

Bölüm 2

BEYİN OMURİLİK SIVISI AKIM GÖRÜNTÜLEME TEMELLERİ VE KLİNİK UYGULAMALARI

İlhan HEKİMSOY¹

GİRİŞ

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG), santral sinir sistemi (SSS) hastalıklarının değerlendirilmesinde kullanılan birincil görüntüleme yöntemidir. MRG teknolojisinde meydana gelen son yıllardaki gelişmeler, geleneksel olarak beyin omurilik sıvısı (BOS) değerlendirilmesinde kullanılan lomber ponksiyon, myelografi, intrakraniyal basınç monitörizasyonu ve radyoizotop çalışmaları gibi invaziv yöntemler yerine, BOS akımının non-invaziv olarak da görüntülenmesine olanak sağlamıştır (1).

Akıma duyarlı MRG teknikleri ve üç boyutlu yüksek uzaysal çözünürlüğe sahip sekanslar kullanılarak BOS akım dinamiklerinin anatomik ve fonksiyonel olarak değerlendirilmesi yapılabilmektedir (2,3). BOS akım MRG, hidrosefalinin tipinin belirlenmesinde (komunikan veya non-komunikan), normal basınçlı hidrosefali (NBH) ile atrofiye bağlı gelişen ventrikülomegali ayrımında, araknoid kist ile subaraknoid boşluk ilişkisinin ortaya konulmasında, konjenital SSS anomalilerinde BOS akımında meydana gelen değişikliklerin saptanmasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır (4,5). Bunların yanı sıra şant cerrahisi veya endoskopik üçüncü ventrikülostomi gibi cerrahi prosedürlerin hazırlığında ve tedaviye yanıtın değerlendirilmesinde, BOS akım MRG tercih edilen görüntüleme yöntemidir (6).

Bu derlemede, BOS akım görüntüleme için güncel olarak kullanılan BOS akım MRG yönteminin temelleri klinik uygulamaları eşliğinde sunulacaktır.

BOS anatomi ve fizyolojisi

BOS ventriküler sistem, subaraknoid boşluk ve spinal kordun santral kanalını doldurmakta olup, büyük çoğunluğu koroid pleksus ve beyin parankiminden salgılanır. Az bir miktarı ise endepimal yüzeyden köken alır. BOS eş zamanlı olarak üretilip, geri emilmektedir. Günlük üretim miktarı 500-600 ml arasında değişir.

¹ Uzm. Dr., Medicana International İzmir Hastanesi Radyoloji Kliniği, e mail: ihkimsoy@hotmail.com,

mekte iken; toplam hacminin yetişkinlerde 125-150 ml ve çocuklarda ise 10-60 ml arasında değiştiği bildirilmiştir (7). Lateral ventrikül içerisinde üretilen BOS foramen Monro aracılığı ile 3. ventriküle ve buradan da akuaduktus sylvii aracılığı ile 4. ventriküle drene olmaktadır. Spinal kordun santral kanalındaki BOS da ventriküler sistem ile ilişkilidir. Subaraknoid boşluk ile 4. ventrikül arasındaki bağlantı foramen Magendie ve Luschka aracılığı ile sağlanmaktadır. Subaraknoid mesafeye geçen BOS esas olarak araknoid villuslar tarafından dural sinüsler içerisine emilir. Ayrıca olfaktör sinir ile kribriform plate düzeyindeki lenfatik damarlar ve iç kulaktaki perilenfatik kanal da BOS emilimine katkı sağlamaktadır (8).

