

**NÖRORADYOLOJİ PRATIĞİNDE SUSCEPTIBILITY WEIGHTED IMAGING
(SWI) MRG SEKANS KULLANIM ALANLARI**

**APPLICATION AREAS OF SWI “SUSCEPTIBILITY WEIGHTED IMAGING
SEQUENCE” IN NEURORADIOLOGY**

Türkan İkizceli¹ Cemile Mutlu Deđer²

1 SBÜ, Haseki Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyoloji, İstanbul

2 Medipol Üniversitesi, Radyoloji, İstanbul

Corresponding Address:

Turkan IKIZCELI, MD.

Haseki Training and Research Hospital, Department of Radiology

34015

Istanbul, Turkey

Tel: 05324556302

E-mail: turkan.ikizceli@sbu.edu.tr

Geliř tarihi: 22.11.2018

Kabul Tarihi:02.12.2018

ÖZ

Amaç: Susceptibility Weighted Imaging (SWI) sekansı deoksihemoglobin, intrasellüler hemoglobin ve hemosiderin gibi kan ürünleri ile demir ve kalsiyum gibi minerallerin manyetik duyarlılıklarını kullanarak yüksek çözünürlüklü, üç boyutlu, magnifiye ve faz imajlardan ve bunların kombinasyonundan oluşan gradient ağırlıklı yeni bir MR sekansıdır. SWI sekansının nöroradyoloji pratiğinde kullanılabilirliği ve lezyon saptamadaki duyarlılığının ortaya konması amaçlandı.

Materyal ve Metod: Nisan 2010-Mayıs 2011 tarihleri arasında 1-87 yaşları arasında 70 hasta (40 erkek, 30 kadın) incelemeye dâhil edildi. Tüm olgulara 1,5 T MR cihazı ile rutin konvansiyonel MRG incelemesine SWI sekansı dahil edildi. SWI sekansının lezyon tesbit etmedeki duyarlılığı hesaplandı.

Bulgular: Çalışmamızda 18 hastada iskemik serebral enfarkt, 7 hastada nontravmatik, 7 hastada travmatik kanama, 10 hastada vasküler malformasyon, 21 hastada intrakranial kitle, 7 hastada nörodejeneratif hastalığa bağlı serebral minereal birikimi. SWI sekansı konvansiyonel sekanslarla karşılaştırıldığında mikro-makro kanamaların, venöz malformasyonların ve mineral birikiminin belirginliğini ve görünürliğini artırmaktadır.

Sonuç: SWI sekansı, mikro ve makro kanama, lezyon içine kanamaları göstermede, kranial kitlelerin sınırlarının daha doğru tespitinde, serebral enfarktlar da hemorajik evreyi saptamada, hücre içi mineral birikimi gibi birçok patolojinin saptanmasında, duyarlı yeni bir MR görüntüleme sekansıdır.

Anahtar kelimeler: Manyetik Rezonans Görüntüleme; Serebral; Lezyon

Abstract

Purpose: The Susceptibility Weighted Imaging (SWI) sequence is a new MR sequence consisting of high resolution, three-dimensional, magnified and phase images and a combination of gradient, using blood products such as deoxyhemoglobin, intracellular hemoglobin and hemosiderin, minerals such as iron and calcium. The aim of this study was to determine the usefulness of SWI sequence in neuroradiology practice and its sensitivity in detecting lesion.

Materials and Methods: Between April 2010 and May 2011, 70 patients (40 male, 30 female) between the ages of 1-87 were included in the study. SWI sequence was included in the routine conventional MRI examination with 1.5 T MR device in all cases. The sensitivity of the SWI sequence in detecting the lesion was calculated.

Results: In our study, 18 patients had ischemic cerebral diseases, hemorrhage (7 nontraumatic, 7 traumatic), 10 vascular malformations, 21 intracranial masses, 7 neurodegenerative diseases. The SWI sequence increases the visibility of micro-macro bleedings, venous malformations, and mineral accumulation compared to conventional sequences.

Conclusion: SWI sequence is a new MR imaging sequence that is sensitive to micro and macro bleeding, showing bleeding into the lesion, more accurate detection of the cranial masses, cerebral infarcts in detecting many pathologies such as intraabdominal mineral accumulation.

