

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
RADYOLOJİ ANABİLİM DALI

**SUSEPTİBİLİTE AĞIRLIKLİ GÖRÜNTÜLEMENİN, ÇOCUK
BEYİN MR İNCELEMELERİNDE, KONVANSİYONEL
SEKANSLARA EKLENMESİNİN HEMORAJİ,
KALSİFİKASYON VE VASKÜLER ANOMALİLERİ
TANIMLAMADA ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

DR. KEMAL ÇAĞLAR TUNA

UZMANLIK TEZİ

İZMİR-2018

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
RADYOLOJİ ANABİLİM DALI

**SUSEPTİBİLİTE AĞIRLIKLİ GÖRÜNTÜLEMENİN, ÇOCUK
BEYİN MR İNCELEMELERİNDE, KONVANSİYONEL
SEKANSLARA EKLENMESİNİN HEMORAJİ,
KALSİFİKASYON VE VASKÜLER ANOMALİLERİ
TANIMLAMADA ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

DR. KEMAL ÇAĞLAR TUNA

UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. HANDAN GÜLERYÜZ

TEŞEKKÜR

Tıpta uzmanlık eğitimim boyunca birikimlerinden faydalandığım ve eğitimimde emeği geçen Anabilim Dalımızın tüm öğretim üyelerine teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince tecrübelerinden faydalandığım, bilimsel her konuda desteğini esirgemeyen saygıdeğer tez hocam Prof. Dr. Handan GÜLERYÜZ' e ayrıca teşekkür ederim.

Bulguların düzenlenmesi ve istatistiksel analiz konusunda bilgilerine başvurduğum Prof. Dr. Ali BALCI' ya teşekkür ederim.

Uzmanlık eğitimim boyunca iyi veya kötü günlerimi paylaştığım tüm asistan arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde yanımda olan, her zaman desteklerini hissettiğim aileme teşekkür ederim.

DR. KEMAL ÇAĞLAR TUNA

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL DİZİNİ.....	
TABLO DİZİNİ.....	
RESİM DİZİNİ.....	
KISALTMALAR.....	
ÖZET.....	
ABSTACT	
1. GİRİŞ VE AMAÇ	
2. GENEL BİLGİLER	
2.1. Suseptibilite Ağırlıklı Görüntüleme(SAG).....	
2.1.1. Tanım ve Tarihçe.....	
2.1.2. Temel Fizik Prensipler	
2.1.2.1. Manyetik Duyarlılık (suseptibilite).....	
2.1.2.2. Duyarlılık ve Permeabilite ilişkisi	
2.1.2.3. Faz Kavramı	
2.1.2.4. Manyetik Duyarlılık Faz ilişkisi	
2.1.2.5. Faz Filtreleme	
2.1.2.6. Faz Maskesi	
2.1.2.7. Minimum Intensity Projection (MinIP) Tekniği	
2.1.2.8. Kontrastlı İnceleme	
2.1.3. SAG' nin Pediatrik Hastalarda Klinik Kullanımı	
2.1.3.1. İntrakraniyal Hemoraji.....	
2.1.3.2.Travmatik Beyin Hasarı.....	
2.1.3.3. Serebral Vasküler Malformasyonlar	
2.1.3.4. İnme	
2.1.3.5. Sinüs Ven Trombozu	
2.1.3.6. Hipoksik İskemik Hasar.....	

2.1.3.7. Enfeksiyonlar	
2.1.3.8. Tümörler	
2.1.3.9. Nörodejeneratif Bozukluklar ve Metabolik Hastalık	
2.1.3.10. Multipl Skleroz	
2.1.4. Pediatrik Beyin SAG' de Yanılgılar	
2.1.4.1. Kan Oksijenizasyon Seviyesine Bağlı Potansiyel Tuzaklar	
2.1.4.2. Akıma bağlı potansiyel tuzaklar	
2.1.4.3. Manyetik Alan Şiddetine Bağlı Potansiyel Tuzaklar.....	
2.1.4.4. MinIP Görüntüleri Üzerinde Lokalizasyonu Yanlış Yorumlamaya Bağlı Potansiyel Tuzaklar	
2.1.4.5. Taklitçiler	
3. GEREÇ-YÖNTEM	
3.1. Hasta Seçimi	
3.1.1. Çalışmaya Dahil Olma Kriterleri.....	
3.1.2. Çalışma Dışı Tutulma Kriterleri.....	
3.2. Görüntüleme Protokolü	
3.2.1. MR İncelemesinde Kullanılan Sekanslar	
3.3. Ölçümler	
3.4. Değerlendirme	
3.5. İstatistiksel Analiz.....	
4. BULGULAR	
5. OLGU ÖRNEKLERİ	
6. TARTIŞMA	
7. SONUÇ	
8. KAYNAKLAR	

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1: Maddelerin manyetik alanı etkileme biçimleri

Şekil 2: Değişen manyetik alan gücü ve intensitesi altında maddelerin cevabı

Şekil 3: Radyofrekans(RF) dalgasının özellikleri

Şekil 4: Faz farkının algılanması

Şekil 5: MR sinyalinin kompleks düzlemde gösterilmesi

Şekil 6: Diyamanyetik ya da paramanyetik maddelerin faz şifti örnekleri

Şekil 7: Negatif ve pozitif faz maskesinin uygulanması

Şekil 8: Faz maskelemenin örneklenmesi

Şekil 9: Dipol manyetik alan örneği

Şekil 10: Kalfifikasyon ve hemorajinin manyetik dipol davranışı

TABLO DİZİNİ

Tablo 1: Sağ ve sol el sistemlerinde faz imajlardaki sinyal özellikleri

Tablo 2: Değişik Tesla değerlerinde MR parametreleri

Tablo 3: Hastaların klinik öntanıları ve hasta sayıları

Tablo 4: Kalsifik odakların etyolojiye yönelik sınıflandırılması

Tablo 5: Paramanyetik odakların değişen çapa göre sinyal özelliklerinin sınıflandırılması

Tablo 6: Konvansiyonel sekanslarda ayırt edilen odakların sınıflandırılması ve sayıları

Tablo 7: SAG sekansını tanı koymada katkısı

Tablo 8: SAG sekansını tanıyı deteklediği hasta grupları

RESİM DİZİNİ

Resim 1: MR sinyalinin komponentleri

Resim 2: Faz filtresinin uygulanması

Resim 3: SAG oluşum algortiması

Resim 4: MinIP tekniği

Resim 5: Olgu 1

Resim 6: Olgu 2

Resim 7: Olgu 3

Resim 8: Olgu 4

Resim 9: Olgu 5

Resim 10: Bir olgu üzerinde dipol etkisi

KISALTMALAR

MR: Manyetik Rezonans

MRV: Manyetik Reazonans Venografi

TE: Time Of Echo

TR: Time Of Repetation

BT: Bilgisayarlı Tomografi

GRE: Gradient Eko Sekansı

SAG: Suseptibilite Ağırlıklı Görüntüleme

BOLD: Blood Oxygen Level Dependent

RF: Radyofrekans

MIP: Maximum Intensity Projection

MInIP: Minimum Intensity Projection

KBB: Kan Beyin Bariyeri

FOV: Field Of View

TBH: Travmatik Beyin Hasarı

DAY: Diffüz Aksonal Yaralanma

AVM: Arteriyovenöz Malformasyon

GVA: Gelişimsel Venöz Anomali

SWS: Sturge-Weber Sendromu

DAG: Diffüzyon Ağırlıklı Görüntüleme

MS: Multipl Skleroz

SKA: Serebral Kan Akımı

KSH: Kantitatif Suseptibilite Haritalama

HİH: Hipoksik İskemik Hasar

PAİİ: Pediatrik Arteriyel İskemik İnme

OEF: Oksijen Ekstraksiyon Fraksiyonu

KA: Kavernöz Anjiom

KT: Kapiller Telenjektazi

DSC: Dijital Suseptibilite Kontrast

DSA: Dijital Subtraksiyon Anjiografi

HOD: Hipertrofik Olivar Dejenerasyon



ÖZET

SUSEPTİBİLİTE AĞIRLIKLİ GÖRÜNTÜLEMENİN, ÇOCUK BEYİN MR İNCELEMELERİNDE, KONVANSİYONEL SEKANSLARA EKLENMESİNİN HEMORAJİ, KALSİFİKASYON VE VASKÜLER ANOMALİLERİ TANIMLAMADA ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Amaç: Çalışmamızda pediatrik beyin görüntülemelerde SAG sekansının konvansiyonel sekanslara eklenmesinin kalsifikasyon, kanama ürünleri içeren odak ve anormal venöz yapıların gösterilmesindeki etkinliğini, SAG' ın çocuk hastalarda kullanım alanlarını, SAG' deki sinyallerin özelliklerini, sekansa özgü artefaktları ve yanılgıları araştırmayı amaçladık.

