

Nöroradyolojide “Susceptibility Weighted Imaging sekansı” uygulamaları

“Susceptibility Weighted Imaging sequence” applications in neuroradiology

Memik Teke¹, Adnan Kına², Özgür Sarıca², Sait Albayram³

ÖZET

Amaç: Klinik uygulamaya yakın zamanda giren Susceptibility Weighted Imaging (SWI) sekansı dokuların manyetik yatkınlık farklarını kullanarak kontrast oluşturan, T1, T2, T2* ve proton dansitesinden farklı yeni bir sekanstır. Çalışmamızda, nöroradyolojide susceptibility weighted imaging sekansının kullanılabilirliği ve lezyon saptamada ki duyarlılığının ortaya konması amaçlandı.

Yöntemler: Şubat 2009- Mayıs 2009 tarihleri arasında S.B. Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesinde klinisyen tarafından magnetik rezonans (MR) istemi yapılmış ortalama 51,6 yaşında (Aralık: 5-86) ,93'ü (%51,7) kadın ve 87'si (%48,3) erkek 180 hasta çalışmaya dahil edildi. Tüm hastalara 1,5-T MR cihazı (Magnetom Avanto; Siemens, Erlangen, Almanya) kullanılarak konvansiyonel sekanslara ek olarak aksiyal T2* ve SWI sekansları ile görüntüler alındı. Hastalar lezyon görülebilirliği ve görünüm özellikleri açısından konvansiyonel ve T2* sekans ile karşılaştırıldı.

Bulgular: Çalışmamızda 12 hastada travmatik, 10 hastada notravmatik kanama, 17 hastada kitle, 14 hastada mikrokranama odakları, 18 hastada vasküler malformasyon, 19 hastada iskemik serebral enfarkt, 5 hastada sistemik veya nörodejeneratif hastalığa bağlı serebral minereal birikimi, 8 hastada multiple skleroz ve 48 hastada nonspesifik bulgular saptanmıştır. Toplam 30 hastada ise herhangi bir patolojik bulgu saptanmamıştır.

Sonuç: SWI sekansı, anatomik detay kaybı olmaksızın yavaş akımlı vasküler lezyonlar, mikro-makro kanamalar, mineral birikimini saptamada, kranial kitlelerin iç yapısını anlamada ve serebral enfarktlarda hemorajik transformasyonu saptamada duyarlı yeni bir MR sekansdır.

Anahtar kelimeler: Susceptibility weighted imaging, nöroradyoloji, manyetik rezonans görüntüleme

ABSTRACT

Objective: Susceptibility weighted imaging (SWI) is a novel magnetic resonance technique which uses tissue magnetic susceptibility differences to generate a unique contrast, different from that of spin density, T1, T2, and T2*. The subject of this study is to display the usability and the lesion detection sensitivity of the susceptibility weighted imaging sequence at the various clinic condition in neuroradiology.

Methods: Between February 2009 - May 2009 in Taksim Education and Research Hospital 180 patients, 93 (51.7%) females and 87 (48.3%) males and mean age is 51,6 (range between 5-86), are included to this study. T2* and SWI sequences were applied to all patients additional to conventional magnetic resonance imaging (MRI) sequences by using 1,5 Tesla MRI device (Magnetom Avanto; Siemens, Erlangen, Germany). Patients were compared with conventional and T2 * sequences in terms of visibility and appearance characteristics of lesions.

Results: In our study, we found out that, 12 patients have traumatic and 10 patients have non-traumatic bleeding, 17 patients have mass, 14 patients have micro bleeding spots, 18 patients have vascular malformations, 19 patients have ischemic cerebral infarct, 5 patients have cerebral mineral depositions which is related to systemic or neurodegenerative disorders, 8 patients have multiple sclerosis and 48 patients have nonspecific findings. In 30 patients no pathologic findings have been found.

Conclusion: SWI sequence is a new MRI imaging sequence which is sensitive in detection of pathologies like macro-micro bleeding, mineral depositions, low-flow vascular lesions, internal architecture of the cranial masses, and also showing hemorrhagic transformations in cerebral infarcts without anatomical detail loss.

