

Serebral Kavernöz Malformasyonların Tanısında Duyarlılık Ağırlıklı ve Gre T2* Görüntüleme: 3 Tesla Deneyimimiz

Susceptibility Weighted Imaging (SWI) and Gre T2* Imaging in the Diagnosis of Cerebral Cavernous Malformations: Our 3 Tesla Experience

Bünyamin GÜNEY, İbrahim Önder YENİÇERİ, Emrah DOĞAN, Neşat ÇULLU

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı, Muğla

Öz

Bu çalışma serebral kavernöz malformasyonların (SKM), SWI ve Gradient eko T2* (GRE T2*) görüntülerde saptanabilirliği ve lezyonların her iki sekansdaki boyutsal farklılıklarının karşılaştırılmasıdır. Çalışmamıza yaşları 14 ile 80 (42.4±17.58) arasında değişen toplam 57 SKM'li hasta (32 erkek, 25 kadın) dahil edildi. Kranial MR görüntülemeye, rutin sekanslara ek olarak SWI ve GRE T2* görüntüleme yapıldı. SKM lezyonlarının sayısı, boyutu ve alınan sekansta görülebilirliği açısından retrospektif olarak tekrar değerlendirildi. SWI görüntülemeye saptanmış SKM sayısı (n=97), GRE T2* görüntülerde saptananlara (n=69) göre yüksekti. Lezyonların medyan (min-max) boyutu, SWI görüntülerde 7.9 (3.7-45) mm, GRE T2* görüntülerde 7.7 (3.6-42) mm olup aradaki fark istatistiksel olarak anlamlıydı (p<0.001). Ayrıca çalışmamızda 7 olguda SKM'ye eşlik eden gelişimsel venöz anomali ve 4 olguda eşlik eden fokal tip yüzeysel siderozis saptandı. SKM'ye eşlik eden fokal tip yüzeysel siderozis bulgusu SWI görüntülemeye daha keskin ve ayrıntılı izlendi. SKM düşünülen olgularda tanısız üstünlüğü nedeni ile rutin kranial MR görüntülemeye SWI sekansı eklenmesi literatürde pek çok çalışmada önerilmektedir. Biz bu çalışmada mevcut literatüre ek olarak, SWI sekansının GRE T2* sekansında alınan görüntülere kıyasla lezyonları morfolojik olarak daha büyük gösterdiğini saptadık. Ayrıca SWI görüntüleme, SKM'ye eşlik eden okkült vasküler malformasyon saptanmasında ve fokal tip yüzeysel siderozis tanısında GRE T2* görüntülemeye kıyasla kesin bir tanısız üstünlüğe sahiptir.

Anahtar Kelimeler: GRE T2*, Kavernöz Malformasyon, SWI, 3 Tesla

Abstract

This study compares the visibility and morphological dimensionality of lesions in cerebral cavernous malformations (CCM) with SWI images and Gradient Echo T2*(GRE T2*) images for both sequences. A total of 57 patients with CCM (32 males, 25 females) aged between 14 and 80 (42.4±17.58) were included in our study. In cranial MR imaging, in addition to routine sequences, SWI and GRE T2* imaging were performed. CCMs were re-evaluated retrospectively in terms of the number, size and visibility of the lesions taken. The number of CCM detected in SWI imaging (n=97) was higher than those detected in GRE T2* images (n=69). The median (min-max) size of the lesions was 7.9 (3.7-45) mm in SWI images and 7.7 (3.6-42) mm in GRE T2* images, and the difference was statistically significant (p<0.001). In addition, developmental venous anomaly accompanying CCM in 7 cases and focal type superficial siderosis accompanied in 4 cases were detected in our study. Focal-type SS findings accompanying CCM were more sharply and more detailed in SWI imaging. It is recommended in many studies in the literature to add SWI sequence to routine cranial MR imaging due to its diagnostic superiority in patients with SCM. In addition to the current literature, we found in this study that the SWI sequence showed lesions morphologically larger than the images taken in the GRE T2* sequence. Moreover, SWI imaging had a definitive diagnostic superiority compared to GRE T2* imaging in the detection of occult vascular malformation accompanying SCM and in the diagnosis of accompanying focal type superficial siderosis.