BOS'un, SSS'deki dolaşımı esas olarak yığın akışı (bulk flow) ve pulsatil akış (pulsatile flow) olmak üzere iki tip hareketle açıklanır. Yığın akışı teorisine göre koroid pleksuslardan salgılanan BOS, hidrostatik basınç farkı sayesinde araknoid villuslardan emilmektedir (9). Bu yavaş akımın görüntüleme yöntemleri ile saptanması mümkün olmamaktadır (10). Pulsatil akış teorisine göre ise BOS, kan ve beyin parankiminin oluşturduğu intrakraniyal hacim sabit olup, birindeki artış diğerlerinin azalması ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle kardiyak sistol sırasında, BOS kraniumdan dışarı doğru hareket ederken, diastolde ise kraniuma doğru hareket gerçekleşmektedir. Ayrıca solunum esnasında gerçekleşen intratorasik hacim değişikliği de BOS akımına katkıda bulunmaktadır (11). Pulsatil akış, yığın akışının aksine faz-kontrast MRG tekniği ile görüntülenebilmekte olup, ortalama akış hızı 5 ile 8 cm/s arasında değişmektedir (1).

BOS akım MRG tekniği

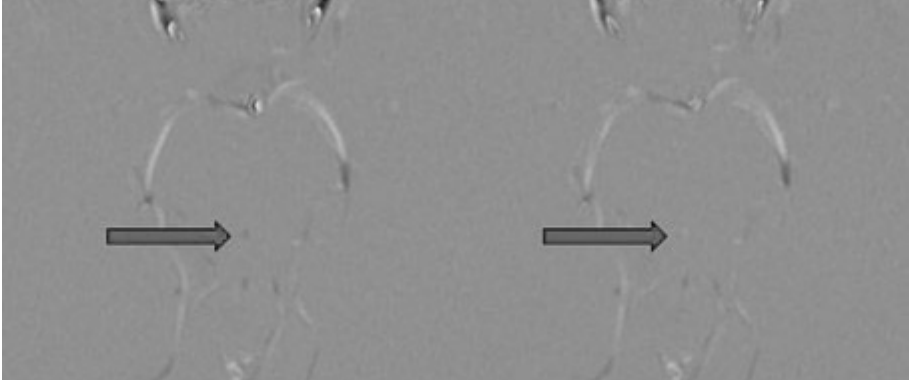
BOS akımı esas olarak durağan ve hareketli dokular arasında sinyal farkı oluşturan faz-kontrast MRG tekniği ile incelenmektedir. Bu sekansta radyo frekans pulsanın ardından eşit süre ve büyüklükte bipolar (zıt yönlerde) gradient uygulanmaktadır. Böylece gradient yönündeki harekette pozitif net faz kayması oluşurken, gradientin aksi yöndeki harekette negatif net faz kayması meydana gelmektedir. Durağan dokularda ise bipolar gradientten eşit süre ve büyüklükte etkilendikleri için faz kayması oluşmamaktadır. Bipolar gradientin uygulanmadığı referans görüntüler, faz-kontrast MRG'de elde edilen görüntülerden çıkarıldığında (subtraction) durağan dokular baskılanırken, yalnızca hareketli dokudan sinyal alınır (12).

BOS akımı kardiyak siklus ile korele olduğu için, prospektif veya retrospektif kardiyak gating, görüntülemenin duyarlılığını arttırmak için kullanılmaktadır. Prospektif görüntülemelerde kardiyak döngünün belirli bir bölümünde veri toplanırken, retrospektif görüntülemelerde tüm kardiyak döngü boyunca veri toplanmakta

olup, retrospektif görüntülemelerde daha doğru sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir (13,14).