Gereç ve Yöntem: Çalışmada 31.07.2017 ve 22.01.2018 tarihleri arasında farklı ön tanımlarla MR incelemeleri olan ve SAG sekansında patolojik sinyal odakları saptanan, çocuk hastaların görüntüleri retrospektif olarak incelenmiştir. Odaklar homojen paramanyetik, primer paramanyetik, homojen diyamanyetik ve primer diyamanyetik olarak sınıflandırılmıştır. Lezyonların kalsifikasyon veya kanama olarak sınıflandırılması ise BT ve konvansiyonel MR görüntüleri, tıbbi geçmişi ve laboratuvar, patoloji sonuçlarını içeren klinik bilgiler dâhilinde yapılmıştır. Bu odakların konvansiyonel sekanslarda karşılıkları araştırılmıştır. Kalsifik odakların gold standardı olarak BT' de 100 HU' dan yüksek dansite ölçütü olarak kabul edilmiştir. Verilerin sınıflandırılmasında deskriptif istatistiksel yöntemleri kullanılmıştır. Konvansiyonel sekans ve SAG' nin uyumu yönünden ki-kare ve BT' de izlenen kalsifik odakların konvansiyonel sekanslar ve SAG ile karşılaştırılması için ki-kare testi kullanılmıştır. Ki- kare testinde ise $P < 0,05$ altındaki değerler istatistiksel olarak anlamlı olarak kabul edilmiştir.

Bulgular: SAG imajlarda 287 hipointens odak saptanmıştır. Bu odakların 135'i diyamanyetik yani kalsifikasyon, 149' u paramanyetik yani hemorajik odak, 13'ü ise vasküler anomali olarak sınıflandırılmıştır. Konvansiyonel sekanslarda kalsifik odakların karşılığında T1 AG' de 6, T2' de AG' de 11 ve FLAIR' de sekansında ise 7 kalsifikasyonu destekler sinyal değişiklikleri vardır. Toplamda 135 diyamanyetik odaktan 13 tanesi (yaklaşık % 9,6) konvansiyonel sekanslarda seçilebilmiştir. Hemorajik odakların karşılığında T1 AG' de 19, T2 AG' de 20 ve FLAIR' de

sekansında ise 15 kanama ürünlerinin varlığını destekler bulgu vardır. Toplamda 149 odaktan 25 tanesi (yaklaşık %16,7) konvansiyonel sekanslarda seçilebilmiştir. On üç hastada izlenen vasküler anomalilerden sadece bir tanesi konvansiyonel sekanslarda seçilebilmektedir. BT görüntülerinde 143 kalsifikasyon odağı mevcuttur. SAG' de bu sayı 135' tir. Sekiz kalsifik odak SAG' de ayırt edilememiştir. SAG eklenmiş konvansiyonel sekansların kalsifikasyon saptamadaki etkinliği ile sadece konvansiyonel sekansların kalsifikasyon saptamadaki etkinliğinin karşılaştırılması için Ki-kare testi kullanılmış ve p değeri 0,001 olarak bulunmuştur.

Sonuç: SAG sekansı ile kalsifik ve kanama ürünleri içeren odakların odakların anlamlı oranda saptanılabilirliği, kanama odaklarının doğası gereği heterojen olabileceği ve bazı artektlar içerebileceği saptanmış bunların odak boyutu ile ilişkisi gösterilmiş ve aynı zamanda venöz anomalilerin teşhisinde sekansın önemli bir tanı aracı olabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Suseptibilite ağırlıklı görüntüleme, pediatrik nörogörüntüleme, paramanyetizme, diyamanyetizma

ABSTACT

INVESTIGATION OF EFFECTIVENESS IN DETERMINING HEMORRHAGE, CALCIFICATION AND VASCULAR ANOMALIES IN MRI OF CHILD BRAIN WITH ADDING SUSCEPTIBILITY WEIGHTED IMAGING TO CONVENTIONAL SEQUENCES

Objective: To investigate the efficacy of adding SWI sequence to conventional sequences in pediatric brain imaging to demonstrate calcific or hemorrhagic focus and abnormal venous structures, the usage areas of SWI in pediatric patients, the characteristics of SWI signals, sequence-specific artifacts and pitfalls.

Materials and Methods: We retrospectively examine the images of pediatric patients who had pathologic signal foci on SWI sequence, with different pre-diagnosis MRI between 31.07.2017 and 22.01.2018. The foci are classified as homogeneous paramagnetic, primer paramagnetic, homogeneous diamagnetic and primer diamagnetic. Classification of lesions as calcification or hemorrhage was made in the context of CT and conventional MR images, medical history and clinical information including laboratory, pathology results. These foci have been investigated in conventional sequences. The focus higher than 100 HU on CT were accepted as gold standard for calcification. Descriptive statistical methods were used to classify the data. Chi-square test was used for agreement of conventional sequences and SWI. Chi-square test was used to compare the calcific foci observed on CT with conventional sequences and SWI. In the chi-square test, values below $P < 0.05$ were considered to be statistically significant.

Results: On SWI images 287 hypointense focuses were found. 135 of these foci were classified as diamagnetic or calcification, 149 as paramagnetic or hemorrhagic focus, and 13 as vascular anomaly. There are 6 signal changes on T1 WI, 11 signal on T2 WI and 7 signal on FLAIR the presence of foci that support calcification. Totally 13 (approx. 9.6%) of the 135 diamagnetic focus were appeared in conventional sequences. There are 19 signal changes on T1 WI, 20 signal on T2 WI and 15 signal on FLAIR the presence of foci that support hemorrhagi. Twenty-five (approx. 16.7%) were selected on conventional sequences from a total of 149 signal changes. Only one of the vascular anomalies observed in thirteen patients on the conventional sequences was showed. There are 143 calcification focus on CT

images. On SWI this was 135. Eight calcified foci could not be distinguished on SWI. A Chi-square test was used to compare the efficacy of SAG-added conventional sequences in detecting calcification with the efficacy of conventional sequences only in detecting calcification, and the p value was found to be 0,001.

Conclusion: We observed that on SWI calcification or bleeding products have significant determined, because of the nature of hemorrhagi focus may be heterogeneous, involve some artifacts and have been shown heterogeneity is associated with the focal dimension of the foci and at the same time the sequence may be an important diagnostic tool in the diagnosis of venous anomalies.

Keywords: Susceptibility weighted imaging, pediatric neuroimaging, paramagnetism, diamagnetism

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Klinik uygulamalarda, en sık kullanılan manyetik rezonans görüntüleme modalitesi ağırlıklı olarak dokuların relaksasyon zamanları üzerine temellendirilmiştir. Bu görüntülerde kontrast, çalışılan bölgedeki transvers relaksasyon (T2) ve / veya longitudinal (T1) arasındaki önemli farklılıklara dayanmaktadır. Bununla birlikte, relaksasyon ağırlıklı görüntülerde hemosiderin ile kalsifikasyon birbirinden ayırt edilemez. Çünkü hem paramanyetik hem de diyamanyetik atomların neden olduğu manyetik alan inhomojeniteleri relaksasyon sürelerini kısaltır.

Günümüzde manyetik rezonans (MR) görüntüleme ve bilgisayarlı tomografi (BT) kanamalar ve kalsifikasyonların belirlenmesinde birbirlerinin tamamlayıcısı olarak kabul edilmektedir. Özellikle Gradient eko (GRE) MR görüntüleme akut kanamaların saptanmasında BT kadar, kronik kanamaların saptanmasında ise BT'den daha yüksek doğruluk oranına sahiptir (1). Bununla birlikte GRE görüntüler üzerinde kalsifikasyonlar kronik kanama odaklarıyla karıştırılabilir. Çünkü her ikisi de relaksasyon sürelerini kısalttığı için hipointens görünümündedir. Ayrıca kalsifikasyonlar konvansiyonel T1 ve T2 ağırlıklı spin eko görüntülerde de spesifik olmayan sinyaller üretmektedir (2). Bu nedenlerden dolayı kalsifikasyonların saptanmasında ilk tercih BT olmakta ve iyonize radyasyona rağmen klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Suseptibilite ağırlıklı görüntüleme (SAG), kan ürünlerinin paramanyetik özelliklerini vurgulayan ve intravasküler deoksijenize kanın, ekstrasvasküler kan ürünlerinin saptanmasında çok hassas olan, yüksek uzaysal çözünürlüklü 3D GRE MR görüntüleme tekniğidir. Aslen başlangıçta yüksek rezolüsyonlu kan oksijen seviyesine bağımlı venografi (BOLD venografi) olarak adlandırılmıştır. Ancak SAG kalsifikasyonların ve hemosiderin depozitleri arasında kontrast oluşturur (3,4). Bundan dolayı da venöz yapıların değerlendirilmesinden daha geniş bir uygulama alanı olarak şimdi SAG olarak anılmaktadır. Son on yılda SAG' nin klinik değeri nörolojik bozuklukları olan çocuk hastalarda daha fazla bildirilmiştir. SAG arteryel venöz malformasyonlar, gizli venöz anomaliler, multipl skleroz, travma, tümör ve fonksiyonel beyin görüntüleme çalışmalarında kullanılmaktadır.