Keywords:

Keywords: Cavernous Malformation, GRE T2*, SWI, 3 Tesla

Giriş

Serebral kavernöz malformasyonlar (SKM), santral sinir sistemi vasküler lezyonlarının yaklaşık olarak %10-15'ini oluştururlar (1). Histolojik olarak hemosiderin bir halka ile çevrelenen endotel tabakası içeren (kas dokusu ya da parankim dokusu içermeyen) dilate vasküler boşluklardan oluşurlar (2-4). Manyetik rezonans görüntüleme (MRG), SKM'yi değerlendirmek için tercih edilen en iyi radyolojik görüntüleme tekniğidir. Kranial MR

tetkikinde her hastaya alınan rutin sekanslardan TSE T2 ağırlıklı görüntülerde, periferik hipointens bir rim tarafından çevrelenen retiküle bir çekirdek şeklinde karakteristik bir görünüme sahiptirler (5,6).

Literatürde son 10-15 yıl öncesinde yapılan çalışmalarda gradient eko (GRE) T2* görüntüleme, serebral kavernöz malformasyonların değerlendirilmesi için altın standart sekans olarak ifade edilmekteydi (5). Son yıllarda çalışmaların yoğunlaştığı duyarlılık ağırlıklı görüntüleme (DAG-SWI) ise dokular arasındaki duyarlılık değişikliklerinin görünürlüğünü vurgulamak için faz bilgilerini kullanarak yerel kontrastı daha da artırabilen bir T2 ağırlıklı ve hacimsel görüntüleme özelliğine sahip üç boyutlu bir MR sekansıdır. Bu özellik SWI sekansının normal dokuya göre paramanyetik olan hemosiderin gibi kan ürünlerine karşı hassas bir duyarlılığa sahip olmasını sağlar (7,8). Genel olarak duyarlılık etkileri 3 Tesla MR cihazı ile yapılmış görüntülemeye, 1.5 Tesla MRG cihazına kıyasla daha belirgindir (9). Bu literatür bilgileri eşliğinde SWI sekansının, lokal manyetik alanı bozan ve SKM'nin histolojik parçası olan

	ORCID No
Bünyamin GÜNEY	0000-0002-0853-4184
İbrahim Önder YENİÇERİ	0000-0003-2779-2020
Emrah DOĞAN	0000-0002-9446-2294
Neşat ÇULLU	0000-0002-5045-3919

Başvuru Tarihi / Received: 28.06.2020
Kabul Tarihi / Accepted : 26.04.2021

Adres / Correspondence : Neşat ÇULLU
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı, Muğla
e-posta / e-mail : nesatcullu77@gmail.com

periferel hemosiderin halkasını saptamada GRE T2* sekansına göre daha hassas olabileceğini düşündük.

Bu çalışmanın amacı, serebral kavernöz malformasyonların (SKM), SWI ve Gradient eko T2* (GRE T2*) görüntülerde saptanabilirliği ve lezyonların her iki sekanstaki boyutsal farklılıklarının karşılaştırılmasıdır.

Gereç ve Yöntem

Çalışmamız için etik kurul onayı Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulu'ndan (14.02.2020 tarih ve 190262/23) alındı. Son 4 yıllık dönemde (Temmuz 2016-Ocak 2020) SKM tanısı almış hastalar retrospektif olarak tarandı. Bu hastalardan (n=91) kranial MR tetkikine hem GRE T2* hem de SWI sekansı dahil edilmeyen (n=34) hastalar çalışma dışında bırakıldı. Rutin sekanslara her iki sekansta aynı anda eklenmiş (SWI+GRE T2*) hastalar (n=57) çalışmaya dahil edilerek retrospektif olarak MRG görüntüleri tekrar değerlendirildi.

MR görüntüleme 3 Tesla MR cihazında yapıldı (Siemens Skyra, Berlin, Almanya). Rutin TSE T2 görüntüleri için teknik parametreler: TR/TE: 3540/101 msn, matrix: 312x384 mm, NEX: 2 Kesit kalınlığı: 5 mm, tetkik süresi 1.45 dakikadır. GRE T2* sekansı için teknik parametreler; TR/TE 591/18 msn, flipangle 18°, matrix: 256x256 mm, FOV 22 cm, NEX: 2, kesit kalınlığı 3 mm, tetkik süresi 3.49 dakikadır. SWI sekansı için teknik parametreler: TR/TE: 27/20 msn, flip angle 0°, matrix: 256x256 mm, FOV 22 cm, NEX: 1, kesit kalınlığı: 1 mm, tetkik süresi 4.45 dakikadır.