Key words: Magnetic Resonance Imaging; Cerebral; Lesion

GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişen teknoloji ile birlikte özellikle sunduğu multiplanar görüntüleme imkânı, radyasyon içermemesi gibi avantajları sayesinde santral sinir sistemi görüntülemesinde travma gibi bazı istisnai durumlar haricinde Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) ilk tercih edilen görüntüleme yöntemi haline gelmiştir (1, 2). Teknolojik gelişme ile birlikte ileri MRG uygulamalarından Susceptibility Weighted Imaging (SWI) ilk defa 2004 yılında Haacke M. ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş olup kan oksijen düzeylerine bağlı görüntüleme şeklinde uygulamaya girmiştir (3). SWI deoksijene kan ve kan ürünleri ile demir ve kalsiyum gibi maddelerin manyetik duyarlılıklarını kullanıp, her üç yönde de akım kompanseasyonu yaparak faz ve magnifiye görüntülerin bir araya gelmesi ile oluşan yüksek çözünürlüklü 3 boyutlu bir gradient sekanstır (4). Paramanyetik deoksijene kan ürünleri (deoksihemoglobin, intrasellüler methemoglobin ve hemosiderin) içeren alanlar ve bunları çevreleyen dokular arasında faz farklılıkları ile sonuçlanan dokular arası manyetik susceptibilite farklılıkları rahatlıkla tespit edilir. Bu şekilde görüntü kontrastı artar (5). SWI oksijene ve deoksijene hemoglobin arasındaki susceptibilite farklılığının neden olduğu faz değişikliklerinde olduğu gibi arteriyel ve venöz kanın relaksasyon farklılıklarına da çok hassas olduğundan dolayı sinyal artışı ile venöz dolaşımdaki sinyal kaybını daha belirgin olarak gösterir (6). SWI sekansta ilk elde edilen ham imajlardan yüksek ve düşük geçişli filtreler kullanılarak filtrelenmiş faz imajlar elde edilir. Faz imajlar orijinal magnifiye imajlardaki kontrastı artırmak için kullanılır ve bu imajlar çoğaltılıp orijinal magnifiye imajlarla birleştirilerek magnifiye SWI görüntüler elde olunur. Sonrasında ise minimum intensite projeksiyon kullanılarak görüntüler elde edilir (5, 6). Yapılan çalışmalarda özellikle santral sinir sistemi görüntülemesinde birçok klinik durumda SWI'nın faydalı bilgiler sağladığı gösterilmiştir.

Biz bu çalışmamızda SWI sekansın nöroradyoloji pratiğinde kullanılabilirliğini ve lezyon saptamadaki duyarlılığını ölçmeyi amaçladık.

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada Ocak 2010-Mayıs 2011 tarihleri arasında Sağlık Bilimleri Üniversitesi Haseki Eğitim ve Araştırma Hastanesi'ne herhangi bir klinik yakınma nedeniyle kraniyal MR

istemiyle başvuran 1-87 yaşları arasında 119 olguya SWI sekansı yapıldı. 37 normal olgu, 12 non spesifik bulguları bulunan olgular, değerlendirme için yeterli kalitede olmayan yoğun artefakta sahip olgular çalışma dışı bırakıldı. İskemik serebrovasküler hastalık, kitle, vasküler malformasyona sahip olgular, travmatik ve non travmatik kanama olguları, nörodejeneratif hastalık ve multiple sklerozlu olgulardan 70 olgu (40 erkek, 30 kadın, ortalama yaş 42,2) incelemeye dahil edildi.

MRG tetkikleri 1,5 Tesla MR cihazı ile (Philips, Achieva 1.5T, The Netherlands) standart "headcoil" kullanılarak gerçekleştirildi. Çalışmada her olgunun aksiyel planda T1, T2, FLAIR ve sagittal planda T2 ağırlıklı kraniyal rutin MR sekanslarına ek olarak T2*GRE ve SWI MR sekansları alındı. Çalışmamızda kullandığımız sekans parametreleri (Tablo 1); SWI sekansı parametreleri; TR: 35 msn, TE: 15 msn, kesit kalınlığı: 2 mm, FOV: 230 mm, Flip Angle: 15°, Matriks: 256x256, number of acquisitions (NEX): 1, Bandwidth: 70 Px/Hz.

T2* sekansı parametreleri; TR: 570 msn, TE: 20 msn, kesit kalınlığı: 2 mm, FOV: 230 mm, Flip Angle: 18°, Matriks: 256x256, number of acquisitions (NEX): 1, Bandwidth: 100 Px/Hz.

T1 sekansı parametreleri; TR: 620 msn, TE: 20 msn, kesit kalınlığı: 6-2 mm, FOV: 230 mm Flip Angle: 70°, Matriks: 256x256 number of acquisitions (NEX): 1, Bandwidth: 70 Px/Hz.

T2 sekansı parametreleri; TR: 3960 msn, TE: 110 msn, kesit kalınlığı: 6-2 mm, FOV: 230 mm, Flip Angle: 90° Matriks: 256x256 number of acquisitions (NEX): 3, Bandwidth: 240 Px/Hz.

FLAIR sekansı parametreleri; TR: 8000 msn, TE: 120 msn, TI: 2400 msn kesit kalınlığı: 6-2 mm, FOV: 230 mm, Matriks: 256x256 number of acquisitions (NEX): 1, Bandwidth: 240 Px/Hz olarak seçildi.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan sekans parametreleri

| Sekans | T1 | T2 | FLAIR | T2*GRE | SWI |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| TR (msn) | 620 | 3400 | 9000 | 700 | 49 |
| TE (msn) | 20 | 100 | 110 | 26 | 40 |
| TI (msn) | - | - | 2500 | - | - |
| Kesit Kalınlığı (mm) | 6-2 | 6-2 | 5 | 5 | 2 |
| FA | 70 | 90 | 90 | 15 | 15 |
| Matriks | 256x256 | 256x256 | 256x256 | 256x256 | 256x256 |
| NEX | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Bandwidth (Px/Hz) | 70 | 90 | 90 | 100 | 70 |

Olgular, öncelikle konvansiyonel metodlarda ve T2* sekansta lezyon görülebilirliği ve görünüm özelliği, lezyon özellikleri (iç yapıları, sayıları) olmak üzere değerlendirildi ve SWI sekanstan elde edilen bulgular ile karşılaştırıldı.