Key words: Susceptibility weighted imaging, neuroradiology, magnetic resonance imaging

¹ Dicle Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyoloji AD, Diyarbakır, Türkiye

² Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyoloji Kliniği, İstanbul, Türkiye

³ İstanbul üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Radyoloji AD, İstanbul, Türkiye

Yazışma Adresi /Correspondence: Memik Teke,

Dicle Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Radyoloji ABD, Yenişehir 21280 Diyarbakır, Türkiye Email: memikteke@gmail.com

Geliş Tarihi / Received: 13.03.2015, Kabul Tarihi / Accepted: 21.04.2015

Copyright © Dicle Tıp Dergisi 2015, Her hakkı saklıdır / All rights reserved

GİRİŞ

Radyolojik görüntüleme yöntemlerinin hızla gelişmekte olduğu günümüzde manyetik rezonans görüntüleme (MRG) tüm dünyada üzerinde en çok çalışma ve araştırmaların yapıldığı radyolojik inceleme yöntemidir. Klinik uygulamaya yeni giren sekanslardan bir tanesi de Susceptibility Weighted Imaging (SWI) sekansıdır. SWI sekansı Haacke ve ark. [1] tarafından geliştirilen dokuların manyetik yatkınlık farklarını kullanarak kontrast oluşturan, T1, T2, T2* ve proton dansitesinden farklı yeni bir sekansdır [2].

SWI sekansında öncelikle ham faz imajlar oluşmaktadır. Bu ham imajlardan yüksek ve düşük geçişli filtreler kullanılarak filtrelenmiş faz imajlar elde edilir. Faz imajlar orijinal magnifiye imajlardaki kontrastı artırmak için kullanılır. Faz imajlar çoğaltılıp orijinal magnifiye imajlarla birleştirilerek magnifiye SWI görüntüler elde olunur [1]. Sonrasında ise minimum intensite projeksiyon (MinIP ≥ 4 imaj) kullanılarak görüntüler elde edilir.

Çalışmamızda, nöroradyolojide SWI sekansının kullanılabilirliği ve lezyon saptamadaki duyarlılığını ortaya koymayı amaçladık.

YÖNTEMLER

Bu çalışmaya Şubat 2009- Mayıs 2009 tarihleri arasında S.B. Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde çeşitli klinik nedenlerle klinisyen tarafından MR istemi yapılmış 5-86 yaşları arasında (ortalama 51,6) 180 hasta; 93 (%51,7) kadın ve 87 (%48,3) erkek dahil edildi. Çalışmamız S.B. Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesi Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır.

MR görüntüleme tetkikleri 1,5 Tesla MR cihazı ile (Magnetom Avanto; Siemens, Erlangen, Almanya) 12 kanallı kafa koili kullanılarak gerçekleştirildi. Çalışmada her olgu aksiyel planda T1, T2, FLAIR ve sagittal planda T1 ağırlıklı kranyal rutin MR sekanslarına ek olarak aksiyel T2* ve SWI MR sekansları ile değerlendirildi. Çalışmamızda kullandığımız sekans parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan sekans parametreleri

Sekans	T1	T2	FLAIR	T2*	SWI
TR (msn)	367	3400	9000	700	49
TE (msn)	9.4	100	110	26	40
TI (msn)	-	-	2500	-	-
Kesit Kalınlığı (mm)	5	5	5	5	2
FA	-	-	-	30°	20°
Matriks	256x256	256x256	256x256	256x256	256x256
NEX	2	2	2	2	1
Bandwidth (Px/Hz)	20	40	30	10	80
FOV (mm)	220				

TR: Time to repeat, TE: Echo time, TI: Inversion time, FA: Flip angel, NEX: Number of excitation, FOV: Field of view, SWI: Susceptibility weighted imaging

Hastalar lezyon görülebilirliği ve görünüm özellikleri açısından farklı zamanlarda 2 ayrı radyolog tarafından değerlendirildi. Saptanan lezyonlar konvansiyonel ve T2* sekans ile karşılaştırıldı. İstatistiksel değerlendirmede tanımlayıcı metot kullanılmıştır.