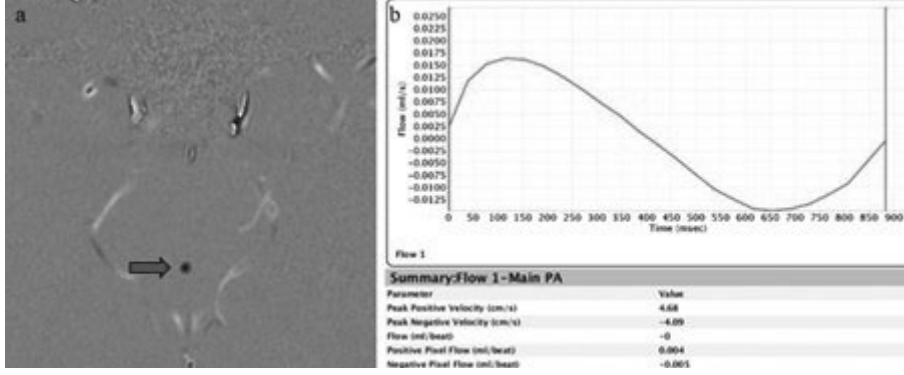
Faz-kontrast MRG'de, incelenecek düzeydeki tahmini BOS akım hızı sekans protokolünde tanımlanmalıdır (hız kodlama, velocity encoding). İnceleme alanındaki BOS akımını uygun şekilde görüntülemek için seçilecek hız kodlama değeri, bu düzeydeki BOS akım hızına eşit veya biraz daha yüksek olmalıdır (1). Hız kodlama değeri çok büyük seçilirse sinyal-gürültü oranı azalırken, inceleme alanındaki BOS akım hızının altında seçilir ise örtüşme (aliasing) artefaktı oluşmaktadır (12).

Faz-kontrast MRG, arka planın baskılanmadığı refaze (re-phased) imajlar ve arka planın baskılandığı magnitüd ile faz imajlarından oluşmaktadır. Magnitüd imajlarda BOS akımı parlak sinyal ile görüntülenirken, hareketsiz dokular baskılanır. Anatomi bilgisini taşıyan magnitüd imajların aksine, faz kaymasını yansıtarak hız bilgisini taşıyan faz imajlar BOS akımına daha duyarlıdır. Faz imaj görüntülerde pozitif net faz farkı beyazın tonlarıyla, negatif faz farkı ise siyahın tonları (Resim 1) ile temsil edilir (1).



Resim 1. Aksiyal oblik plan faz-kontrast MRG incelemesi. Akvaduktus düzeyinden yapılan incelemede kardiak siklus ile korele, sistolde kaudale (siyah) ve diastolde kraniyale (beyaz), pulsatil BOS akımı izlenmektedir.

BOS akımı incelenirken kantitatif analizi sağlayan aksiyal plan (through-plane) ve kalitatif analizi sağlayan sagittal plan (in-plane) olmak üzere iki seri görüntüleme tekniği uygulanmaktadır. Serebral akvaduktusa dik olarak elde olunan aksiyal-oblik plan görüntüleri kısmi hacim (partial volume) etkisini en aza indirerek kantitatif analiz (Resim 2) için daha doğru sonuç oluşturmaktadır (14).



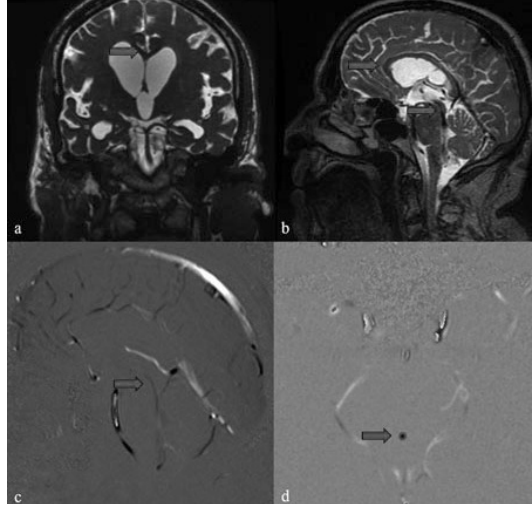
Resim 2. Kantitatif analiz. Kantitatif analiz için yapıldığı aksiyal oblik faz-kontrast MRG incelemesi (a) ve kardiak siklusa karşı elde olunan akım grafiği (b). Seçilen region-of-interest (ROI) aracılığı ile atım hacmi (stroke volume), tepe diyastol ve sistol hızları (peak positive-negative velocity) hesaplanabilmektedir.