İstatistiksel analiz: Bulgular sayı, oran ve yüzdelerle ifade edilmiştir.

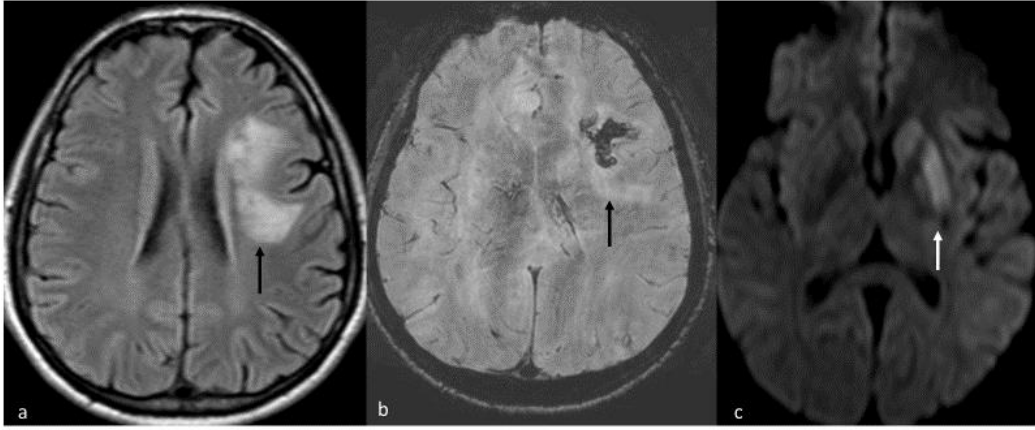
BULGULAR

Hastaların Genel Özellikleri: Çalışmamıza dahil edilen olgulardan, 18 hastada serebrovasküler hastalık (SVH), 21 hastada kitle, 10 hastada vasküler malformasyon, 7 hastada nontravmatik kanama, 7 hastada travmatik kanama, 7 hastada nörodejeneratif hastalığa bağlı serebral mineral birikimi ve multiple skleroz mevcuttu (Tablo 2).

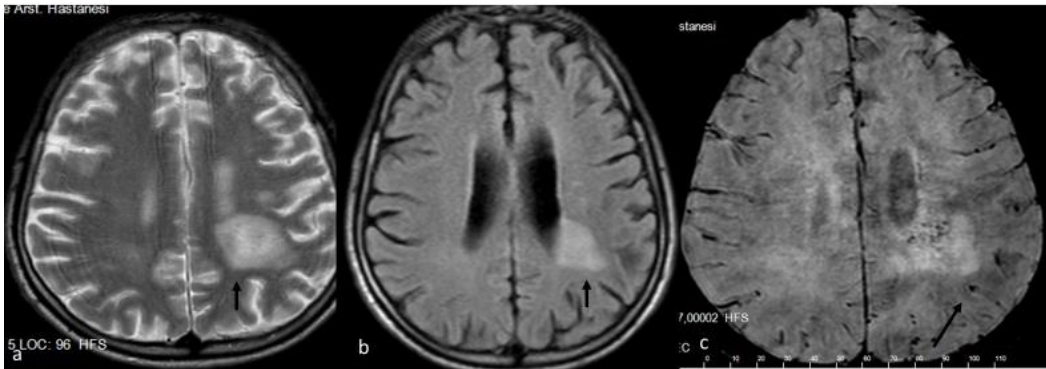
Tablo 2: Olguların klinik endikasyonlarına göre dağılımı:

| KLİNİK TANI | n | % |
|--|-----------|------------|
| SVH | 18 | 25.8 |
| a) Non-hemorajik enfarkt (n:4) | | |
| b) Hemorajik enfarkt (n:9) | | |
| c) Laküner enfarkt (n:3) | | |
| d) Venöz enfarkt (n:2) | | |
| Kanama | 14 | 20 |
| a) Travmatik kanama (n:7) | | |
| b) Non-travmatik kanama (n:7) | | |
| Vasküler Lezyonlar | 10 | 14.2 |
| a) Kavernöz anjiom (n:6) | | |
| b) Venöz anjiom (n:3) | | |
| c) Venöz kortikal malformasyon (n:1) | | |
| Kraniyal Kitle | 21 | 30 |
| a) Glial tümör (n:8) | | |
| b) Nonglial extra-aksiyal tümörler (n:9) | | |
| c) Metastaz (n:4) | | |
| Nöro-dejeneratif Hastalıklar | 7 | 10 |
| a) Parkinson (n:3) | | |
| b) MS (n:4) | | |
| TOPLAM | 70 | 100 |

SVH: 18 SVH olgulardan 4 hemorajik karakterde olmayan enfarkt, 9 hemorajik enfarkt, 3 laküner enfarkt ve 2 venöz enfarkt saptandı. SWI ile 12 hastada, T2*GRE ile 9 hastada konvansiyonel sekanslarda sadece 7 tanesinde eşlik eden hemoraji tesbit edildi. SWI sekansı hemorajiyi T2*GRE sekansa ve konvansiyonel sekanslara daha iyi saptadı. Ayrıca SWI sekansı hemoraji boyutlarını ve ek odağı saptamada daha etkili oldu (Resim 1). Bunun yanında 6 hastada SWI ile diğer sekanslarda izlenmeyen ve hipo-perfüze alanı temsil eden, hemoraji gelişimi açısından da risk artışı ifade eden venöz vasküler yapılarda belirginleşme saptandı (Resim 2).