Kraniyal MRG tetkikleri, 10 yılın üzerinde nöroradyoloji deneyimine sahip bir radyolog tarafından, tüm klinik ve hasta bilgi verileri saklanarak yapıldı. Her hasta için GRE T2* aksiyel ve SWI aksiyel görüntülerde saptanan SKM sayısı not edildi. SKM çapı lezyonun en geniş gözlemlendiği aksiyel kesitte dıştan dışa ölçüldü. Kranial MRG tetkikinde birden fazla SKM bulunan hastalarda en büyük lezyon çapı ölçüldü.

Tüm verilerin analizi, SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versiyon 21.0 software (SPSS Inc, Chicago, Illinois, ABD) programı ile yapıldı. Tüm istatistiksel veriler ve elde edilen sonuçlar medyan (minimum-maksimum) olarak ifade edildi. Lezyonların sayısı için frekanslar verildi. Lezyon boyutunun dağılımı için Shapiro-Wilk testi yapıldı. p<0.05 olduğundan normal dağılım göstermemekteydi. Her iki grubun boyutsal karşılaştırması Wilcoxon signed-rank testi ile yapıldı. İstatistiki analizde anlamlılık düzeyi p<0.05 olarak alındı.

Bulgular

Rutin görüntülemelerde SKM lezyonu bulunan 57 hastanın, GRE T2* aksiyel görüntülerinde saptanan

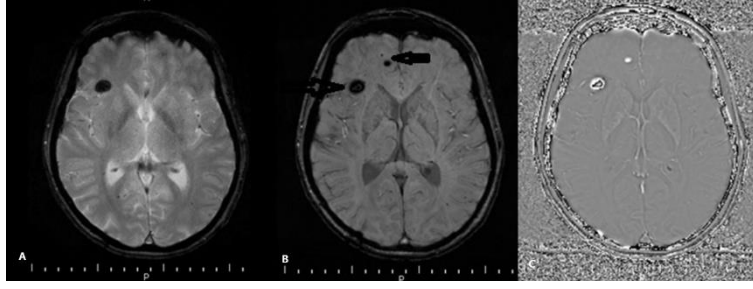
SKM sayısı 69'du. Hastalara yapılan aksiyel SWI görüntülerde saptanan SKM sayısı toplamda 97 olarak saptandı (Resim 1). SWI görüntülemelerde saptanmış SKM sayısı (n=97), GRE T2* görüntülerde saptananlara (n=69) kıyasla belirgin yüksekti. Lezyonların tamamı göz önüne alındığında medyan SKM boyutu, SWI görüntülerde 7.9 mm, GRE T2* görüntülerde 7.7 mm olarak bulundu (Resim 2). Kranial aksiyel GRE T2* görüntülerde saptanan SKM'nin boyutu en küçük 3,6 mm, en büyük ise 42 mm olarak ölçüldü. Aynı lezyonların boyutları SWI görüntülerde en küçük 3.7 mm ve en büyük 45 mm olarak ölçüldü. Bu aradaki bu fark istatistiksel olarak anlamlıydı (p<0.001).

SKM saptanan olguların 7'sinde ek olarak gelişimsel venöz anomali (GVA) saptandı. GVA olguların çoğunda (n=5, %71.4) sadece SWI görüntülerde izlenirken, 2 olguda her iki sekansa ait aksiyel görüntülerde de saptanabildi. Bununla beraber GVA'nın vasküler dalları ve kolektör ven SWI sekansında daha belirgin ve ayrıntılı olarak izlendi (Resim 3). Ayrıca SKM'li hastaların 4'ünde ek olarak fokal tip yüzeysel siderozis (YS) mevcuttu. SKM'ye eşlik eden fokal tip YS bulgusu, GRE T2* görüntülerde 2 olguda hiç saptanmazken, 2 olguda ise belirsiz ve görüntüde silik olarak izlendi. Oysaki SWI görüntülemelerde, tüm olguların YS'nin görüntü keskinliği, rezolüsyonu ve anatomik dağılımı net bir şekilde değerlendirildi (Resim 4).