KLİNİK UYGULAMALARI

Normal basınçlı hidrosefali

Normal basınçlı hidrosefali, komünikan hidrosefalinin bir alt tipi olup, BOS basıncını normal sınırlarda olmasına rağmen ventriküller ile beyin parankimi arasında gelişen basınç gradienti sonucu ortaya çıkmaktadır. Çoğunlukla idiopatik olmakla birlikte subaraknoid kanama veya menenjit gibi ikincil sebeplere bağlı olarak da gelişebilmektedir (1,2). Yürüyüş bozukluğu, üriner inkontinans ve demanstan oluşan klinik triadı tanımlanmıştır (15). İkincil sebeplere bağlı gelişen olgularda klinik belirtiler daha erken ortaya çıkmaktadır. Ancak klasik triad olguların oldukça azında izlenmektedir (1).

MRG, klinik bulguların yanı sıra ortaya çıkan yapısal ve fonksiyonel değişiklikleri de ortaya koyması nedeniyle NBH tanısında önemli rol oynamaktadır. Ventrikülomegali, kallosal açıda daralma, korpus kallosumda kranialye açılanma, Sylvian fissürde genişleme ve verteks düzeyinde sulkuslarda silinme (Resim 3) MRG de izlenen yapısal değişikliklerden bazılarıdır (16).



Resim 3. Normal basıncılı hidrosefali. Koronal (a) ve sagittal plan (b) T2A spin eko, sagittal (c) ve aksiyal oblik (d) plan faz-kontrast MRG incelemesi. Koronal plan T2A görüntülerde ventrikülomegali, temporal hornlarda dilatasyon (ince ok), kallozal açıda daralma (kahn ok), Sylvian fissürlerde belirginleşme ve verteks düzeyindeki sulkuslarda silinme izleniyor. Sagittal plan T2A görüntülerde korpus kallozumda kraniyale açılanma ve aku- duktus düzeyindeki hiperdinamik akıma ikincil sinyal kaybı mevcuttur (oklar). Sagittal ve region-of-interest (ROI, ok) ile kantitatif analiz yapıldığı aksiyal oblik plan görüntülerde sistol esnasında akuaduktustan 4. ventriküle doğru olan akım izleniyor.

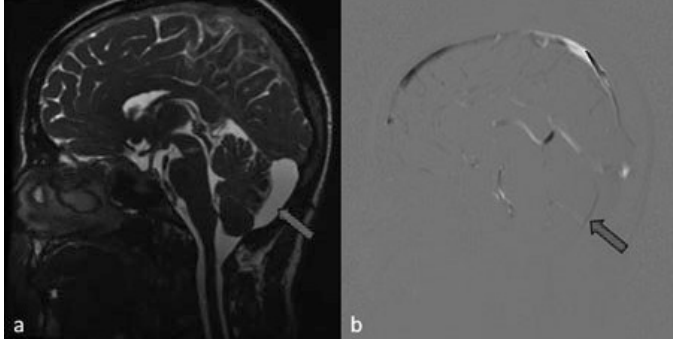
2000'li yıllardan önce akuaduktus düzeyinde konvansiyonel spin eko MRG se- kansında izlenen akıma bağlı sinyal kaybı şant tedavisi uygulanacak hastaların seçi- minde kullanılırken (17), günümüzde ise faz-kontrast MRG sekansı ile akuaduktus düzeyinden elde olunan kantitatif analiz sıklıkla tercih edilmektedir. Yapılan çalış- malarda kantitatif analiz sonuçlarının MRG cihazına ve işlem sonrası ölçülemeye (post-processing) bağlı olarak değişkenlik göstermesi nedeniyle her kliniğin kendi cihazı için normal değerleri saptaması önerilmektedir. Bu veriler ışığında kendi yaş grubuna göre normalin iki katı ve üzeri atım hacmine (stroke volume) sahip ol- guların NBH olarak değerlendirilmesini öneren çalışmalar bulunmaktadır (16,18).

Araknoid kist

Araknoid kist, tüm intrakraniyal kitlelerin yaklaşık %1'ini oluşturmaktadır. Ge- nellikle sporadik olarak ortaya çıkmakla birlikte, mukopolisakkaridoz gibi meta- bolik hastalıklarda sıklığı artmaktadır. Erkeklerde kadınlara göre daha sık görül- düğü bildirilmiştir (19).