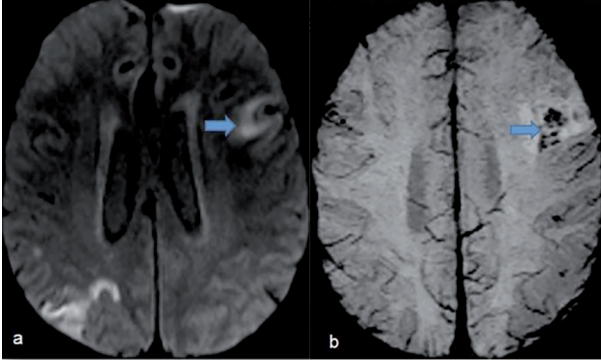
BULGULAR

Çalışmamıza dahil edilen 19 hastada iskemik serebral enfarkt, 12 hastada travmatik, 10 hastada nontravmatik kanama, 17 hastada kitle, 14 hastada mikrokanama odakları, 18 hastada vasküler malfor-

masyon, 5 hastada sistemik veya nörodejeneratif hastalığa bağlı serebral minereal birikimi, 8 hastada multiple skleroz ve 48 hastada nonpesifik bulgular saptanmıştır. 30 hastada ise patolojik bulgu saptanmamıştır.

İskemik serebrovasküler hastalık

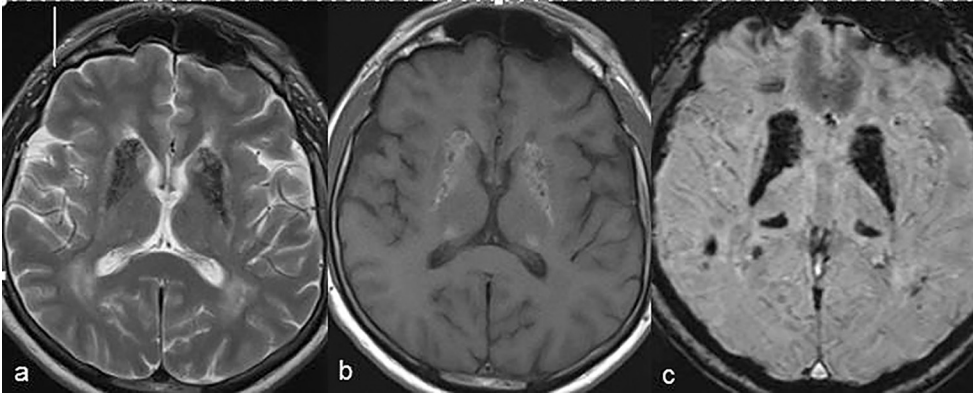
Çalışmamızda iskemik serebrovasküler hastalık (SVH) ön tanısı ile MR görüntülemesi yapılan 19 hastanın 8 tanesinde SWI, 6 tanesinde T2* sekans ve 5 tanesinde ise konvansiyonel sekanslarla hemoraji tesbit edildi (Resim 1).



Resim 1. DAG (a) görüntülerde sol frontal ve sağ parietal lobta iskemik ile uyumlu sinyal artışları ve SWI (b) sekansında ise sol frontal lobta hemorajik transformasyon ile uyumlu hipointens kanama odakları izlenmektedir.

Vasküler malformasyonlar

SWI sekansı ile 13 hastada vasküler malformasyon saptanmış olup, bu hastaların 9 tanesinde venöz anjiom ve 4 tanesinde ise kavernom saptandı. SWI sekansı ile venöz anjiom saptanan 9 hastanın 6 tanesinde T2* sekansla ve 4 tanesinde ise konvansiyonel sekanslarla (Kontrastsız) venöz anjiom saptandı. Kavernom saptanan 4 hastada ise SWI sekansı ile 7 odak, T2* sekansla 6 ve konvansiyonel sekanslarla 4 odak saptanabildi (Resim 2).