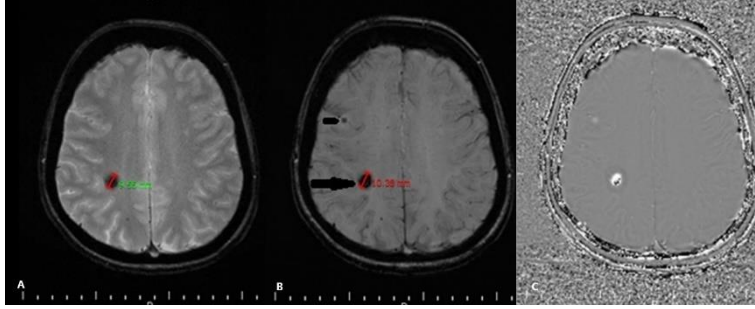
Bu çalışmaya göre SWI sekansının rutin kranial MR görüntülerde SKM'leri saptamada GRE T2* sekansına göre kesin bir tanısal üstünlüğe sahipti. Her iki sekans karşılaştırıldığında SWI sekansı ile saptanan SKM sayısı, GRE T2* ile saptanan SKM sayısından fazlaydı. Ayrıca bu çalışma SWI görüntülemenin, lezyonların boyutunun GRE T2* görüntülemeye göre daha büyük gözlemlendiği saptadı ve bu boyutsal farkta istatistiksel olarak anlamlıydı (p<0.001). Bulgular Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tartışma

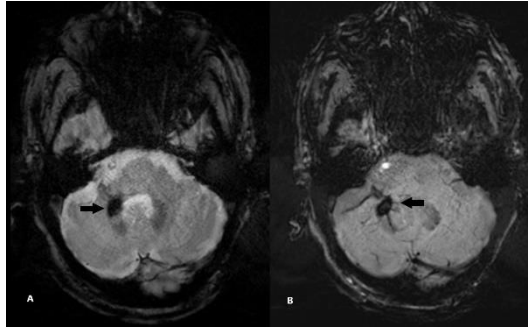
MR görüntüleme, SKM olgularında tanı koymak için seçilmesi gereken en iyi radyolojik modalitedir (5-7). SKM'ler içerdiği deoksihemoglobin ve hemosiderin nedeniyle manyetik duyarlılık etkileri yaratır ve MR görüntülerde sinyal intensitesinde bir azalmaya neden olur. Bu sinyal anormallikleri GRE T2* görüntülerde, rutin TSE görüntülere kıyasla daha iyi saptanır (6). Literatürde son 5-10 yıl içinde yapılan çalışmalarda SKM ve diğer okült serebral vasküler malformasyonların saptanmasında SWI görüntülemenin tercih edilmesi gerektiği vurgulanmıştır (11,12). SWI görüntüleme, venöz damarlara, kan ürünlerine ve vasküler malformasyonlara karşı oldukça hassastır (13,14). Bulgularımız SKM'lerin saptanmasında SWI MRG görüntülemenin GRE T2* görüntülemeye daha duyarlı olduğunu doğruladı. Hem önceki



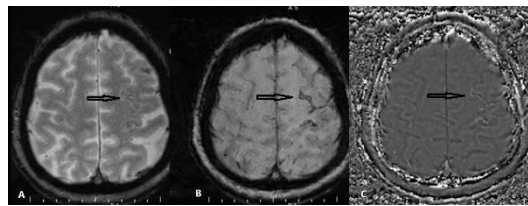
Resim 1. GRE T2* aksiyel (Resim 1A) ve SWI (Resim 1B) ve SWI-Phase (Resim 1C) aksiyel görüntüler. GRE T2* görüntüde, sağ frontal lobda sadece 1 adet SKM izlenmektedir. Aynı düzeyden geçen aksiyel SWI ve SWI-phase görüntülerde ise GRE T2* görüntüye ek olarak sağ frontal lob antero-medialinde ayrıca 2 adet daha (toplam 3 adet) SKM izlenmektedir (Resim 1B'de oklar ile işaretlenmiştir).



Resim 2. GRE T2* aksiyel (Resim 2A) ve SWI (Resim 2B) ve SWI-Phase (Resim 2C) aksiyel GRE T2* görüntüde sağ parietal lobda 9.55 mm çapta SKM izlenmektedir. SWI görüntüde lezyonun çapı 10.38 mm ölçülmüş (büyük ok) ve sağ frontal lobda başka bir küçük SKM mevcuttur (küçük ok).