Araknoid kistlerin asemptomatik olgularda cerrahi tedavisi tartışmalı olmakla birlikte; nöbet, kafa içi basınç artışı, hidrosefali veya nörolojik semptom varlığın- da ise tedavi endikedir (2). Cerrahi öncesi kistin subaraknoid boşluk ile ilişkisi- nin ortaya konulmasında faz-kontrast MRG önem taşımaktadır (Resim 4). Ayrıca

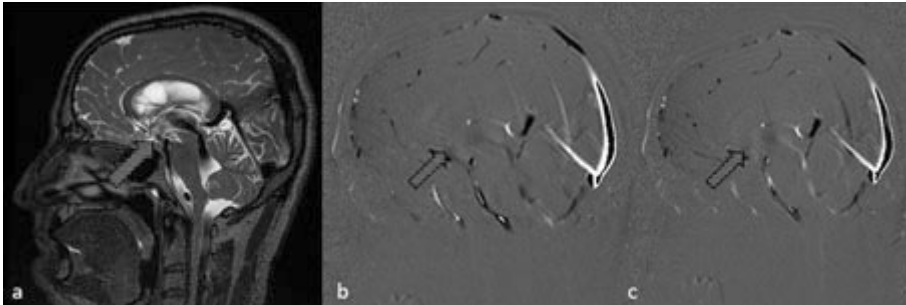
konvansiyonel görüntüleme yöntemleri ile kist-normal BOS mesafesi ayrımı yapılamayan olgularda ve Blake poş kisti veya Dandy-Walker malformasyonu gibi posterior fossanın kistik gelişim bozukluklarında BOS akım görüntüleme ayırım için kullanılabilir (5,20).



Resim 4. Posterior fossa araknoid kisti. Sagittal plan T2A (a) ve faz-kontrast MRG (b) incelemesi. Serebellum posteriorunda BOS ile izointens kistik lezyon izleniyor (a, ok). Faz-kontrast imajda kistin subaraknoid mesafe ile ilişkili olduğu düzeye akıma bağlı sinyalsiz görünüm mevcuttur. Araknoid kist ile karışan, mega sisterna magnanın aksine akım tüm kist boyunca izlenmemektedir.

Endoskopik üçüncü ventrikülostomi

Endoskopik üçüncü ventrikülostomide (EÜV), üçüncü ventrikül ile bazal sisternaları birbirinden ayıran tüber cinereumda bir delik açılarak, nonkomunikan hidrosefalide bozulmuş olan pulsatil BOS akımı yeniden oluşturulmaktadır. Çoğunlukla nonkomunikan hidrosefalide kullanılmakla birlikte (Resim 5), ventriküloperitoneal şantın aksine komplikasyon oranının daha düşük olması nedeniyle NBH tedavisinde de kullanım sıklığı artmaktadır (21).



Resim 5. Endoskopik üçüncü ventrikülostomi. Sagittal plan T2A (a) ve faz-kontrast MRG (b, c) incelemesi. Non-komunikan tipte hidrosefali nedeniyle endoskopik üçüncü ventrikülostomi uygulanan olguda tüber cinereumdaki defekt ve bu düzeydeki akım ile ilişkili sinyal kaybı izleniyor (a, ok). Faz-kontrast görüntülerde ventrikülostomi hattındaki pulsatil BOS akımı görülmektedir (ok).

Ventrikülostomiden akım varlığını gösteren konvansiyonel sekanslara ek olarak faz-kontrast MRG'de yapısal bilginin yanı sıra elde kantitatif analiz sayesinde fonksiyonel bilgi de elde edilebilir (22). Yapılan çalışmalarda cerrahi öncesi faz-kontrast MRG ile ölçülen atım hacmi ile cerrahi sonuçları arasında pozitif korelasyon saptanmıştır (23).

