faydalıdır (1).

Tipik olarak benign meningiomlar eksternal karotid arterin dural dallarından beslenir. Meningiom büyüdükçe komşu pial dallardan da kanlanmaya başlar ki bu durum tümörün daha agresif olduğu ve daha sık rekürrens gösterebileceği yönünde şüphe uyandırmalıdır (22). Nitekim literatürde benign ve atipik/malign meningiom ayırıcı tanısında rCBV değerlerinin iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı olduğunu (12,27-28) ve de aksini iddia eden bir çok çalışma bulunmaktadır (26,28-29). Bunlardan birinde atipik meningiom çevresindeki beyin parankiminde rCBV değerlerinin benign meningiomların çevresindeki vazojenik ödem alanına oranla anlamlı şekilde artmış olduğunu bildirmiştir (27). Bu durum komşu parankimde artmış anjiogenez ya da mikrovasküler proliferasyon ile ilişkili olabilir.

Perfüzyon tekniği konvansiyonel görüntülemeye meningiomlarla benzer özellikler gösterebilecek dural metastazlar ve nörinomların ayırıcı tanısında da fayda sağlayabilir (15-16).

### MENİNGİOMLARDA MR SPEKTROSKOPİ BULGULARI

Meningiomlar klasik görüntüleme özelliklerine sahipse de halen bazı lezyonların ayırıcı tanısında ileri görüntüleme tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır ki bunlardan biri de MR Spektroskopi'dir (MRS). MRS, meningiomların özellikle serebellopontin açısı sisteminde yer alan şvannom ve dural metastazlar ile ayırıcı tanısında önemlidir (5). Birçok in vivo ve cerrahi rezeksiyon materyalinden gerçekleştirilmiş spektroskopik çalışmada meningiomlarda alanin varlığı, görece yüksek kolin ve glutamine/glutamate kompleksi (Glx) ile düşük N-asetil aspartat (NAA), kreatin ve lipid değerleri tipik özellikler olarak bildirilmiştir. Özellikle alanin varlığının meningiom belirtici olduğu bir çok çalışmada vurgulanmıştır (Şekil 10) (5,17,21). Proton MR spektroskopi (<sup>1</sup>H MRS) tekniğinde özellikle aminoasitlerin gösterilebileceği kısa eko zamanlı incelemenin iv kontrast madde öncesinde yapılması önemlidir.

Benign ve atipik/malign meningiom ayırımında <sup>1</sup>H MRS'nin genel olarak ayırt edici olmadığı bilinmektedir (7). Ancak literatürde son zamanlarda tümöre komşu parankimde normalin alt sınırında ya da hafifçe düşük NAA/kolin oranları ve yüksek lipid varlığı tümörün invaziv-agresif karakteri hakkında bilgi verebileceği yönünde çalışmalar vardır (4).

### SONUÇ

Meningiomların klasik BT ve konvansiyonel MRG bulgularına ek olarak MR anjiyografi dural sinüs invazyonu ve arteryel sıkıştırmayı, difüzyon ağırlıklı görüntülemeye beyaz cevhere göre düşük ADC değerleri atipik-malign meningiom olasılığını, perfüzyon MR dural metastazlardan ayırt edilmesini, MR spektroskopi ise şvannom/metastazlardan ayırımında yardımcı olabilir. MRS'de alanin varlığı şüpheli durumlarda meningiom tanısını destekler. İleri tekniklere rağmen atipik / malign meningiomların preoperatif tanınması konvansiyonel bulgulardan daha fazla bilgi vermemektedir.

### KAYNAKLAR

- Berger MS: Perfusion MR and the evaluation of meningiomas: Is it important surgically? AJNR Am J Neuroradiol 24: 1499-1500, 2003
- Borges A: Imaging of the central skull base. Neuroimaging Clinics of North America 19: 669-696, 2009
- Bulakbasi N, Guvenc I, Onguru O, Erdogan E, Tayfun C, Ucoz T: The added value of the apparent diffusion coefficient calculation to magnetic resonance imaging in the differentiation and grading of malignant brain tumors. J Comput Assist Tomogr 28: 735-746, 2004
- Chernov MF, Nakaya K, Kasuya H, Kato K, Ono Y, Yoshida S, Nakamura R, Suzuki T, Muragaki Y, Iseki H, Kubo O, Hori T, Takakura K: Metabolic alterations in the peritumoral brain in cases of meningiomas: 1H-MRS study. J Neurol Sci 284: 168-174, 2009