Resim 3. GRE T2* aksiyel (Resim 3A) ve SWI aksiyel (Resim 3B) görüntüler. GRE T2* görüntüde sağ orta serebral pedikülde SKM izlenmektedir (siyah ok). Aynı yerden geçen aksiyel SWI görüntüde SKM'ye eşlik eden gelişimsel venöz anomali (GVA).



Resim 4. GRE T2* aksiyel (Resim 4A) ve SWI (Resim 4B) ve SWI-Phase aksiyel (Resim 4C) görüntüler. GRE T2* aksiyel görüntüde sol frontal lobda siliik sınırlı kortikal yüzeysel siderozis (YS) bulguları (ok). Aynı yerden geçen aksiyel SWI görüntüde, YS tutulumu daha keskin, rezolüsyonu yüksek ve anatomik olarak tutulan alanlar daha geniş ve daha net izlenmektedir (Resim 4B ve 4C'de oklar).

Tablo 1. SWI sekansının rutin kranial MR görüntülerde SKM'leri saptamada GRE T2* sekansına göre karşılaştırılması

Kranial MRG Tetkiki	GRE T2* Sekansı	SWI Sekansı	p değeri
SKM Sayısı	69	97	-
SKM Boyutu (median (min-max))	7.7 (3.6-42)	7.9 (3.7-45)	p<0.001

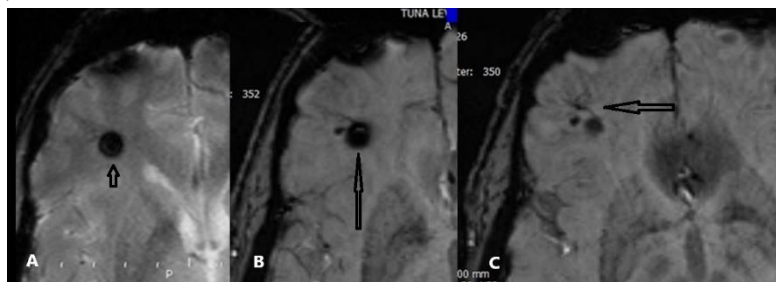
çalışmaların ve hem bizim çalışmamızın sonuçları, SKM'li hastalarda lezyon sayısını saptamak için SWI'nın GRE T2* görüntülemeye göre daha duyarlı olduğunu düşündürdü. Ayrıca çalışmamıza göre

SWI görüntüleme, lezyonların boyutunun GRE T2* görüntülemeye göre daha büyük gösteriyordu. Bunun nedeni GRE T2* görüntüler ile kıyaslandığında, SWI görüntülerde 'blooming'

artefaktının daha belirgin olmasıdır (6). Ayrıca SWI görüntüleme üç boyutlu, yüksek-uzaysal bir çözünürlüğe sahip bir görüntüleme yöntemi olup kemik-beyin arayüz artefaktlarından daha az etkilenmektedir (6,11,12).

SKM'lerin özel bir formu familial tip SKM hastalığıdır. Familial tipin en önemli özellikleri intrakranial multipl lezyonların varlığı ve yaşam boyunca yeni lezyonların gelişmesidir (15,16). Çalışmamıza dahil ettiğimiz 3 olgu familial tip SKM'liydi. Özellikle bu form için literatürde Sparacia ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, SWI sekansı SKM saptanmasında GRE T2* sekansına göre üstün bulunmuştur (12). Çalışmamızdaki familial tip SKM'ye sahip bu 3 olguda SWI görüntüleme de saptayabildiğimiz SKM sayısı (n=26), GRE T2* görüntülemeye kıyasla (n=17) çok daha fazlaydı ve bu bulgu literatür ile uyumlu bulundu.