Chiari tip I malformasyonu ve siringomiyeli

Chiari tip I malformasyonu, posterior fossanın yapısal bozukluğu olup, serebellumun tek başına veya medulla oblongata ile birlikte foramen magnumdan 5 mm'den fazla inferiora yer değiştirmesi olarak tanımlanır. Kranioservikal bileşke düzeyinde bozulan BOS akımı spinal kordta siringomiyelik kistik genişlemeye neden olmaktadır (24). Olguların büyük bir çoğunluğu asemptomatik olmakla birlikte, baş ağrısı ve valsava ile ortaya çıkan boyun ağrısı tipik klinik bulgularıdır. Bazı olgularda yürüyüş bozukluğu, parestezi, ince motor becerilerinde azalma, vertigo ve tinnitus gibi belirtiler de görülebilmektedir (1). Asemptomatik çoğu olguda klinik anlamlı progresyon izlenmemesi nedeniyle cerrahi tedavi önerilmezken (25), ciddi semptomu olan olgularda parankim hasarını önlemek için tedavi endikedir (1).

Faz-kontrast MRG, bu olgularda ortaya çıkan yapısal değişikliklerin anlaşılması için etkin bir şekilde kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda servikal bölgede kraniyal yöndeki BOS akımında azalma tespit edilirken, kaudal yöndeki akımda ise artış saptanmıştır. BOS akımındaki bu değişiklik spinal kordta ortaya çıkan siringomiyeliyi de açıklamaktadır (26). Siringomiyeli kavitesinde pulsatil akımın gösterilmesi progresyon belirteci olmakla birlikte miyelomalaziden ayırım için de kullanılmaktadır (2).

BOS akım görüntüleme, cerrahi tedaviye ihtiyaç duyan olguların belirlenmesinde kullanılabilirken, cerrahi sonrasında da BOS akım paternindeki düzelmeyi göstererek klinik olarak iyileşmeyi de ön görebilmektedir (27).

SONUÇ

BOS akım MRG, BOS akışında bozulmaya yol açan farklı nörolojik hastalıkların tanısında ve takibinde kullanılabilen non-invaziv bir görüntüleme yöntemidir. Bu hastalıklarda cerrahi tedavi kararının verilmesinde ve cerrahi sonrasında değerlendirmede, faz-kontrast MRG ile elde olunan kantitatif analiz önemli rol oynamaktadır. NBH olgularının yaş ile ilişkili atrofiden ayırımında ve şant tedavisine gereksiniminin belirlenmesinde, EÜV uygulanan hastaların cerrahi sonrası