Biz alışmamızda pediatrik beyin görüntülemeye SAG sekansının konvansiyonel sekanslara eklenemesinin kalsifikasyon, kanama ürünleri içeren odak ve anormal venöz yapıların gösterilmesindeki etkinliğini, SAG’ de sinyallerin özelliklerini, sekansa özgü artefaktları ve SAG’ nin çocuk hastalarda yararlı olabileceğı kullanım alanlarını araştırmayı amaçladık.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. SUSEPTİBİLİTE AĞIRLIKLİ GÖRÜNTÜLEME (SAG)

2.1.1. Tanım ve Tarihçe

Suseptibilite ağırlıklı görüntüleme Haacke ve arkadaşları tarafından geliştirilen hem faz imajları hem de magnitüd imajları kullanan 3D yüksek çözünürlüklü bir gradient eko sekansıdır (5).

İlk olarak 1997 yılında deoksihemoglobine duyarlılığı nedeniyle “BOLD venografi blood oxygen level dependent venography” ve arkasından “AVID BOLD (applications of venous imaging in detecting disease)” olarak isimlendirilmiştir. Daha sonraları venöz yapıların değerlendirilmesi dışında da geniş klinik kullanımı olabileceği için basit ve genel bir isim olan SAG olarak adlandırılmıştır (6-8).

Suseptibilite ağırlıklı görüntülemenin adı üretici firmaya göre farklılık göstermekte olup General Electrics’ te SWAN (Susceptibility Weighted ANgiography), Siemens’ te SWI (Susceptibility Weihtted Imaging), Philips’ te SWIp (SWI-phase, eskiden VenoBOLD), Hitachi’ de BSI (Blood Sensitive Imaging) ve Cannon’ da FSBB (Flow Sensitive Black Blood) olarak isimlendirilmektedir.

2.1.2. Temel Fizik Prensipler

2.1.2.1. Manyetik Duyarlılık (suseptibilite)

Manyetik duyarlılık, bir maddenin harici manyetik alana yerleştirildiği zaman gösterdiği manyetik tepki olarak tanımlanan birimsiz oran sabitidir. Bir başka ifadeyle magnetize olabilme derecesinin ölçüsü yani magnetizabilitedir. Birçok özellikli dokunun arka planına veya çevresindeki dokulara göre önemli manyetik duyarlılık farkları vardır.

Manyetik duyarlılık manyetik alan içerisindeki maddenin ana manyetik alana cevabı olup, $M=\chi.H$ şeklinde formülize edilir.

(**M** indüklenen manyetizasyon, **H** manyetik alan intensitesi ya da şiddeti, **χ** manyetik duyarlılığı)

Manyetik alan intensitesi (**H**) ile manyetik akım dansitesi (**B0**) uzay boşluğu ya da vakum içerisinde eşittir. Yani manyetik alanı oluşturan MR

sisteminin gücü aslında **H** ile gösterilir, MR sisteminin çalıştığı ortam ve dokuya göre **B** değeri değişir. **B₀**'ın birimi tesla iken **M** ve **H**'nin birimi amper\metre'dir. İkisi arasındaki ilişki **B = $\mu_0 \cdot H$** şeklindedir (9), μ_0 permeabiliteyi göstermektedir (Şekil-2).

2.1.2.2. Duyarlılık ve Permeabilite ilişkisi

Permeabilite **$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$** olarak formülize edilebilir.

μ_0 vakum içerisindeki permeabiliteyi, μ_r ise rölatif permeabiliteyi göstermektedir.

$\mu_r = 1 + \chi$ formülünden **$M = \chi \cdot B / \mu_0 / (1 + \chi)$** olarak bulunur.

Doğrusal materyaller için **$\chi \ll 1$ olup, $M = \chi \cdot B / \mu_0$** olarak bulunur. Bu formülden de anlaşıldığı üzere indüklenmiş manyetizasyon, manyetik alan gücü ve manyetik duyarlılık ile direkt ilişkilidir. Her doku magnetik alanda farklı davranır (10).

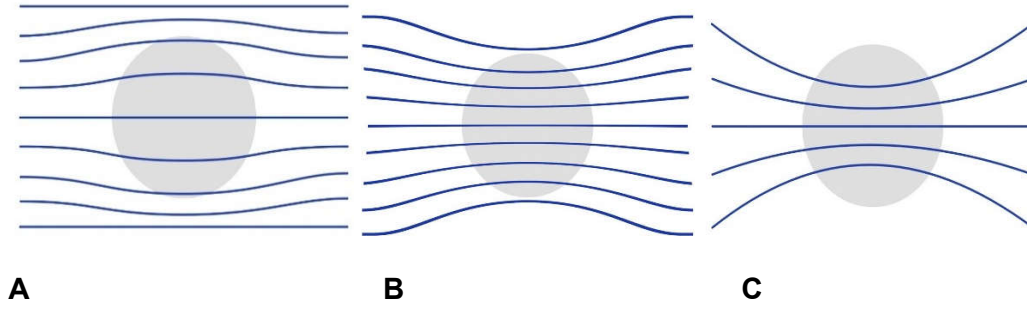
Manyetik alan içerisindeki her madde manyetik alanda distorsiyon ya da inhomojenite yapar. Manyetik alan akımını daha iyi ileten ve hatta arttıran permeabilitesi yüksek doku ya da maddeler paramanyetik ve ferromanyetik olarak; manyetik alan akımını daha az iletenler diyamanyetik maddeler olarak adlandırılırlar.(Şekil-1)

Diyamanyetik maddeler için **$\chi < 0$ ' dır**. Örneğin, vücutta kalsiyum, $Ca_3(PO)_4$ gibi kalsiyum fosfat formunda olma eğiliminde olup diyamanyetiktir.

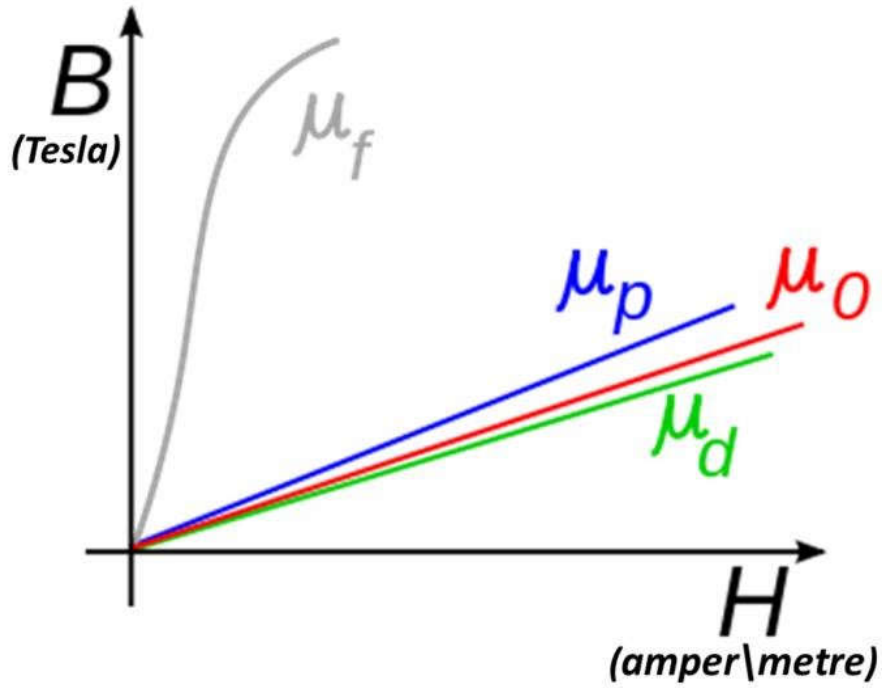
Diğer taraftan paramanyetik maddelerin **$\chi > 0$ ' dır**. Örneğin deoksijenize kan ile çevreleyen doku arasında $\Delta\chi \approx 0.45$ ppm/SIU' dur. Ferritin ve hemosiderin gibi demir içeren proteinler içindeki sekestre demirinin miktarına bağlı olarak değişen manyetik duyarlılık gösterir (10).

Dokuların çoğu diyamanyetik olup χ değeri yaklaşık -11 ve -7 ppm arasındadır. Örneğin suyun χ değeri -9.05 ppm' dir. Yumuşak dokuların suseptibilitesi birbirine çok yakın olduğu için yumuşak dokular arasındaki gradient alana bağlı duyarlılık etkisi çok azdır. Kan (-7,9 ppm) ve havanın (0.36 ppm) χ değerleri ise yumuşak dokulardan farklıdır dolayısı ile iki yüz arasında geniş

suseptibilite etkisine sebep olurlar. En geniş suseptibilite farklılığı doku-hava arasında bulunmaktadır (11).