Gelişimsel venöz anomalilerin (GVA) literatürde değişen oranlarda SKM'ye eşlik ettiği bildirilmiştir (ortalama %20, %8-33 arasında) ve bu nedenle iki lezyon bir arada olduğunda mikst tip vasküler malformasyon olarak adlandırılmıştır (17). Çalışmamızda 7 olguda SKM'ye eşlik eden GVA saptandı. Tespit edilen mikst tip vasküler malformasyonların oranı %11.8'di. Bu bulgumuzda literatür ile uyumluydu. GRE T2* görüntüleme, küçük venöz yapıları saptayabilsede, SWI görüntülemenin hem magnitud ve hem de faz bilgilerine sahip olması, GRE T2* sekanslarında saptanamayan düşük akışlı vasküler malformasyonların tanımlanması için gelişmiş hassasiyet sağlar (18,19). Çalışmamızda SKM'ye eşlik eden ve tanı koyduğumuz GVA olguları ya sadece SWI görüntülemeye saptanabilmekteydi ya da SWI görüntüleme lezyonları daha ayrıntılı gösteriyordu (Resim 5).



Resim 5. GRE T2* aksiyel (Resim 5A) görüntüde sağ frontal lobda izlenen SKM ok ile işaretlenmiştir. Aynı düzeyden geçen aksiyel SWI görüntü (Resim 5B) ve bir alt kesit aksiyel SWI görüntüde (Resim 5C) SKM'ye eşlik eden küçük gelişimsel venöz anomali (GVA).

Serebral okkült vasküler malformasyonlar (SKM, GVA ile kapiller telenjektazi) santral sinir sistemi yüzeysel siderozisinin (YS) etiyolojik nedenlerinden olabilir (20). Li ve ark, serebral vasküler malformasyonlar ile ilişkilendirdiği üç YS vakası bildirmiş ve patolojik hemosiderin birikiminin sebebini, subaraknoid boşlukların yakınında bulunan bu lezyonlara atfetmiştir (21). Ayrıca literatürde Ogura ve ark ise pineal lojda lokalize serebral kavernoöz malformasyona bağlı gelişen YS olgusunu bildirmiştir (22). Bizde

çalışmamıza dahil ettiğimiz 59 olgunun 4'ünde SKM'ye eşlik eden fokal tip lokalize YS saptadık. SKM'ye eşlik eden YS için SWI sekansı, hem YS'nin keskinliğini ve varlığını gösterilmesinde, hem de anatomik dağılımının gösterilmesinde GRE T2* görüntülemeye göre üstündü.

Çalışmamızın bazı sınırlılıkları vardı. Bunlardan birincisi SKM için çalışma popülasyonumuz da sınırlı sayıda hasta vardı. İkincisi, hastalarımızda histopatolojik tanımız mevcut değildi. Biz bütün olgularımız için, tüm hastaların klinik ve geçmişi dikkatle araştırdık ve ek nörolojik anormallikleri dışlamak için önceki görüntüleme çalışmalarını da tekrar gözden geçirdik. Böylece SKM'yi taklit eden serebral amiloid anjiyopati, fokal parankimal hemoraji, kalsifikasyon ve posttravmatik hemorajik parankimal kontüzyon-nöroaksonal zedelenme gibi patolojileri tanıda dışladık.

Sonuç olarak, SKM düşünülen olgularda tanısal üstünlüğü nedeni ile rutin kranial MR görüntülemeye SWI sekansı eklenmesi literatürde pek çok çalışmada önerilmektedir. Biz bu çalışmada mevcut literatüre ek olarak, SWI sekansının GRE T2* sekansında alınan görüntülere kıyasla lezyonların hem sayısını daha fazla ve hem de morfolojik olarak daha büyük gösterdiğini saptadık. Ayrıca SWI görüntüleme, SKM'ye eşlik edebilecek okkült vasküler malformasyon saptanmasında ve fokal tip YS varlığının saptanmasında GRE T2* görüntülemeye kıyasla anlamlı bir tanısal üstünlüğe sahipti. Sonuç olarak SKM'lerin gerçek prevalansını sayısını değerlendirmek ve SKM'ye eşlik edebilecek GVA gibi okkült vasküler malformasyonları ve YS olgularını saptayabilmek için rutin klinik nörogörüntüleme protokollerine SWI görüntülemenin eklenmesi faydalı olacaktır.

Etik Kurul Onayı: Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulu'ndan 14.02.2020 tarih ve 190262/23 numara ile onay alınmıştır.

Kaynaklar

1. Barrow DL. Classification and natural history of cerebral vascular malformations: arteriovenous, cavernous and venous. J Stroke Cerebrovasc Dis. 1997;6:264-7.