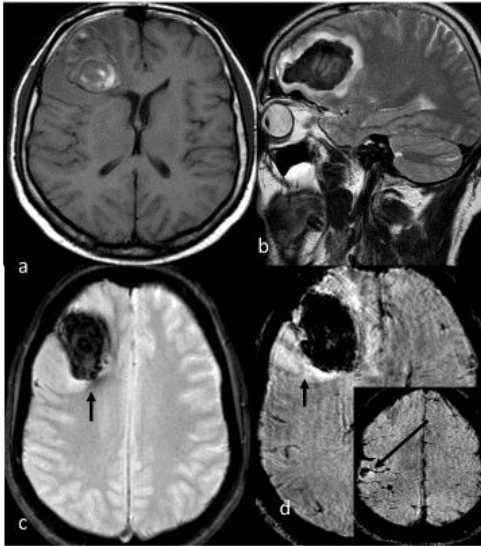


Resim 1. 52 Y Erkek a) solda MCA enfarktı b) SWI da net olarak ortaya konan geniş enfarkt ve hemorajik komponenti c) DAG .



Resim 2. 39 Y Erkek hasta a-b) sol periventriküler enfarkt. c) sol periventriküler alanda iskemik alanı temsile den bölgede SWI imajlarda venöz yapılarda belirginleşme izleniyor.

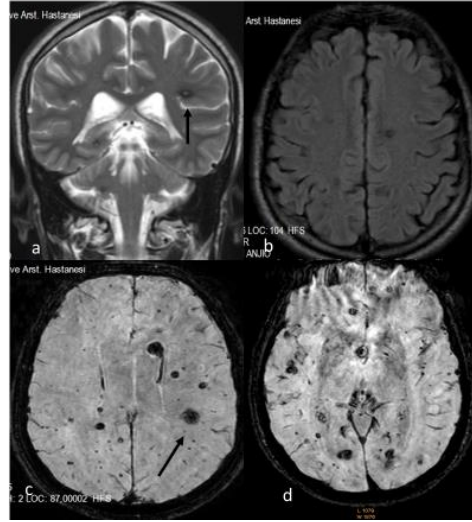
Kanama: Çalışmamızda 7 hastada non-travmatik ve 7 hastada da travmatik kanama saptandı. Non-travmatik kanamaların hepsinde tüm sekanslarda hematom alanları izlenmekle birlikte SWI hematom sınırlarını ve içeriğini daha net olarak ortaya koymuştur. Yine 2 hastada hematoma eşlik eden subaraknoid hemorajiler ve intraparaknimal mikrokanama odakları da SWI ile T2*GRE ve konvansiyonel sekanslara oranla daha net ortaya konmuştur. Travmatik kanama tespit edilen 7 hastanın 2'sinde SWI'da BT ve konvansiyonel sekanslarda saptanmayan mikrokanama odakları izlenirken diğer 5 hastada geçirilmiş travmaya bağlı eski subaraknoid kanama odakları ve parankimal hemorajiler SWI sekansı ile daha net ortaya konmuştur (Resim 3).



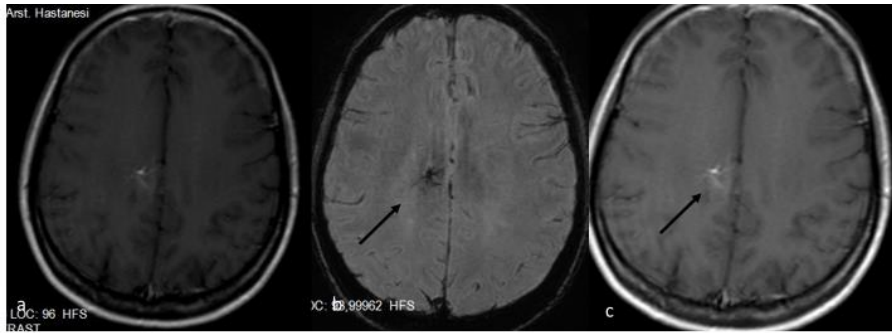
Resim 3. 46y Erkek hasta, non-travmatik kanama a) axial T1A, b) T2A, c) T2*GRE ve d) SWI sekansları hipertansif atak sonrası bilinç kaybı olan hastada yapılan MR incelemesinde frontal bölgedeki hematom ile birlikte gradient ve SWI imajlarda daha net izlenen paryetaldeki ilave subaraknoid hemorajiler izlenmektedir.

Vasküler Malformasyonlar: 10 hastada 6 kavernöz anjiom 3 venöz anjiom ve 1 venöz kortikal malformasyon izlendi. Kavernöz anjiomlu hastalardan 5'inde saptanan tek lezyonun yapısı ve sınırları SWI ile daha net ortaya konurken, familial kavernomatozisli 1 hastada konvansiyonel ve gradient sekanslarda birkaç adet odak saptanmış olmasına

rağmen SWI ile onlarca odak tespit edildi (Resim 4). Kontrast gerektirmeden lezyonlar rahatlıkla görülebildi (Resim 5).