takibinde ve Chiari tip I tanılı hastaların cerrahi öncesi ve sonrası klinik sürecin değerlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Korbecki A, Zimny A, Podgórski P, et al. Imaging of cerebrospinal fluid flow: fundamentals, techniques, and clinical applications of phase-contrast magnetic resonance imaging. *Pol J Radiol.* 2019;84:e240–50.
2. Battal B, Kocaoglu M, Bulakbasi N, et al. Cerebrospinal fluid flow imaging by using phase-contrast MR technique. *Br J Radiol.* 2011;84(1004):758–65.
3. Yamada S, Tsuchiya K, Bradley WG, et al. Current and emerging MR imaging techniques for the diagnosis and management of CSF flow disorders: a review of phase-contrast and time-spatial labeling inversion pulse. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2015;36(4):623–30.
4. Kartal MG, Algin O. Evaluation of hydrocephalus and other cerebrospinal fluid disorders with MRI: An update. *Insights Imaging.* 2014;5(4):531–41.
5. Yildiz H, Erdogan C, Yalcin R, et al. Evaluation of communication between intracranial arachnoid cysts and cisterns with phase-contrast cine MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2005;26(1):145–51.
6. Mohammad SA, Osman NM, Ahmed KA. The value of CSF flow studies in the management of CSF disorders in children: a pictorial review. *Insights Imaging.* 2019;10(1):3.
7. Sakka L, Coll G, Chazal J. Anatomy and physiology of cerebrospinal fluid. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis.* 2011;128(6):309–16.
8. Pollay M. The function and structure of the cerebrospinal fluid outflow system. *Cerebrospinal Fluid Res.* 2010;7:9.
9. McComb JG. Recent research into the nature of cerebrospinal fluid formation and absorption. *J Neurosurg.* 1983;59(3):369–83.
10. Brinker T, Stopa E, Morrison J, et al. A new look at cerebrospinal fluid circulation. *Fluids and Barriers of the CNS.* 2014;11(1):10.
11. Yamada S, Miyazaki M, Yamashita Y, et al. Influence of respiration on cerebrospinal fluid movement using magnetic resonance spin labeling. *Fluids Barriers CNS.* 2013;10(1):36.
12. Saloner D. The AAPM/RSNA physics tutorial for residents. An introduction to MR angiography. *Radiographics.* 1995;15(2):453–65.
13. Connor SE, O’Gorman R, Summers P, et al. SPAMM, cine phase contrast imaging and fast spin-echo T2-weighted imaging in the study of intracranial cerebrospinal fluid (CSF) flow. *Clin Radiol.* 2001;56(9):763–72.
14. Nitz WR, Bradley WG, Watanabe AS, et al. Flow dynamics of cerebrospinal fluid: assessment with phase-contrast velocity MR imaging performed with retrospective cardiac gating. *Radiology.* 1992;183(2):395–405.
15. Adams RD, Fisher CM, Hakim S, et al. Symptomatic occult hydrocephalus with “normal” cerebrospinal-fluid pressure: a treatable syndrome. *N Engl J Med.* 1965;273:117–26.
16. Bradley WG. CSF Flow in the Brain in the Context of Normal Pressure Hydrocephalus. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2015;36(5):831–8.
17. Bradley WG, Whittemore AR, Kortman KE, et al. Marked cerebrospinal fluid void: indicator of successful shunt in patients with suspected normal-pressure hydrocephalus. *Radiology.* 1991;178(2):459–66.
18. Bradley WG. Intracranial Pressure versus Phase-Contrast MR Imaging for Normal Pressure Hydrocephalus. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2015;36(9):1631–2.
19. Al-Holou WN, Terman S, Kilburg C, et al. Prevalence and natural history of arachnoid cysts in adults. *J Neurosurg.* 2013;118(2):222–31.

Güncel Radyoloji Çalışmaları II

20. Yildiz H, Yazici Z, Hakyemez B, et al. Evaluation of CSF flow patterns of posterior fossa cystic malformations using CSF flow MR imaging. *Neuroradiology*. 2006;48(9):595–605.
21. Gangemi M, Maiuri F, Naddeo M, et al. Endoscopic third ventriculostomy in idiopathic normal pressure hydrocephalus: an Italian multicenter study. *Neurosurgery*. 2008;63(1):62–7; discussion 67–69.
22. Bargalló N, Olondo L, Garcia AI, et al. Functional analysis of third ventriculostomy patency by quantification of CSF stroke volume by using cine phase-contrast MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2005;26(10):2514–21.
23. Stivaros SM, Sinclair D, Bromiley PA, et al. Endoscopic third ventriculostomy: predicting outcome with phase-contrast MR imaging. *Radiology*. 2009;252(3):825–32.
24. Brugières P, Idy-Peretti I, Iffenecker C, et al. CSF flow measurement in syringomyelia. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2000;21(10):1785–92.
25. Strahle J, Muraszko KM, Kapurch J, et al. Natural history of Chiari malformation Type I following decision for conservative treatment. *J Neurosurg Pediatr*. 2011;8(2):214–21.
26. Wang CS, Wang X, Fu CH, Wei LQ, et al. Analysis of cerebrospinal fluid flow dynamics and morphology in Chiari I malformation with cine phase-contrast magnetic resonance imaging. *Acta Neurochir (Wien)*. 2014;156(4):707–13.
27. McGirt MJ, Nimjee SM, Fuchs HE, et al. Relationship of cine phase-contrast magnetic resonance imaging with outcome after decompression for Chiari I malformations. *Neurosurgery*. 2006;59(1):140–6; discussion 140–146.