2. Kim DS, Park YG, Choi JU, et al. An analysis of the natural history of cavernous malformations. *Surg Neurol.* 1997;48:9–17.
3. Labauge P, Brunereau L, Levy C, et al. The natural history of familial cerebral cavernomas: A retrospective MRI study of 40 patients. *Neuroradiology.* 2000;42:327–32.
4. Jain R, Robertson PL, Gandhi D, et al. Radiation-induced cavernomas of the brain. *Am J Neuroradiol.* 2005;26:1158–62.
5. Lehnhardt FG, Von Smekal U, Ruckriem B, et al. Value of gradient-echo magnetic resonance imaging in the diagnosis of familial cerebral cavernous malformation. *Arch Neurol.* 2005;62:653–8.
6. De Souza JM, Domingues RC, Cruz LC, Jr, et al. Susceptibility-weighted imaging for the evaluation of patients with familial cerebral cavernous malformations: A comparison with T2-weighted fast spin-echo and gradient-echo sequences. *Am J Neuroradiol.* 2008;29:154–8.
7. Charidimou A, Linn J, Vernooij MW, et al. Cortical superficial siderosis: detection and clinical significance in cerebral amyloid angiopathy and related conditions. *Brain.* 2015;138(8):2126–39.
8. Jagadeesan BD, Delgado Almandoz JE, Moran CJ, Benzinger TL. Accuracy of susceptibility-weighted imaging for the detection of arteriovenous shunting in vascular malformations of the brain. *Stroke.* 2011;42(1):87–92.
9. Stehling C, Wersching H, Kloska SP, et al. Detection of asymptomatic cerebral microbleeds: a comparative study at 1.5 and 3.0 T. *Acad Radiol.* 2008;15:895–900.
10. Hegde AN, Mohan S, Lim CC. CNS cavernous haemangioma: “popcorn” in the brain and spinal cord. *Clin Radiol.* 2012;67:380–8.
11. Bulut HT, Sarica MA, Baykan AH. The value of susceptibility weighted magnetic resonance imaging in evaluation of patients with familial cerebral cavernous angioma. *Int J Clin Exp Med.* 2014;7(12):5296–302.
12. Sparacia G, Speciale C, Banco A, et al. Accuracy of SWI sequences compared to T2*-weighted gradient echo sequences in the detection of cerebral cavernous malformations in the familial form. *Neuroradiol J.* 2016;29(5):326–35.
13. de Champfleury NM, Langlois C, Ankenbrandt WJ, et al. Magnetic resonance imaging evaluation of cerebral cavernous malformations with susceptibility-weighted imaging. *Neurosurgery.* 2011;68:641–7.
14. Campbell PG, Jabbour P, Yadla S, et al. Emerging clinical imaging techniques for cerebral cavernous malformations: a systematic review. *Neurosurg Focus.* 2010;29:E6.
15. Moriarity JL, Wetzel M, Clatterbuck RE, et al. The natural history of cavernous malformations: a prospective study of 68 patients. *Neurosurgery.* 1999;44:1166–71–3.
16. Labauge P, Brunereau L, Levy C, et al. The natural history of familial cerebral cavernomas: a retrospective MRI study of 40 patients. *Neuroradiology.* 2000;42:327–32.
17. Boukobza M, Enjolras O, Guichard JP, et al. Cerebral developmental venous anomalies associated with head and neck venous malformations. *AJNR Am J Neuroradiol.* 1996;17(5):987–94.
18. Sahin N, Solak A, Alkilic L. The Contribution of Susceptibility-weighted Imaging (SWI) in Occult Cerebral Vascular Malformations in Pediatric Patients. *Clin Med Rev Case Rep.* 2015;2:032.
19. Barnes SR, Haacke EM. Susceptibility-weighted imaging: clinical angiographic applications. *Magn Reson Imaging Clin N Am.* 2009;17:47–61.
20. Levy M, Turtzo C, Llinas RH. Superficial siderosis: a case report and review of the literature. *Nat Clin Pract Neurol.* 2007;3:54–8.
21. Li KW, Haroun RI, Clatterbuck RE, et al. Superficial siderosis associated with multiple cavernous malformations: report of three cases. *Neurosurgery.* 2001;48:1147–50.
22. Takafumi Ogura, Atsushi Kambe, Makoto Sakamoto, et al. Superficial Siderosis Associated With Pineal Cavernous Malformation. *World Neurosurg.* 2018 ;109: 230–2.