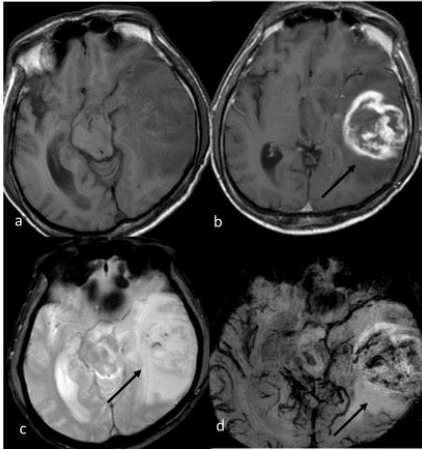


Resim 4. 47y Erkek hastanın a) T2A, b) FLAIR c) T2* ve d) SWI imajları. Familial kavernomatozisli olguda konvansiyonel sekanslarda birkaç odakta izlenen kavernomların yapılan SWI inceleme ile onlarca olduğu saptandı.



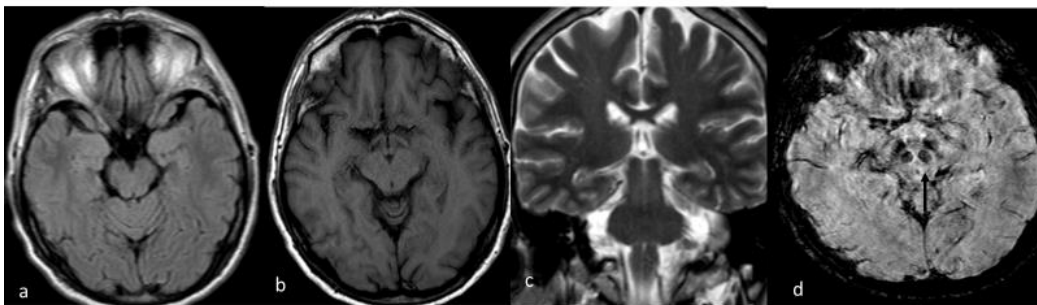
Resim 5. 33y bayan hasta, venöz anjiom a) Axial T1A, b) SWI, c) kontrastlı T1A. Hastada sağ parafalsin alanda korpus kallozuma da uzanan venöz anjiomla uyumlu lezyonun iç yapısı ve sınırları konvansiyonel sekanslarda en iyi kontrastlı incelemelerde izlenirken SWI ile kontrastsız olarak ortaya konmaktadır.

Beyin Kitleleri: Beyin kitleleri tesbit edilen 21 olgunun 9'u menenjiom gibi nonglial ekstraaksiyal kitleler, 8 glial kitle, 4 metastatik kitlelerdi. SWI sekansı kitlelerin kalsifiye veya hemorajik komponentini saptamada konvansiyonel sekanslara oranla daha başarılı olmakla birlikte özellikle kemik komşuluğundaki küçük lezyonların değerlendirilmesinde ve post-operatif hastalarda artefaktlar nedeniyle SWI ile değerlendirme yetersiz olduğu tespit edildi (Resim 6).



Resim 6. 54y Erkek hasta, Glioblastoma Multiforme a) axial T1A, b) kontrastlı T1A, c) T2A*GRE ve d) SWI. Lezyonun iç yapısı ve vaskülarizasyonu daha ayrıntılı görülmektedir.

Nörodejeneratif Hastalıklar: Parkinsonu olan 3 hastada konvansiyonel sekanslarda izlenmeyen substansiya nigrada demir birikimine ait hipointens sinyaller SWI'de izlendi (Resim 7). Çalışmamızda 4 hastada MS saptanmış olup SWI sekansı ile de demir birikimi lehine patolojik sinyal izlenmemiştir.



Resim7. Parkinsonlu hasta, a-b-c) Rutin sekanlar normal d) SWI ile ortaya konan substansiya nigradaki demir birikimi.

TARTIŞMA

Akut inme olgularında Bilgisayarlı tomografinin (BT), akut kanamaların saptanmasındaki duyarlılığı altın standard olarak kabul edilsede, kronik kanamalarda ve iskeminin erken döneminde bilgi sağlamaması en büyük dezavantajını oluşturmaktadır. MRG sekanslarının artması ve kullanım alanlarının genişlemesi ile kullanımı giderek yaygınlaşan, gradient recolled-echo (GRE) veya SWI sekansları inme vakalarında kullanılmaya başlanmıştır (7). GRE veya SWI sekanslarından birinin rutin incelemelere dahil edilmesi ile MRG'nin kanamalar konusundaki eksikliğinin giderebileceği gösterilmiştir (8). SWI erken dönemde hemorajilerin tanınmasında BT ile aynı doğrulukta ve eski ve subakut hemorajilerin gösterilmesinde ise BT'den üstün olduğu gösterilmiştir (9). Kanamanın erken döneminde damar dışına çıkan hemoglobin paramanyetik deoksihemoğlobine dönüşerek manyetik alan inhomojenitesine neden olur. SWI bu manyetik alan inhomojenitesine oldukça hassastır. Bu nedenle kanamanın erken döneminde ve hemorajik transformasyon döneminde oldukça değerli bilgiler verir (9). Bu da bize tromboliz öncesi kanamayı ekarte etmek için BT kullanılmasından SWI sekansı ile daha fazla bilgi alabileceğimizi göstermektedir. Aynı zamanda sessiz mikrokamaların görüntülenebilmesinde büyük bir avantaj sağlar (9). Çok sayıda mikrokamamanın varlığı artmış mikrovasküler hasarın bir işareti olabileceğinden buna bağlı olarak da trombolize sekonder kanama riskinin de artacağı düşünülerek tromboliz tedavi planını değiştirir (10-12). Schellinger ve ark. (13) akut iskemik veya hemorajik serebrovasküler hastalık tanısı için ilk tercih olabilecek multimodal (T2, FLAIR, GRE T2*, DWI, PWI ve MRA) inme protokolü hazırladılar. Wycliffe ND ve ark. (14) göre ise GRE T2* sekansının yerine SWI sekansının kullanılması akut iskemideki hemorajiyi ortaya koymada daha başarılı olduğu vurgulanmıştır (68). Ayrıca iskemik bölgelerde hemorajik transformasyon riski taşıyan venöz yapılarıdaki belirginleşmeyi de ortaya koyarak bize tedavi planlanmasında da yol göstermektedir (14). Bu bilgiler ışığında bizde kliniğimizde elektif 18 SVH olgusunda SWI sekansı kullandık ve konvansiyonel sekanslarda izlenmeyen kanama odakları tespit edildi. Ayrıca kanama boyutunun daha doğru ölçülmesinde SWI sekansının daha duyarlı olduğu görüldü.