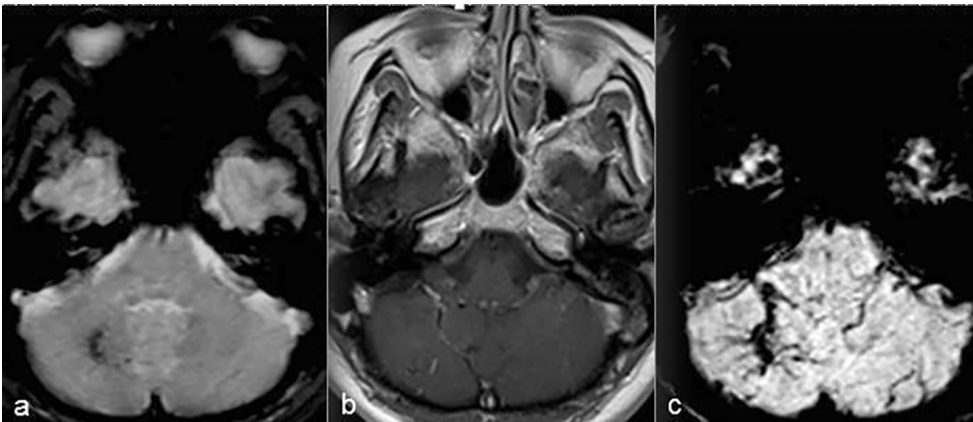
Resim 2. 35 yaş erkek hasta. Hipoparatiroidizm nedeniyle kalsiyum replasmanı yapılan hastada T2 (a) ve T1 (b) ağırlıklı görüntülerde bazal gangliyalarda, SWI (c) sekansında ise ek olarak parenkimde de yaygın mineral birikimi izlenmektedir.

Serebral mikrokanamalar

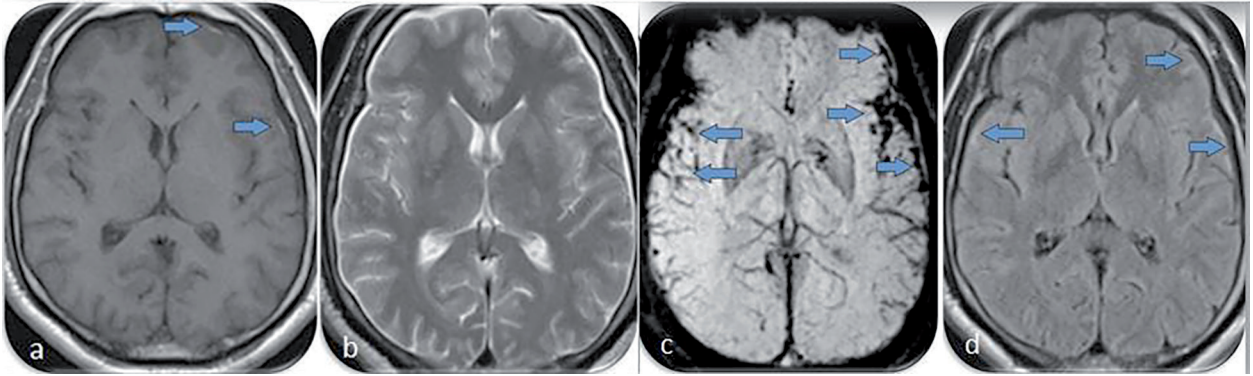
Çalışmamızda 14 hastada SWI ile 13 hastada ise T2* sekansla mikrokanama odakları tespit edildi. T2* sekansında 13 hastada saptanan kanama odağı sayısı 82, SWI da ise 14 hastada saptanan kanama odağı sayısı 114 idi. SWI sekansı ile 14 hastada T2* sekansa göre %39 daha fazla kanama odağı saptandı (Resim 3).

Travma

12 hastada travmaya bağlı kanama saptandı. SWI ile ekstraaksiyal kanama saptanan tüm hastalarda konvansiyonel sekanslarla da kanama tespit edildi (Resim 4).