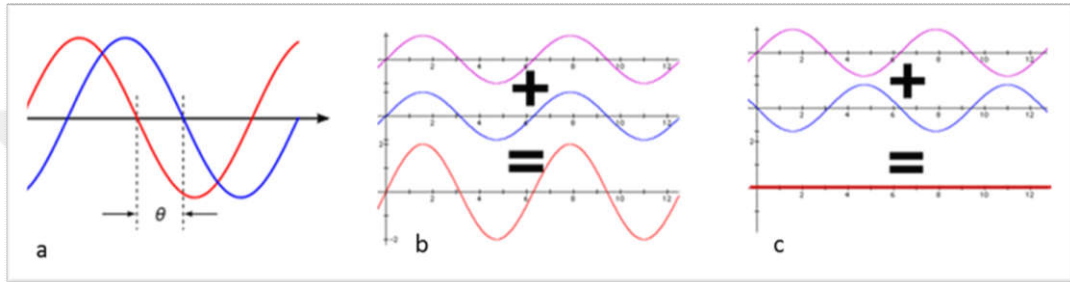
Şekil-1: Maddelerin manyetik alanı etkileme biçimleri. Paramanyetik(B) ve ferromanyetik(C) maddeler etkileme güçleri farklı olsa da aynı yönde distorsiyon yaparlar, diyamanyetik maddeler(A) ise ters yönde etki ederler.



Şekil-2: Manyetik alan gücü ve manyetik alan intensitesi arasında ferromanyetik, paramanyetik, diyamanyetik maddeler ve vakum içerisindeki ilişki. μ_0 : Vakum μ_f : Ferromanyetik madde μ_p : Paramanyetik madde μ_d : Diyamanyetik madde **B**: Manyetik alan gücü **H**: Manyetik alan intensitesi

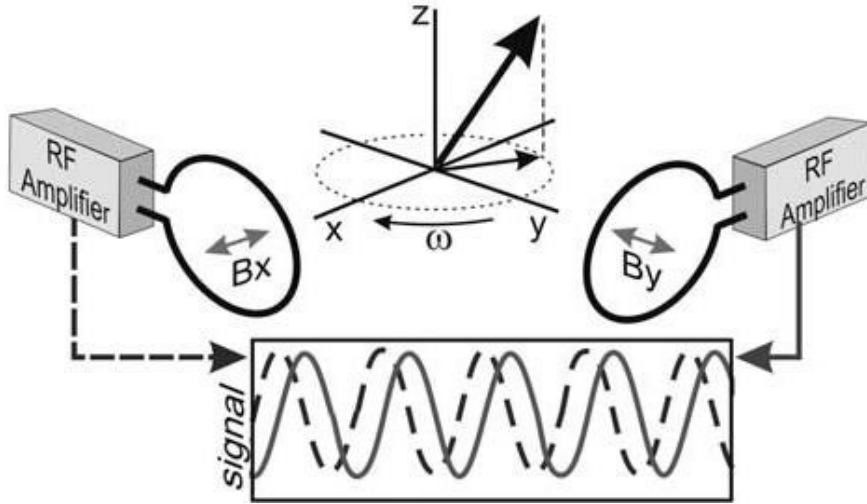
2.1.2.3. Faz Kavramı

Aynı frekanstaki sinüzoidal dalgalar arasındaki açı farkına faz denir. Dikey manyetizasyon RF pulsu ile yatırılır. Bu anda frekansları aynı olan protonlar aynı fazda presesyon yaparlar, zamanla protonlar birbirleriyle ve çevre ile etkileşerek defaze olurlar. İncelenen dokudaki protonlar aynı fazda iken sinyalin amplitüdü maksimum olur, protonlar defaze oldukça aralarındaki faz açısı artar ve sinyal amplitüdü düşer (Şekil-3).



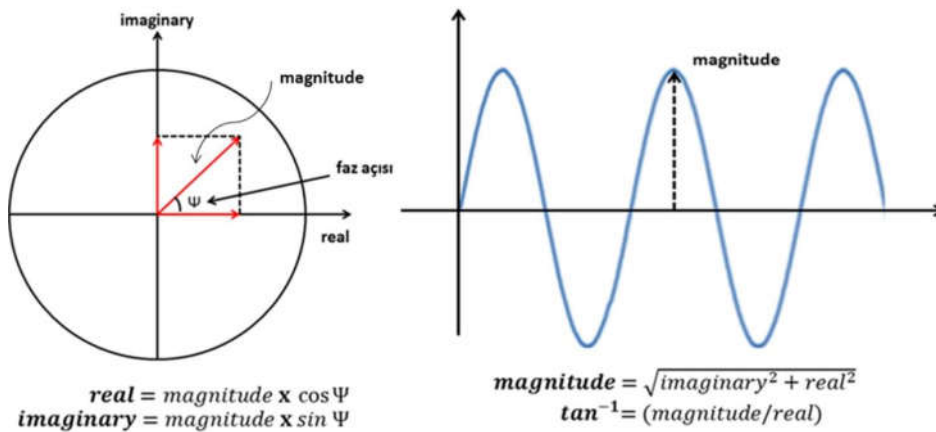
Şekil-3: a) MR sinyali sinüzoidal dalgalarından oluşur. İki sinüzoidal dalga arasındaki açı (θ) farkına faz denir. b) Dalgalar arasında açı yoksa dalgaların amplitüdleri toplam sinyali oluşturur (infaz). c) Dalgalar arasındaki açı farkı 180° ise dalgalar birbirinden çıkarılır (outfaz). Toplam sinyal azalır ya da kaybolur.

MR sinyali; protonlar defaze olup yeniden dikey manyetizasyonun oluşumuna kadar elde edilir. Protonlar defaze olurlarken aralarında faz farkı oluşur (Şekil-4). Konvansiyonel MR sekanslarında faz bilgisi ihmal edilirken SAG sekansında faz bilgisi magnitüd bilgisine eklenir. Paramanyetik ve ferromanyetik maddeler için $\mu > 0$ olup pozitif χ ve pozitif faz shifti oluştururlar. Diyamanyetik maddeler için $\mu < 0$ olup, negatif faz shifti oluştururlar (sol el kuralına göre çalışan sistemlerde).

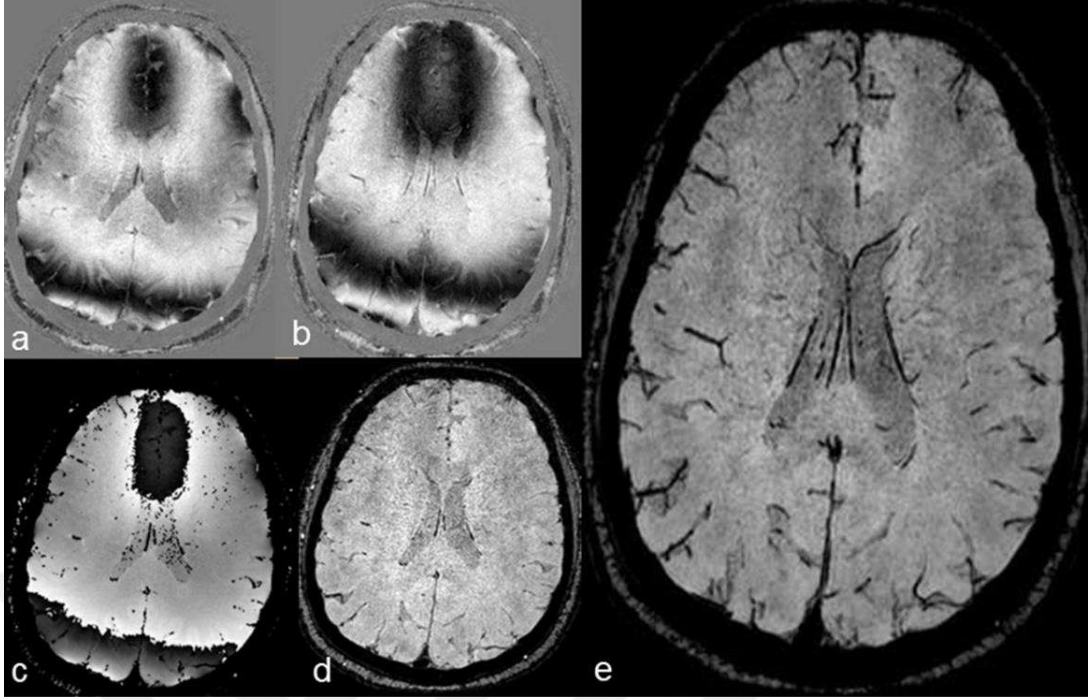


Şekil- 4 : Rf pulsu ile yatırılan dikey manyetizasyondan transvers manyetizasyon oluşur, transvers manyetizasyonu oluşturan protonların fazları iki farklı RF alıcısı tarafından kaydedilir ve faz farkı ortaya çıkarılır. **RF amplifier:** RF alıcısı, ω : Açısal frekans (12).