5. Cho YD, Choi GH, Lee SP, Kim JK: (1)H-MRS metabolic patterns for distinguishing between meningiomas and other brain tumors. *Magn Reson Imaging* 21: 663-672, 2003
6. Combs SE, Schulz-Ertner D, Debus J, von Deimling A, Hartmann C: Improved correlation of the neuropathologic classification according to adapted World Health Organization Classification and outcome after radiotherapy in patients with atypical and anaplastic meningiomas. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2010, [Epub ahead of print]
7. Demir MK, Iplikcioglu AC, Dincer A, Arslan M, Sav A: Single voxel proton MR spectroscopy findings of typical and atypical intracranial meningiomas. *Eur J Radiol* 60: 48-55, 2006
8. Eis M, Els T, Hoehn-Berlage M, Hossmann KA: Quantitative diffusion MR imaging of cerebral tumor and edema. *Acta Neurochir Suppl (Wien)* 60: 344-346, 1994
9. Filippi CG, Edgar MA, Uluğ AM, Prowda JC, Heier LA, Zimmerman RD: Appearance of meningiomas on diffusion-weighted images: Correlating diffusion constants with histopathologic findings. *AJNR Am J Neuroradiol* 22: 65-72, 2001
10. Grossman RI, Yousem DM: *Neuroradiology: The requisites*. 1. Baski. St Louis: Mosby, 2003
11. Hakyemez B, Yildirim N, Gokalp G, Erdogan C, Parlak M: The contribution of diffusion-weighted MR imaging to distinguishing typical from atypical meningiomas. *Neuroradiology* 48: 513-520, 2006
12. Kimura H, Takeuchi H, Koshimoto Y, Arishima H, Uematsu H, Kawamura Y, Kubota T, Itoh H: Perfusion imaging of meningioma by using continuous arterial spin-labeling: Comparison with dynamic susceptibility-weighted contrast-enhanced MR images and histopathologic features. *AJNR Am J Neuroradiol* 27: 85-93, 2006
13. Kono K, Inoue Y, Nakayama K, Shakudo M, Morino M, Ohata K, Wakasa K, Yamada R: The role of diffusion-weighted imaging in patients with brain tumors. *AJNR Am J Neuroradiol* 22: 1081-1088, 2001
14. Krabbe K, Gideon P, Wagn P, Hansen U, Thomsen C, Madsen F: MR diffusion imaging of human intracranial tumours. *Neuroradiology* 39: 483-489, 1997
15. Kremer S, Grand S, Rémy C, Pasquier B, Benabid AL, Bracard S, Le Bas JF: Contribution of dynamic contrast MR imaging to the differentiation between dural metastasis and meningioma. *Neuroradiology* 46: 642-648, 2004
16. Maeda M, Itoh S, Kimura H, Iwasaki T, Hayashi N, Yamamoto K, Ishii Y, Kubota T: Vascularity of meningiomas and neuromas: Assessment with dynamic susceptibility-contrast MR imaging. *AJR Am J Roentgenol* 163: 181-186, 1994
17. Majós C, Alonso J, Aguilera C, Serrallonga M, Pérez-Martín J, Acebes JJ, Arús C, Gili J: Proton magnetic resonance spectroscopy ((1)H MRS) of human brain tumours: Assessment of differences between tumour types and its applicability in brain tumour categorization. *Eur Radiol* 13: 582-591, 2003
18. Nagar VA, Ye JR, Ng WH, Chan YH, Hui F, Lee CK, Lim CC: Diffusion-weighted MR imaging: Diagnosing atypical or malignant meningiomas and detecting tumor dedifferentiation. *AJNR Am J Neuroradiol* 29: 1147-1152, 2008
19. Ozgen Mocan B SE, Karli Oguz K, Mut M, Dolgun A, Soylemezoglu F: Correlation between apparent diffusion coefficient values and histopathological subtype of meningiomas. In *European Congress of Radiology*. Vienna, 2011: B-211
20. Pavlisa G, Rados M, Pazanin L, Padovan RS, Ozretic D, Pavlisa G: Characteristics of typical and atypical meningiomas on ADC maps with respect to schwannomas. *Clin Imaging* 32: 22-27, 2008
21. Pfisterer WK, Nieman RA, Scheck AC, Coons SW, Spetzler RF, Preul MC: Using ex vivo proton magnetic resonance spectroscopy to reveal associations between biochemical and biological features of meningiomas. *Neurosurg Focus* 28: E12, 2010
22. Saloner D, Uzelac A, Hetts S, Martin A, Dillon W: Modern meningioma imaging techniques. *J Neurooncol* 99: 333-340, 2010
23. Santelli L, Ramondo G, Della Puppa A, Ermani M, Scienza R, d'Avella D, Manara R: Diffusion-weighted imaging does not predict histological grading in meningiomas. *Acta Neurochir (Wien)* 152: 1315-1319; discussion 1319, 2010
24. Sugahara T, Korogi Y, Kochi M, Ikushima I, Shigematu Y, Hirai T, Okuda T, Liang L, Ge Y, Komohara Y, Ushio Y, Takahashi M: Usefulness of diffusion-weighted MRI with echo-planar technique in the evaluation of cellularity in gliomas. *J Magn Reson Imaging* 9: 53-60, 1999
25. Yamasaki F, Kurisu K, Satoh K, Arita K, Suqiyaama K, Ohtaki M, Takaba J, Tominaga A, Hanaya R, Yoshioka H, Hama S, Ito Y, Kajiwara Y, Yahara K, Saito T, Thohar MA: Apparent diffusion coefficient of human brain tumors at MR imaging. *Radiology* 235: 985-991, 2005
26. Yang S, Law M, Zagzag D, Wu HH, Cha S, Golfinos JG, Knopp EA, Johnson G: Dynamic contrast-enhanced perfusion MR imaging measurements of endothelial permeability: differentiation between atypical and typical meningiomas. *AJNR Am J Neuroradiol* 24: 1554-1559, 2003
27. Zhang H, Rödiger LA, Shen T, Miao J, Oudkerk M: Perfusion MR imaging for differentiation of benign and malignant meningiomas. *Neuroradiology* 50: 525-530, 2008
28. Zhang H, Rödiger LA, Shen T, Miao J, Oudkerk M: Preoperative subtyping of meningiomas by perfusion MR imaging. *Neuroradiology* 50: 835-840, 2008
29. Zhu F ZY, Wang C: Perfusion MRI evaluation of correlating perfusion constants with histologic findings in meningiomas. In *Proceedings of the Annual Meeting of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*. Berkeley, CA: 2002