Resim 3. T2* (a), T1+C (b) sekanslarında serebellum sağ yarısında SWI (c) sekansına oranla güçlükle izlenebilen medusa başı görünümünde venöz anjiom



Resim 4. 61 yaş erkek hasta. Travmatik subaraknoid kanama. T1 (a), T2 (b) ve FLAIR (d) sekanslarda güçlükle seçilebilen hemorajinin SWI (c) sekansı ile solda daha belirgin olmak üzere her iki sylvian fissürü doldurduğu izlenmektedir.

Siderozis

Beş hastada tekrarlayan kanamalara bağlı olarak supial doku veya kranial sinirler üzerinde makrofajlar içerisinde biriken hemosiderinin neden olduğu siderozis saptanmıştır.

Nörodejeneratif ve metabolik hastalıklar

Çalışmamızda Parkinson hastalığı nedeniyle tedavi görmekte olan 4 hastanın 3 tanesinde substansia nigranın pars kompaktasında belirgin demir birikimi izlendi.

Hipoparatiroidizm nedeniyle kalsiyum replasmanı yapılan 1 hastada ise konvansiyonel sekanslarla sadece bazal gangliyalardaki kalsiyum birikimi saptanırken SWI ile ek olarak parenkimdeki kalsiyum birikimi de saptandı.

Beyin kitleleri

17 hastada beyinde kitle tespit edilmiş olup SWI sekansı kitlelerin kalsifiye veya hemorajik komponentini saptamada konvansiyonel ve T2* sekansa oranla daha başarılı olmuştur.

TARTIŞMA

Çalışmamızda Wycliffe ve ark.[3] çalışması ile uyumlu olarak SWI sekansı hemorajiyi T2* sekansa oranla %25, konvansiyonel sekanslara oranla ise %37,5 daha iyi saptadı. Ayrıca SWI sekansı ile hemorajinin boyutu ve ek odak varlığı daha net olarak gösterildi. SWI sekansı yüksek duyarlılığı ile hemorajik komponentin tespitini mümkün kılarak

iskemik veya hemorajik enfarkt ayırımına yardımcı olmaktadır (Resim 1).

Hemorajik transformasyon trombolitik tedavinin en korkulan komplikasyonudur. Nighoghossian ve ark. serebral enfarktli hastalarda eski mikrokanama odakları sayısının kanama eğilimi ile ilişkili olduğunu bulmuşlardır [4]. SWI sekansı ile enfarktli hastalardaki mikrokanama odaklarının sayısına bakılarak trombolitik tedavi öncesi hemorajik transformasyon potansiyeli tahmin edilebilir ve trombolitik tedavi sonrası ise erken dönem mikrokanamalar tespit edilebilir.

Tromboembolizm arteriyel akımı azalttığından ilgili arterin sulama alanında deoksijenize kan miktarı artmakta ve böylece drenaj venlerinin susceptibility efekti artarak hipoperfüze alandaki venler hipointens izlenmektedir. Çalışmamızda da 2 hastada diğer sekanslarda izlenmeyen, hipoperfüze alandaki venöz yapılar SWI sekansı ile belirgin hipointens olarak izlendi. Bu özelliği ile SWI sekansı, hipoperfüze alanları göstererek perfüzyon ağırlıklı görüntüleme gerekliliğini azaltmaktadır.

Taze pıhtı yüksek miktarda deoksihemoglobin içerdiğinden SWI'da hipointens görünür. Serebral arterlerin proksimal parçalarındaki stenoz veya trombüs manyetik rezonans anjiyografi (MRA) ile iyi bir şekilde gösterilebilirken distal segmentlerinde aynı başarı sağlanamamaktadır. SWI ise distal dallarda da trombüsü gösterebilmekte ve böylece MRA'ye iyi bir tamamlayıcı olmaktadır [5].

Venöz anjioma, telenjiektazi ve kavernomlar yavaş akımın izlendiği vasküler malformasyonlar

olup konvansiyonel MR sekansları ile saptanabilmele birlikte lezyon boyutu küçüldükçe konvansiyonel sekansların duyarlılığı azalmaktadır [6]. Bunun yanında kanamamış kavernomlar konvansiyonel sekanslarla saptanamayabilir. T2* sekansın duyarlılığı konvansiyonel sekanslara göre daha yüksektir ancak SWI sekansı ile T2* sekansla saptanamayan vasküler malformasyonlar da saptanabilmektedir [7].