MR sinyali belli bir frekansı olan sinüzoidal dalgadır. Ayrıca MR sinyali reel ve imaginary komponenti olan, belirli bir büyüklüğü (magnitüd) ve fazı olan kompleks bir sinyaldir (Şekil-5).



Şekil- 5: MR sinyalinin kompleks düzlemde gösterilişi. Magnitude, real, imaginary ve faz arasındaki ilişki. Ψ : Faz açısı



Resim-1 : Venöz BOLD sekansı, MR sinyalinin komponentlerine göre imajlar elde edilmiş **a)** Imaginary **b)** Real **c)** Faz **d)** Magnitüd **e)** MinIP tekniği ile oluşturulmuş reformat görüntü

SAG konvansiyonel MR sekanslarından elde edilen T1, T2 ve Proton dansitesinden (Pd) farklı olarak dokular arasındaki manyetik duyarlılık farklılığını kullanır. Konvansiyonel MR görüntülemelerde genelde magnitüd imajlar kullanılırken, faz bilgisi ihmal edilir. SAG sekansında faz ile magnitüd görüntüler ayrı olarak işlenir ve minimum intensity projection (MinIP) reformat görüntüler elde edilerek değerlendirme yapılır (Resim-1).

Faz bilgisi IR sekanslarda, fonksiyonel MR uygulamalarında, dinamik suseptibilite kontrast (DSC) perfüzyon MR, SAG, faz kontrast MR anjiyo, spektroskopi, kimyasal shift MR tekniklerinde kullanılır.

SAG sekansı kalsifikasyonu ve kanı ayırt edemez her ikisini de düşük sinyalli olarak gösterir bu ayrımı yapabilmek için faz imajlar kullanılır (14). Faz imajlar kanın paramanyetik etkisi ile kalsiyumun diyamanyetik etkisini ayırabilir.

Faz görüntülemeye sağ el ve sol el sistemi olmak üzere iki teknik tanımlanmıştır (10). Sol el sistemlerde faz görüntüsündeki 0 yoğunluğunu π , ve 4095 yoğunluğunu $-\pi$ olarak tanımlanırken öte yandan, "sağ" sistem böyle bir aralığı aksine $-\pi$ ile π tanımlar. Her üretici bir referans sistemi benimser (15).

Sağ el sisteminde kan deoksihemoglobinin paramanyetik etkisine bağlı negatif faz

şıftına sebep olduğu için siyah, kalsiyum diyamanyetik etkiye bağlı pozitif faz şıftına

neden olduğu için beyaz görülür (14,16). Siemens'in Avonto sistemi gibi sol el

sistemlerinde ise paramanyetik etki pozitif faz şıftına sebep olduğu için kan beyaz,

kalsifikasyon siyah görülür (17) (Tablo-1).

SAG sekansı kullanıcıları MR sistemlerinin hangi kurala göre çalıştığını bilmelidirler. Referans sistemini bulmak için, sadece paramanyetik olan kan damarlarının ve bazal ganglionların faz değerlerini gözlemlemeliyiz.

Tablo-1: Sağ ve sol el sistemlerinde faz imajlardaki sinyal özellikleri

	Sağ el sistemi (örn; GE, Philips)	Sol el sistemi (örn, Siemens)
Faz imajlarda paramanyetik madde sinyali (örn, hemosiderin)	Siyah	Beyaz
Faz imajlarda diyamanyetik madde sinyali (örn, kalsiyum)	Beyaz	Siyah

2.1.2.4. Manyetik Duyarlılık Faz İlişkisi

Manyetik duyarlılık bir maddenin manyetik alana verdiği cevaptır.

$$1) M = \chi \cdot H$$

M: net manyetizasyon, χ : manyetik duyarlılık, H: manyetik alan intensitesi

Eğer bir madenin ya da dokunun manyetik duyarlılığı sıfırdan büyükse ($\chi > 0$) madde paramanyetiktir (deoksihemoglobin, hemosiderin, transferrin, ferritin gibi). Paramanyetik etki sıcaklığa bağlıdır, düşük sıcaklıklarda bu etki artar. Manyetik duyarlılık (χ) < 0 ise diyamanyetiktir (oksihemoglobin, kalsifikasyon, insan vücudunu oluşturan hücresel dokuların büyük kısmı). Ferromanyetik materyaller (vücuda dışarıdan yerleştirilen metalik implantlar) için $\chi > 0$ 'dır.

Manyetik duyarlılık ile manyetik permeabilite arasındaki ilişkiyi daha önce vurgulamıştık.

$$2) \chi = \frac{\mu}{\mu_0} - 1$$

Manyetik alan şiddeti (H) ile manyetik alan dansitesi arasındaki ilişki

$$3) B = \mu_0 \cdot H$$

Açısal frekans ya da salınım (ω) frekansı ile faz (ψ) arasındaki ilişki

$$4) \psi = \omega \cdot t$$

İki doku arasında oluşan faz farkını ($\Delta\psi$) bulmak için t yerine TE yazarsak

$$5) \Delta\psi = \Delta\omega \cdot TE$$

$$6) \omega = \gamma \cdot B \text{ ve } \Delta\omega = \gamma \cdot \Delta B \text{ olur. } \Delta B = B - B_0 \text{ 'dır.}$$

B doku içerisindeki manyetik alan, B_0 eksternal manyetik alanı temsil etmektedir.

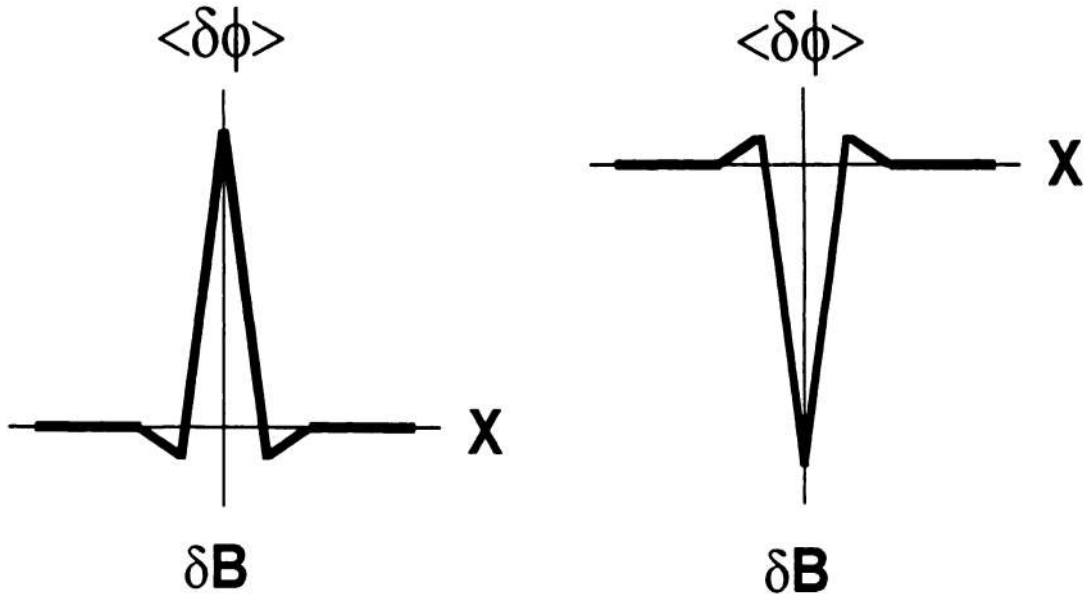
$$7) \Delta B = g \cdot \Delta \chi \cdot B_0 \quad \mathbf{g: \text{geometrik faktör}}$$

$$8) \Delta\psi = -\gamma \cdot \Delta B \cdot TE \text{ ya da } \Delta\psi = -\gamma \cdot g \cdot \Delta \chi \cdot B_0 \cdot TE \text{ eşitliğini elde ederiz (2).}$$

Görüldüğü gibi faz farkı ($\Delta\psi$) dokular arası manyetik duyarlılık farkına ($\Delta\chi$) bağlı oluşmaktadır. Diyamanyetik maddeler için ΔB ve $\Delta\chi$ değerleri negatif,

paramanyetik ve ferromanyetik maddeler için pozitiftir. Bunun sonucu olarak şekil 6' de görüldüğü gibi diyamanyetik maddeler pozitif faz şiftine neden olurken paramanyetik maddeler negatif faz şifti oluştururlar (sağ el sistemlerinde) (18).