Tong ve ark. (15) yaptıkları çalışmalarda diffüz aksonal injürde, küçük traksiyon hemorajilerinde, hemorajik lezyonların boyut, sayı, volüm ve yayılımını gösterme konusunda SWI'nin konvansiyonel ve T2* GRE sekanslara göre 3-6 kat daha duyarlı olduğunu

bildirmiştir (16, 17). Ayrıca beyin sapındaki travmatik yaralanmaları da ortaya koymada konvansiyonel sekanslara göre belirgin üstünlüğü vardır. Beyin sapı tutulumu hastanın prognozunu etkileyen uzun vadede önemli belirteçdir (18, 19). Çalışmamızda travma vakalarında mikrokanamaları daha iyi göstermemize rağmen vakalarımızın yetersiz olması, SWI sekansın çekim süresinin uzun olmasındandır ve MR uyumlu ekipman gerektirmesidir (MR uyumlu solunum cihazı gibi). Bu nedenle travma vakalarında hastanın durumu stabil olduğunda kullanıldı.

Serebral kavernom çevresinde hemosiderin halkasının olması SWI'nin susceptibilite farklılığına duyarlılığını artırıp sinyal değişikliklerini kolayca olarak gösterir (20, 21). Ayrıca SWI bu lezyonları kontrast enjeksiyonuna gerek kalmadan gösterir. İntravasküler deoksihemoglobini intrinsek kontrast ajan gibi kullanarak staz akım içerisindeki deoksihemoglobin belirgin sinyal kaybı oluşturur (22). Benzer şekilde kapiller telenjiektazide, SWI susceptibilite değişikliklerine T2*GRE sekanslardan daha hassas olduğu için telenjiektaziler daha belirgin hipointens görülür. Özellikle beyin parankiminde kontrast tutan lezyonların telenjiektazi ile ayrımında kritik öneme sahip olan metastazlı hastalarda T2* GRE'de belirgin sinyal kaybı oluşturmayan telenjiektazileri kesin olarak dışlamak için SWI kullanılabilir (19). Çalışmamızda vasküler malformasyonlu olgular kontrastsız inceleme ile tanı almış olup 1 familyal kavernomatozisli olguda konvansiyonel görüntülerden çok fazla sayıda ek lezyon SWI imajlarda tespit edildi. Buda göstermiştir ki, vasküler lezyonu olan olgulara SWI sekansı eklenmesi ilave bilgi vermektedir.

SWI'nin tümör görüntülemeye ise tamamlayıcı bir sekans olarak faydalı olduğu düşünülmektedir (23). Tümör içerisindeki venöz vaskülarizasyon ve hemorajik odakların ortaya konması yüksek grade tümörlerin evrelemesi için faydalıdır (24-26). Hemorajinin paramanyetik etkisinden dolayı neoplastik venöz vasküler yapılar ile karıştırılabilir. Bu durumda pre ve postkontrast SWI imajları alındığında venöz yapıların intensitesi değişirken hemorajinin intensitesi değişmez (27). Nüks tümörleri postoperatif değişikliklerden ayırt etmemizde bize yardımcı olur (23). SWI aynı zamanda FLAIR gibi BOS'u baskımlarken ödemi de parlak göstermektedir. T2* efekti ile ödemin tek bir imajdaki bu benzersiz kombinasyonu yer kaplayıcı lezyonların daha iyi tanınmasını sağlamaktadır.

Beyin tümörlerinde izlenen kalsifikasyon konvansiyonel T1 ve T2 ağırlıklı sekanslarda net tanımlanamaz (28, 29). Yine gradient sekanslarda da lokal manyetik alan inhomojenitesine

neden olarak hipointens görüldüğünden kanamalardan ayırt edilemez. Kalsifikasyonun diamanyetik, hemorajinin ise paramanyetik olması SWI faz imajlarda zıt karakterde sinyal özellikleri gösterirler. SWI imajlarda tümörün içindeki hiperintens alanlar diamanyetik (bunlar hemorajiden çok kalsifikasyonlardır) materyalleri temsil eder (30). Çalışmamızdaki kitlelerdeki kalsifikasyon rahatlıkla görülebilirken vaka sayımız karşılaştırma açısından yeterli değildi.