Reichenbach ve ark. çalışmalarında klinik olarak yavaş akımlı vasküler malformasyondan şüphelenilen olgularda ideal inceleme tekniğinin SWI sekansı olduğunu bildirmişlerdir [8].

Bizim çalışmamızda da SWI sekansı T2* sekansa göre %25 konvansiyonel (kontrastsız) sekanslara göre ise %50 daha fazla sayıda venöz anjiom (Resim 2), T2* sekansa göre %16,6 konvansiyonel (kontrastsız) sekanslara göre ise %75 daha fazla sayıda kavernom saptamıştır.

Serebral mikrokanamalar, kronik hipertansiyon, CADASIL (Serebral otozomal dominant arteriopatı- subakut enfarkt ve lökoensefalopati), CAA (serebral amiloid anjiopatı), vaskülitler, enfektif endokardit ve Binswangers gibi bir çok hastalıkta izlenmektedir [6, 9].

T2* sekansı serebral mikrohemorajilerin tesbitinde iyi bir sekans olmasına rağmen CAA tanılı hastaların %25'inde bu sekans ile mikrokanama tesbit edilememektedir [10]. Larsen ve arkadaşları 88 yaşında Alzheimer tanılı hastada yaptıkları çalışmada SWI sekansı ile T2* sekansa oranla daha fazla sayıda mikrohemoraji odağı tesbit etmişlerdir [11].

Çalışmamızda da literatür ile uyumlu olarak 14 hastada mikrokanama odakları tesbit edilmiş olup SWI sekansı 14 hastada T2* sekansa göre %39 daha fazla sayıda kanama odağı saptamıştır (Resim 3).

Tong ve ark. [12,13] ile Babikian ve ark. [14] yaptıkları çalışmalarda difüz aksonal hasarlanma (DAI) de hemorajik lezyonların sayı, boyut ve dağılımının tesbitinde SWI sekansı T2* sekansa göre 3-6 defa daha sensitif bulmuşlardır.

Haacke ve ark. ise SWI'nın sadece parenkimal kanamalarda değil aynı zamanda ekstraaksiyal kanamalarda da bazen bilgisayarlı tomografiden de daha sensitif olduğunu göstermişlerdir [15].

Çalışmamızda SWI ile ekstraaksiyal kanama saptanan tüm hastalarda konvansiyonel sekanslarla da kanama tesbit edildi. Ancak SWI sekansı kanamanın yayılımını, boyutunu ve kontüzyonları diğer sekanslara oranla belirgin şekilde daha iyi gösterdi (Resim 4).

Tekrarlayan kanamalara bağlı olarak leptomeninksler, subpial doku, spinal kordda ve kranial sinirler üzerinde reaktif makrofajlar içerisinde hemosiderin birikimleri oluşmakta ve bu birikime bağlı olarak hastalar iştih kaybı, serebellar disfonksiyon, piramidal trakt bulguları ve ilerleyici mental yıkım ile doktora başvurmaktadırlar. MR'ın kullanıma girmesinden önce bu tanı hemen hemen yalnızca otopside konuluyordu. Çalışmamızda 5 hastada siderozis saptanmış olup bu hastalarda SWI sekansı siderozisin yayılımını konvansiyonel sekanslara oranla belirgin T2* sekansa oranla ise daha iyi gösterdi.

Beyin tümörlerinde görüntülemenin amacı tanı, evreleme ve tedaviyi yönlendirmektir. Günümüzde görüntüleme yöntemleri bize kitleyi morfolojik, metabolik ve fonksiyonel açıdan değerlendirme imkânı sunmaktadır. Gliomların evrelemede kitlenin kalsifikasyon içermesi, hemorajik, nekrotik veya kistik komponentinin olması ve kontrastlanması gibi morfolojik ve fonksiyonel özellikleri belirleyicidir.