TE ile $\Delta\Psi$ doğru orantılıdır, faz farkını artırmak için TE'yi mümkün olduğunca artırabiliriz. TE süresinin artması protonların defaze olmasını artırır ve T2* ağırlığının artmasını sağlar (19). Aşağıda farklı MR sistemlerine göre değişen SAG parametreleri verilmiştir.



Şekil-6: İlk çizim diyamanyetik bir maddenin pozitif faz şiftine, ikini çizim ise paramanyetik bir maddenin negatif faz şiftine neden olduğunu göstermektedir (18).

Tablo-2: Değişik tesla değerlerinde MR parametreleri. Manyetik alan gücü arttıkça optimal TE değeri düşüyor (10).

Mantetik alan gücü	FA (flip açısı)	TR(ms)	TE(ms)	BW/pixel (Hz/pixel)
1,5T	18-25	50-60	40	70-100
3T	12-17	25-35	20	80-100
4T	8-15	25-35	15	80-120
7T	11-17	25-35	10-16	100-150

2.1.2.5. Faz Filtreleme

Bir MR imajında piksellerin faz değeri belirli bir interval arasında değişir $(-\pi, \pi)$. Ancak gerçek faz değeri bu intervalin çok üzerinde olabilmekte ve bu durumda imajda alising oluşabilmektedir (20). Bu tıpkı incelenecek vücut alanından daha düşük FOV alanı seçildiğinde alising artefaktı oluşması gibidir. İncelenecek bölgedeki faz farklılığı $-180^0, +180^0$ aralığında değildir bu nedenle alising oluşur.

Makroskopik faz fluktuasyonları (kemik-parankim arayüzü, parankim hava arayüzü gibi) yararlı faz bilgisi içermez ve yararlı faz bilgisini maskeler.

Diğer artefakt sebebi ise beyinde dokusundan kaynaklanan dipol etkileridir.

İlgi alanının dışındaki kaynakların sebep olduğu bu faza genelde "arka plan fazı" adı verilir. Büyük arka plan fazı sadece lokal doku kontrastını gizlemekle kalmaz, aynı zamanda aliasingi de artırır (21).

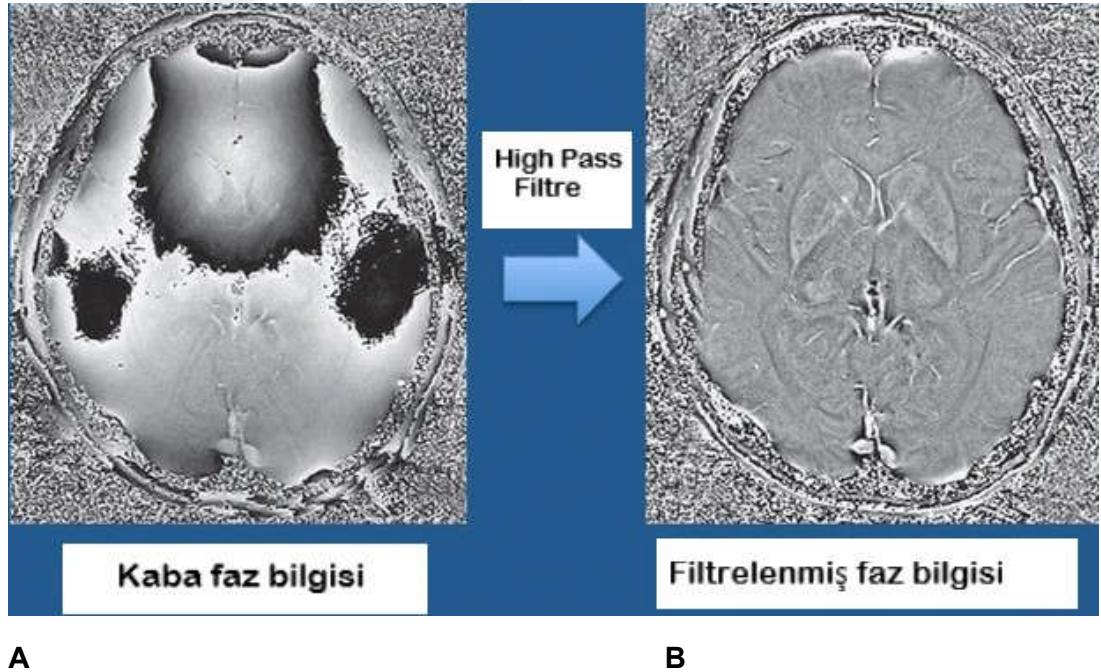
Faz kullanımında ortak yaklaşım, arka plan fazını sadece düşük frekansları içeren düz olduğu varsayımıyla High-Pass filtreleme işleminin ardından bir faz açma prosedürünü uygulamaktır (21) (Resim-2).

Çeşitli faz açma ve arka plan fazı kaldırma yaklaşımları önerilmiştir. Örneğin, fazın açılması, uzaysal konum üzerinde geleneksel yol tabanlı metodlar ve zamansal konum üzerinde ise lineer fitting metodu ile başarılabılır (22, 23).

Faz açmanın zorluğu düşük sinyal-gürültü oranının (SNR) azalmasında neden olabileceğindendir (23). Arka plan fazının kaldırılmasının amacı, beyin dokusunun kendisinin katkıda bulunduğu fazdan arka plan fazını ayırmaktır.

SAG' de başarılı bir şekilde kullanılan geleneksel High-pass filtreleme, arka plan fazı ile birlikte doku fazının düşük frekanslı bileşenlerinin önemli bir bölümünü kaldırabilir. Bu, kaçınılmaz olarak yanlış duyarlılık miktarının belirlenmesine yol açacaktır.

Son zamanlarda, arka plan fazının doku fazından daha doğru ayrılabilirdiği, uygulanabilir bir dizi çözüm geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında faz verileri (SHARP) yöntemi ve onun varyantları için sofistike harmonik artifakt azaltımı, dipol alanlarına projeksiyon (PDF) yöntemi ve harmonik faz kaldırma Laplace operatörü (HARPERELLA) sayılabilir. Özellikle HARPERELLA aynı anda faz açma ve arka plan kaldırma işlemlerine erişir (21).

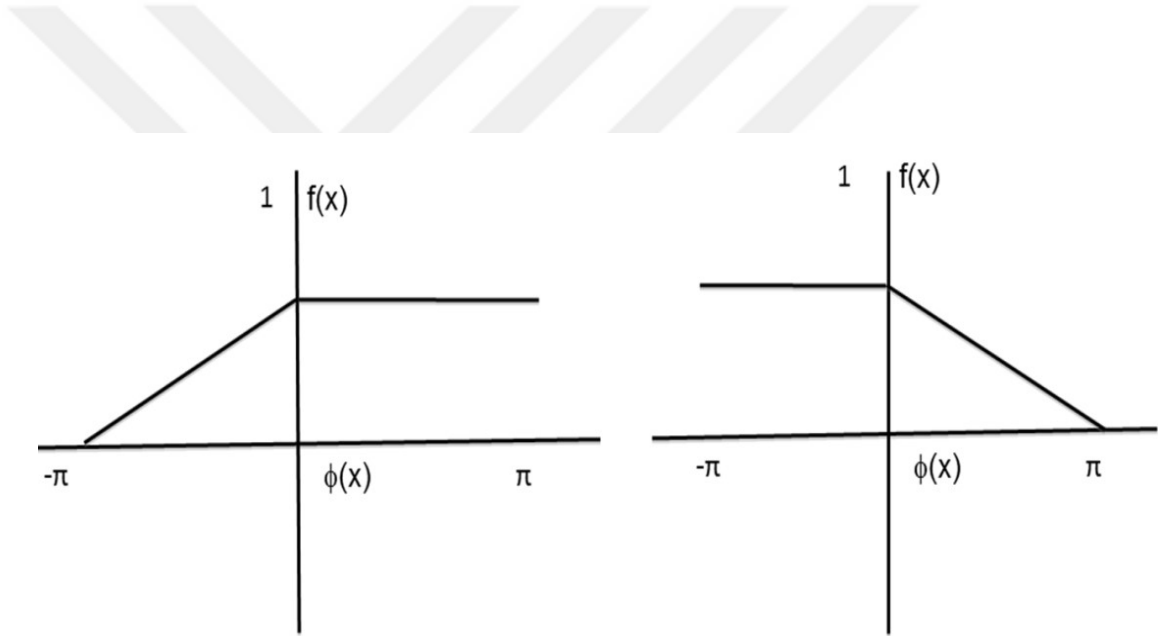


Resim-2: Filtrelenmemiş faz imaj(A) makroskopik düzeydeki faz değişiklikleri lokal manyetik duyarlılığa bağlı faz bilgisini maskeleymektedir. High-Pass filtre sonrası filtrelenmiş faz imaj(B).