Parkinson hastalığı, Huntington hastalığı, Alzheimer hastalığı, MS, ALS, Hallerworden-spatz sendromu ve PKAN gibi nörodejeneratif hastalıklarda beyinde artmış demir birikimi görülmektedir. Kalsiyum (diamanyetik) ve demir (paramanyetik) gibi minerallerin farklı susseptibilite etkilerinden dolayı SWI'nın mineral birikimlerini saptamada daha duyarlı olduğu bir gerçektir. Bununla birlikte normal ya da patolojik mineralizasyonu ayırt etmek zor olacaktır. SWI'nın insan beynindeki normal ve anormal mineral birikimini ayırt edebilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır (31, 32). MS'i de içine alan neurodejeneratif hastalıklarda beyinde özellikle de venlerin damar duvarlarında izlenen demir birikimi histolojik olarak gösterilmiştir (33). SWI demirin in vivo dokulardaki 1µg/g'lık demir miktarını ölçebilmektedir. Çalışmamızda parkinsonlu hastalarda demir birikimini gösterirken MS hastalarında demir birikimini gösteremedik. Vaka azlığı ve MS olgularının aktif süreç çekimleri yapılamadığı için olabilir.

SWI, kantitatif duyarlılık haritalaması (QSM) için faz kullanımının kavramının öncüsüdür. Günümüzde, SWI, damarlardaki deoksihemoglobin, beyindeki demir birikimi, kanamalar, kalsifikasyonları görüntülemeye yaygın olarak kullanılan bir klinik araç haline gelmiştir. İlave olarak, inme, travmatik beyin hasarı, karotid damar duvarı, sirotik karaciğerde siderotik nodüller, prostat kanseri, prostat kalsifikasyonu, medulla spinalis yaralanması ve intervertebral disk dejenerasyonu için SWI'nin birkaç klinik uygulamasını mevcuttur. SWI'nin klinik uygulamaları hem beyin içinde hem de dışında genişlemeye devam ederken, SWS'nin QSM ile birlikte geliştirilmesi bu teknolojinin önemli bir geleceğidir (34).

SONUÇ

SWI birçok farklı patolojide bize yararlı bilgiler vermektedir. SVH'ta eşlik eden hemorajinin ortaya konmasında ve hemorajinin daha net tanımlanmasında, travma hastalarında (hastanın genel durumu elverişli olduğu takdirde) mikrove makrokanamaların, DAI gösterilmesinde, intrakranial kitlelerin hemorajik ve nekroz komponentinin ayırımında, nörodejeneratif

hastalıklarda mineral birikimini göstermede rutin inceleme protokolünde bulunması belirgin ilave bulgu sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Lauterbur PC. Image formation by induced local interactions: examples of employing nuclear magnetic resonance. *Nature* 1973; 242:190-1.
2. Hadley DM, Teasdale GM. Magnetic resonance imaging of the brain and spine. *J Neurol* 1988;235:193-206.
3. Haacke EM, Xu Y, Cheng YC, Reichenbach JR: Susceptibility weighted imaging (SWI). *Magn Reson Med* 2004; 52: 612-8.
4. Tong KA, Ashwal S, Obenaus A, Nickerson JP, Kido D, Haacke EM. Susceptibility-Weighted MR imaging: a review of clinical applications in children. *AJNR Am J Neuroradiol* 2008;29:9-17.
5. Haacke EM, Mittal S, Wu Z, Neelavalli J, Cheng YC. Susceptibility-weighted imaging: technical aspects and clinical applications, Part I. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30:19-30.
6. Teke M, Kına A, Sarıca Ö, Albayram S. Nöroradyolojide “Susceptibility Weighted Imaging sekansı” uygulamaları. *Dicle Tıp Dergisi* 2015; 42: 235-41.
- 7 Patel MR, Edelman RR, Warach S. Detection of hyperacute primary intraparenchymal hemorrhage by magnetic resonance imaging. *Stroke* 1996;27:2321-4.
- 8 Tong KA, Ashwal S, Holshouser BA, Shutter LA, Herigault G, Haacke EM, et al. Hemorrhagic shearing lesions in children and adolescents with posttraumatic diffuse axonal injury: improved detection and initial results. *Radiology* 2003;227:332-9.
9. Santhosh K, Kesavadas C, Thomas B, Gupta AK, Thamburaj K, Kapilamoorthy TR. Susceptibility weighted imaging: a new tool in magnetic resonance imaging of stroke. *Clinical Radiology* 2009; 64:74-83.