Seghal ve ark. [16] ile Haacke ve ark. [15] yaptıkları çalışmalarda SWI sekansının kitlenin iç yapısını gösterme de kontrastlı T1 ve diğer konvansiyonel sekanslara göre daha başarılı olduğunu bulmuşlardır.

Yüksek grade gliomlar genellikle hemorajik komponent içerdiğinden gliomların preoperatif evrelemede hemorajinin tesbitinde SWI sekansı oldukça faydalıdır. Hemoraji benzer paramanyetik etkisinden dolayı neoplastik venöz vasküler yapılar ile karıştırılabilir. Bu durumda pre ve postkontrast SWI imajları alındığında venöz yapıların intensitesi değişirken hemorajinin intensitesi değişmez [17].

Kalsifikasyon beyin tümörlerinin tanısında ve ayırıcı tanısında önemli bir göstergedir. Kalsifikasyon konvansiyonel T1 ve T2 sekanslarda değişken sinyal intensitesinde olması ve T2* sekansa hemoraji gibi hipointens izlenmesi nedeniyle her zaman doğru şekilde tanınamayabilir [18-20]. SWI

faz imajlarda ise kalsifikasyonun diamanyetik, hemorajinin ise paramanyetik olması nedeniyle farklı intensitededirler ve ayrımı yapılabilir [21].

Çalışmamızda SWI sekansı kitlelerin kalsifiye veya hemorajik komponentini saptamada konvansiyonel ve T2* sekansa oranla daha başarılı olarak ayrıcı tanıda ve ervrelemede katkı sağlamıştır.

Birçok nörodejeneratif hastalıkta (Parkinson hastalığı, Huntington hastalığı, Alzheimer hastalığı, multiple skleroz, amyotrofik lateral skleroz ve Hallervorden-Spatz sendromu) ve yaşla birlikte bazal gangliyalarda demir birikimi olmaktadır [22].

Demirin indüklediği oksidatif stres nöron ölümine neden olan en sık mekanizmadır [23]. Kalsiyum (diamanyetik) ve demir (paramanyetik) gibi mineraller değişik derecelerde susceptibility etkisine neden olurlar ve bu nedenle SWI mineral birikimini göstermede oldukça sensitiftir. Eğer anormal demir birikimi nöron hasarının primer nedeni ise SWI faz imajlar ile hastalık erken safhada tespit edilebilir ve tedavi takibi yapılabilir. Eğer demir birikimi sekonder bir sonuçsa yine SWI faz imajlar hastalığın şiddetini belirlemede kullanılabilir.

Çalışmamızda da Parkinson hastalığı nedeniyle tedavi görmekte olan 4 hastanın 3 tanesinde substantia nigranın pars kompaktasında SWI sekansı ile demir birikimi izlendi. Ayrıca hipoparatiroidizm nedeniyle kalsiyum replasmanı yapılan 1 hastada ise konvansiyonel sekanslarda izlenmeyen parenkimal kalsiyum birikimi saptandı.

Çalışmamızın en önemli kısıtlaması, çalışma grubunun heterojenitesi ve her hastalık grubunda yeterli hasta sayısına ulaşamaması nedeniyle istatistiksel değerlendirme yapılamamasıdır.

Sonuç olarak; SWI sekansı, sağladığı ek veriler ile tanı, takip ve tedavi modalitesini belirlemede yardımcı ve yön gösterici yeni bir MR sekansıdır. Bu gün için SWI sekansının majör endikasyonları nörovasküler ve nörodejeneratif hastalıklardır. Fakat yakın gelecekte daha fazla endikasyonda kullanılacaktır.