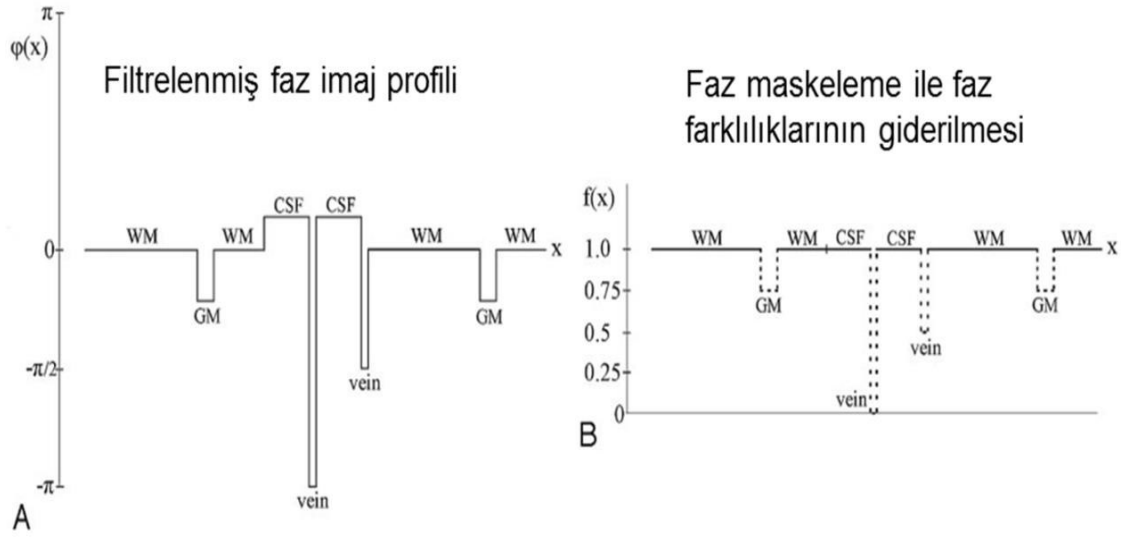
2.1.2.6. Faz Maskesi

Faz maskesi orijinal magnitüd imajdaki kontrastı artırmak için, filtrelenmiş faz imajlara uygulanır. Pikselleri içerisindeki faz bilgisi baskılanarak oluşturulur. Faz maskeleye sayısı uygun kontrast-gürültü oranı değeri elde edilene kadar tekrarlanır (10,24). Negatif ve pozitif yönde faz maskesi uygulanabilir (Şekil-7).

SAG imajlarda venöz yapıların daha iyi görülmesinden dolayı negatif faz maskesinin kullanılması daha uygundur (25). Maskeleye ile incelenen dokudaki piksellerdeki faz bilgisi elimine edilir ve magnitüd imajın CNR'si artırılır (Şekil-8).

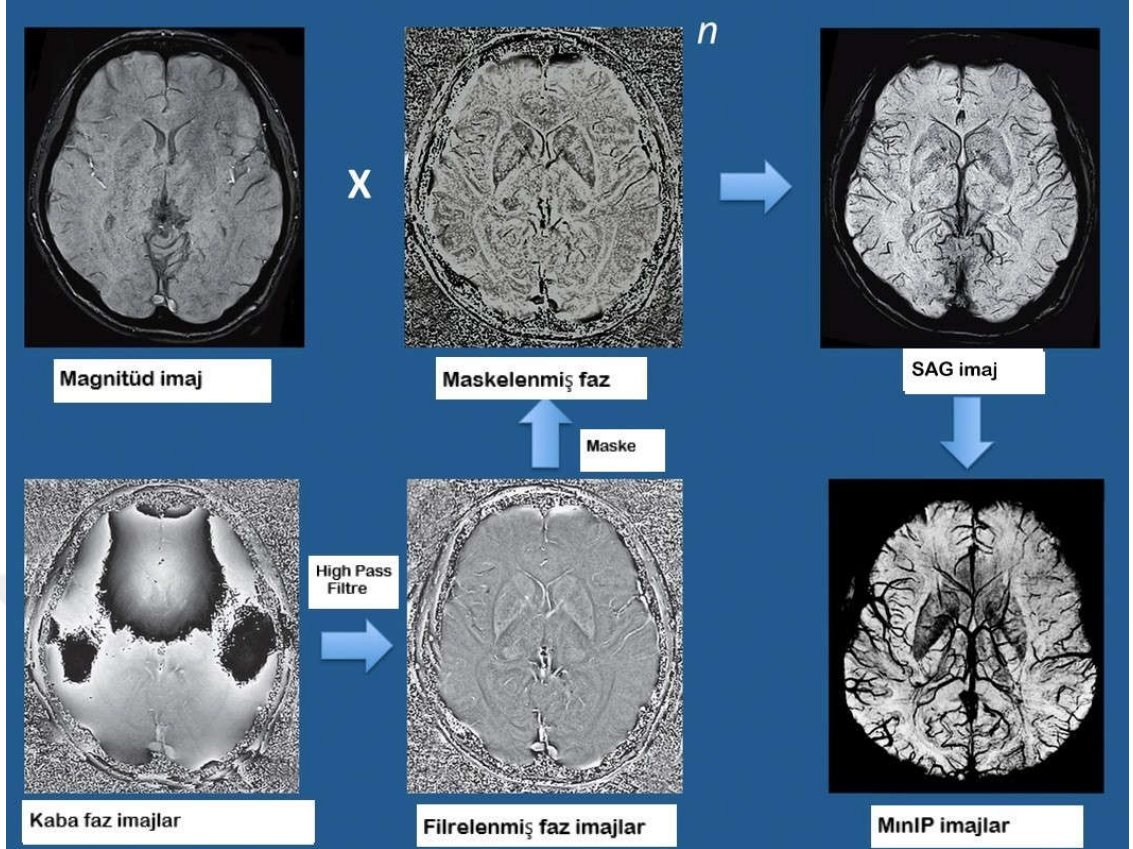


Şekil-7: Negatif faz maskesi uygulanırken $-\pi$ ile 0 arasındaki faz değerleri kademeli olarak maskelenir. Pozitif faz maskesi uygulanırken π ile 0 arasındaki faz değerleri kademeli olarak maskelenir. Φ : faz açısı.



Şekil-8: a) Filtrenmiş faz imajlarda değişik dokuların oluşturduğu faz farklılıkları **b)** Filtrenmiş faz imajlardaki faz farklılıklarının ortadan kaldırılması için uygulanan faz maskeleye işlemi. **WM:** Beyaz cevher, **GM:** Gri cevher, **CFS:** Beyin omirilik sıvısı.

Magnitüd imajlar ile maskelenmiş faz imajlar birleştirilir ve SAG imajları elde edilir. SAG imajlar üzerinden MinIP imajlar elde olunur (Resim-3). MinIP tekniğinde kesit kalınlığı artırılarak venöz yapılar bütün traseleri boyunca görüntülenebilir ve vasküler patolojiler daha iyi değerlendirilebilir (26).

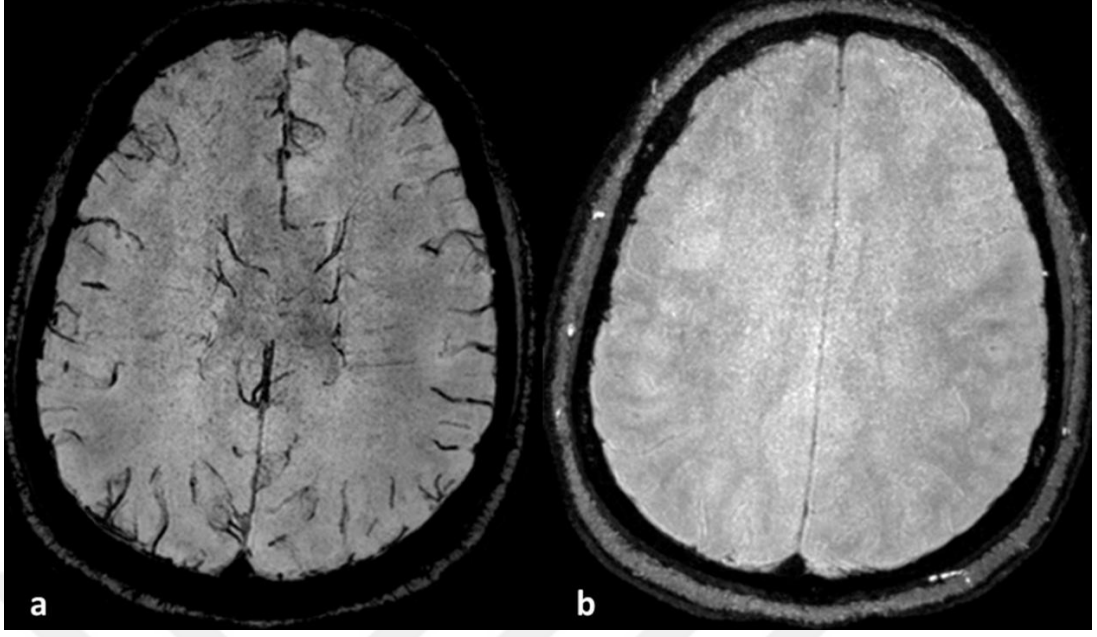


Resim-3: SAG imaj oluşum algoritması; Filtrelenmiş faz imajlar uygun kontrast-gürültü oranı değerine ulaşılana kadar maskeleme tekrarlanır, magnitüd imajlarla birleştirilir ve SAG imajlar oluşturulur. Kullanıcı konsolunda MinIP imajlar elde edilir.