10. Nighoghossian N, Hermier M, Adeleine P, Blanc-Lasserre K, Derex L, Honnorat J, 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: 735-42.
11. Kidwell CS, Saver JL, Villablanca JP, Duckwiler G, Fredieu A, Gough K, et al. Magnetic resonance imaging detection of microbleeds before thrombolysis: an emerging application. *Stroke* 2002; 33: 95-8.
12. Derex L, Nighoghossian N, Hermier M, Adeleine P, Philippeau F, Honnorat J, et al. Thrombolysis for ischemic stroke in patients with old microbleeds on pretreatment MRI. *Cerebrovasc Dis* 2004; 17: 238-41.
13. Schellinger PD, Jansen O, Fiebach JB, Hacke W, Sartor K. A standardized MRI stroke protocol: comparison with CT in hyperacute intracerebral hemorrhage. *Stroke* 1999;30:765–8.
14. Wycliffe ND, Choe J, Holshouser B, Oyoyo UE, Haacke EM, Kido DK. 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: 372–7.
15. Tong KA, Ashwal S, Holshouser BA, Nickerson JP, Wall CJ, Shutter LA. Diffuse axonal injury in children: clinical correlation with hemorrhagic lesions. *Ann Neurol* 2004; 56: 36–50.
- 16 Tong KA, Ashwal S, Holshouser BA, Shutter LA, Herigault G, Haacke EM. Hemorrhagic shearing lesions in children and adolescents with posttraumatic diffuse axonal injury: improved detection and initial results. *Radiology* 2003; 227:332–39.
17. Babikian T, Freier MC, Tong KA, Nickerson JP, Wall CJ, Holshouser BA et al. Susceptibility weighted imaging: neuropsychologic outcome and pediatric head injury. *Pediatr Neurol* 2005; 33: 184–94.
18. Mannion RJ, Cross J, Bradley P, Coles JP, Chatfield D, Carpenter A, et al. Mechanism-based MRI classification of traumatic brainstem injury and its relationship to outcome. *J Neurotrauma* 2007; 24: 128–35.

19. Yoshida Y, Terae S, Kudo K, Tha KK, Imamura M, Miyasaka K. Capillary telangiectasia of the Brain Stem Diagnosed by Susceptibility-Weighted Imaging J.Comput Assist Tomogr 2006;30:980-2.
20. Battistini S, Rocchi R, Cerase A, Citterio A, Tassi L, Lando G, et al. Clinical, magnetic resonance imaging, and genetic study of 5 Italian families with cerebral cavernous malformation. Arch Neurol 2007; 64: 843–48.
21. Abla A, Wait SD, Uschold T, Lekovic GP, Spetzler RF. Developmental venous anomaly, cavernous malformation, and capillary telangiectasia: spectrum of a single disease. Acta Neurochir (Wien) 2008;150:487- 9.
- 22 Reichenbach JR, Venkatesan R, Schillinger DJ. Small vessels in the human brain: MR venography with deoxyhemoglobin as an intrinsic contrast agent. Radiology 1997;204:272–7.
23. Sehgal V, Delproposto Z, Haacke EM, Tong KA, Wycliffe N, Kido DK, et al. Clinical applications of neuroimaging with susceptibility-weighted imaging. J.Magn Reson I 2005;22:439-50.
24. Bagley LJ, Grossman RI, Judy KD, Curtis M, Loevner LA, Polansky M, et al. Gliomas: correlation of magnetic susceptibility artifact with histologic grade. Radiology 1997; 202:511–6.
25. Sehgal V, Delproposto Z, Haddar D, Haacke EM, Sloan AE, Zamorano LJ et al. Susceptibility-weighted imaging of brain masses. J Magn Reson Imaging 2006 ;24:41-51.
26. Cha S, Knopp EA, Johnson G, Wetzel SG, Litt AW, Zagzag D. Intracranial mass lesions: dynamic contrast-enhanced susceptibility-weighted echo-planar perfusion MR imaging. Radiology 2002; 223: 11–29.
27. Lin W, Mukherjee P, An H, Yu Y, Wang Y, Vo K, et al. Improving high resolution MR bold venographic imaging using a T1 reducing contrast agent. J Magn Reson Imaging 1999;10:118-23.
28. Oot RF, New PF, Pile-Spellman J, Rosen BR, Shoukimas GM, Davis KR. The detection of intracranial calcifications by MR. AJNR Am J Neuroradiol 1986; 7: 801–9.

29. Tsuchiya K, Makita K, Furui S, Nitta K. MRI appearances of calcified regions within intracranial tumors. *Neuroradiology* 1993; 35: 341–4.
30. Mueller J, Stojkovic M, Kauczor HU, Junghanss T, Weber TF. Performance of Magnetic Resonance Susceptibility-Weighted Imaging for Detection of Calcifications in Patients With Hepatic Echinococcosis. *J Comput Assist Tomogr* 2018;4:211-5.
31. Bartzokis G, Cummings JL, Markham CH, Marmarelis PZ, Treciokas LJ, Tishler TA, et al. MRI evaluation of brain iron in earlier- and later-onset Parkinson’s disease and normal subjects. *Magn Reson Imag* 1999; 17: 213–22.
32. Haacke EM, Makki M. Characterizing Iron Deposition in Multiple Sclerosis Lesions Using Susceptibility Weighted Imaging *J Magn Reson Imaging* 2009; 29:537-44.
33. Levine SM, Chakrabarty A. The role of iron in the pathogenesis of experimental allergic encephalomyelitis and multiple sclerosis. *Ann N Y Acad* 2004; 1012:252–66.
34. Liu S, Buch S, Chen Y, Choi HS, Dai Y, Habib C, et al. Susceptibility-weighted imaging: current status and future directions. *NMR Biomed* 2017;30: doi: 10.1002/nbm.3552.