KAYNAKLAR

1. Haacke EM, Mittal S, Wu Z, et al. Susceptibility-weighted imaging: technical aspects and clinical applications, Part I. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2009;30:19-30.
2. Reichenbach JR, Haacke EM. High-resolution BOLD venographic imaging: a window into brain function. *NMR Biomed* 2001;14:453-467.
3. Wycliffe ND, Choe J, Holshouser B, et al. Reliability in detection of hemorrhage in acute stroke by a new three-dimensional gradient recalled echo susceptibility-weighted imaging technique compared to computed tomography: a retrospective study. *J Magn Reson Imaging* 2004;20:372-377.
4. Nighoghossian N, Hermier M, Adeleine P, et al. Old microbleeds are a potential risk factor for cerebral bleeding after ischemic stroke: a gradient-echo T2*-weighted brain MRI study. *Stroke* 2002;33:735-742.
5. Hermier M, Nighoghossian N, Derex L, et al. MRI of acute post-ischemic cerebral hemorrhage in stroke patients: diagnosis with T2*-weighted gradientecho sequences. *Neuroradiology* 2001;43:809-815.
6. Thomas B, Somasundaram S, Thamburaj K, et al. Clinical applications of susceptibility weighted MR imaging of the brain: a pictorial review. *Neuroradiology* 2008;50:105-116.
7. Lee BCP, Vo KD, Kido DK et al MR high resolution blood oxygenation level dependent venography of occult (low-flow) vascular lesions. *AJNR Am J Neuroradiol* 1999;20:1239-1242.
8. Reichenbach JR, Jonetz-Mentzel L, Fitzek C, et al. High resolution blood oxygen level dependent MR venography (HRBV): a new technique. *Neuroradiology* 2001;43:364-369.
9. Won Seo S, Hwa Lee B, Kim EJ, et al. Clinical significance of microbleeds in subcortical vascular dementia. *Stroke* 2007;38:1949e51.
10. Haacke EM, DelProposto ZS, Chaturvedi S, et al. Imaging cerebral amyloid angiopathy with susceptibility-weighted imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007;28:316-17.
11. Larsen JP, Britt W, Kido D, et al. Susceptibility weighted magnetic resonance imaging in evaluation of dementia. *Radiology Case Reports* 2007;2:102.
12. Tong KA, Ashwal S, Holshouser BA, et al. Hemorrhagic shearing lesions in children and adolescents with posttraumatic diffuse axonal injury: improved detection and initial results. *Radiology* 2003;227:332e9.
13. Tong KA, Ashwal S, Holshouser BA, et al. Diffuse axonal injury in children: clinical correlation with hemorrhagic lesions. *Ann Neurol* 2004;56:36-50.
14. Babikian T, Freier MC, Tong KA, et al. Susceptibility weighted imaging: neuropsychologic outcome and pediatric head injury. *Pediatr Neurol* 2005; 33:184-194.
15. Haacke EM, Mittal S, Wu Z, et al. Susceptibility-weighted imaging: technical aspects and clinical applications, Part 2. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2009;30:232-252.
16. Seghal V, Delproposto Z, Haacke EM et al Clinical applications of neuroimaging with susceptibility-weighted imaging. *J Magn Reson Imaging* 2005;22:439-450.
17. Lin W, Mukherjee P, An H et al. Improving high resolution MR bold venographic imaging using a T1 reducing contrast agent. *J Magn Reson Imaging* 1999;10:118-123.

18. Oot RF, New PF, Pile-Spellman J, et al. The detection of intracranial calcifications by MR. *AJNR Am J Neuroradiol* 1986;7:801-809.
19. Avrahami E, Cohn DF, Feibel M, et al. MRI demonstration and CT correlation of the brain in patients with idiopathic intracerebral calcification. *J Neurol* 1994;241:381-384.
20. Tsuchiya K, Makita K, Furui S, et al. MRI appearances of calcified regions within intracranial tumors. *Neuroradiology* 1993;35:341-344.
21. Wu Z, Mittal S, Kish K, et al. Identification of calcification with magnetic resonance imaging using susceptibility-weighted imaging: a case study. *J Magn Reson Imaging* 2009;29:177-182.
22. Harder SL, Hopp KM, Ward H, et al. Mineralization of the deep gray matter with age: a retrospective review with susceptibility-weighted MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2008;29:176-183.
23. Qian ZM, Shen X. Brain iron transport and neurodegeneration. *Trends Mol Med* 2001;7:103-108.