2.1.2.7. Minimum Intensity Projection (MinIP) Tekniği

MinIP, MIP tekniğine benzer bir algoritma ile çalışır. Farklı olarak bir voksel içerisinde X-Y düzleminde, Z aksı boyunca en küçük intensite değerine sahip dokular görünür hale getirilir. SAG T2* ağırlıklı bir sekans olduğundan T2* kısalması ve buna bağlı sinyal azalması oluşturan dokular

MinIP tekniği ile daha görünür hale getirilir (Resim-4).



Resim-4: MinIP tekniği ile hipointens sinyaller daha iyi gösteriliyor **a)** MinIP tekniği kullanılarak 4mm kesit kalınlığı ile oluşturulan SAG görüntüsü, manyetik duyarlılığa bağlı T2* kısalması ve buna bağlı olarak kontrast belirgin şekilde artmakta ve venöz yapılar belirgin hale gelmekte. **b)** Aynı kaynak imajlardan MIP tekniği kullanılarak oluşturulan imajda manyetik duyarlılığa bağlı kontrast farklılıkları görülüyor.

2.1.2.8. Kontrastlı İnceleme

Kontrast madde kullanılarak yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Kontrastlı SAG incelemenin konvansiyonel sekanslara katkısı ve kontrastsız SAG incelemeye anlamlı bir üstünlüğü olmadığını belirten sınırlı sayıda çalışma vardır (27). Bu görüşün aksine kontrastlı SAG incelemede T1 süresinin kısalacağını ve ekstra faz şifti nedeni ile sekans süresinin kısalabileceğini, lezyonların çevresindeki kontrast tutulumlarının kan beyin bariyeri (KBB) yıkımına spesifik olduğunu belirten çalışmalar da vardır (28, 29). Kontrastlanma intravasküler ve intersitisyel olmak üzere ikiye ayrılabilir (30). Normalde beyin parankiminde KBB nedeni ile intersitisyel kontrast tutulumu olmaz. Kontrast tutulumu KBB'nin herhangi bir sebeple yıkımına bağlıdır. Anjiyogenezis varlığında yeni oluşan vasküler yapıların duvarları normal vasküler yapılar gibi nizami değildir. Bu vasküler yapılarda permeabilite artışı yani KBB'de bozulma

vardır. T1 ağırlıklı kontrastlı incelemelerde kontrast tutulumu herhangi bir sebeple KBB'nin bozulmasına bağlıdır. Perfüzyon MR incelemede yalnızca anjiyogenezise bağlı sinyal oluştuğu bildirilmektedir. Kontrastlı SAG incelemelerde ise kontrast tutulumunun daha çok KBB yıkımına bağlı olduğu, anjiyogenezisin yoğun olduğu yerlerde ise paradoksal sinyal kaybı olabileceğini bildiren çalışmalar vardır (26).

2.1.3. SAG' nin Pediatrik Hastalarda Klinik Kullanımı

SAG; kan, kan ürünleri, non-hem demir ve kalsifikasyonun manyetik özellikleri ayrıca da BOLD venografi prensipleri neticesinde pediatrik hastalarda klinik uygulamada giderek daha fazla kullanılmaktadır. Pediatrik ve neonatal nörolojik hastalıklarda klinik uygulaması ve yararları gösterilmiştir (31).

2.1.3.1. İntrakraniyal Hemoraji

Çocuklarda intrakraniyal hemoraji travma, neoplaziler, koagülopati, vaskülopati ve stroke sonucu ortaya çıkabilir. Değişik kompartmanlardaki yerleşimlerine göre epidural, subdural, subaraknoid ve intraparaknimal olarak sınıflandırılır.

Deoksihemoglobin, intraselüler methemoglobin ve hemosiderin gibi kan ürünleri manyetik duyarlılıklarına bağlı SAG sekansında tanınabilir. Kanama tanısı ve bunun doğru lokalizasyonu ve karakterizasyonu çok önemlidir. SAG, kan ve kan ürünlerini tanımlamada son derece hassastır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, T2 ağırlıklı ve konvansiyonel (T1 ve T2) MR sekanslarına kıyasla, SAG üzerindeki mikro-kanamaların saptanabilirliğinin yüksek olduğunu bildirmiştir (31).

Konvansiyonel MR görüntülerinde saptanan kanamalar SAG ile konfirme edilir, daha kesin tanımlanır ve tarif edilir.

2.1.3.2. Travmatik Beyin Hasarı

Bilgisayarlı Tomografi (BT) tipik olarak çocuklarda akut travmatik beyin hasarında (TBH) yapılan ilk çalışmadır. BT ile acil cerrahi müdahaleye yol açabilecek intra-veya ekstra-aksiyal kanama, kırıklar, pnömosefali ve vasküler bölge yaralanması gibi patolojiler tanımlanabilir. Bununla birlikte, beyin parankimi ve beyin sapında oluşan mikrohemorajiler ya da diffüz aksonal yaralanma (DAY) BT'de daha

az gösterilebilir. SAG, mikrohemorajilerin tanımlanması için son derecede duyarlıdır ve pediatrik TBH' da değerli bir tanı aracı haline gelmiştir.

SAG' de görülen lezyonlarının sayısı ve hacmi, Glasgow Koma Skalası (GKS), cerrahi müdahale olasılığı, hastanede kalış süresi ve entübasyon olasılığı, kognitif sonuçlarla anlamlı korelasyon göstermektedir (31).

Beyin ödemi, TBH' nin bir diğer komplikasyonu olup vasküler hasar, DAY veya vasküler bölge hasarına bağlı olarak ortaya çıkabilir. SAG belirgin hipointens veya izointens vasküler yapılar ile hipo- veya hiperperfüze serebral ödemi gösterebilir ve altta yatan patofizyolojik süreç daha iyi anlaşılabilir.

Son olarak, kafa tabanı düzeyindeki karotid arter disseksiyonu, TBH'nin ek bir komplikasyonudur. SAG, disseke olan arterde hipointens hematoma varlığının gösterilmesinde yardımcı olabilir.

Bu nedenlerden dolayı SAG, TBH tarama protokolüne dahil edilmelidir.

2.1.3.3. Serebral Vasküler Malformasyonlar

Serebral vasküler malformasyonlar arasında yüksek akımlı arteriovenöz malformasyonların (AVM) yanında anjiyografide genellikle görünür olmadıkları için "occult" olarak adlandırılan kavernöz anjiyomlar (KA) ve kapiller telenjiektaziler (KT) gibi düşük akımlı vasküler malformasyonlar yer alır (31). SAG' nin serebral vasküler malformasyonların tanımlanmasında etkin olduğu gösterilmiştir.

Çocukluk yaş grubunda KA prevalansı % 0.4 ila % 0.8 arasında olduğu tahmin edilmektedir (32). Çocukluk çağındaki KA' lar esas olarak nöbet, şiddetli baş ağrısı veya akut kanamaya bağlı fokal semptomlar ile kendini gösterir (31).

KA'lar, çocuklarda MR ile sıklıkla tanı alabilen ancak anjiyografik olarak gizli vasküler malformasyonlardır. Kanamamış küçük KA' lar konvansiyonel T2 ağırlıklı görüntülerde görünmeyebilir. Aksine, kanamalı lezyonlar, hemosiderin'in periferik T2 hipointens halkası ve methemoglobinin internal T2 hiperintens merkezi ile karakterize "dut görünümü" özelliğine sahiptirler. SAG, sadece kanamış lezyonları gösteren T2 * ve T2 ağırlıklı görüntülerle karşılaştırıldığında KA sayısını doğru olarak değerlendirmede daha duyarlıdır. Özellikle ailesel formlarda ek KA' yu ekarte etmek için SAG tercihi uygundur.

KT' ler küçük, klinik olarak iyi huylu, anjiyografik olarak gizli lezyonlardır ve genellikle tesadüfen ortaya çıkarlar (31). Konvansiyonel sekanslarda kayda değer sinyal değişikliği göstermeyen odakta SAG sekansında sinyal kaybı KT için oldukça spesifiktir (31).

Gelişimsel venöz anomaliler (GVA) merkezi olarak yerleşmiş kollektör vene açılan radyal olarak düzenlenmiş küçük venlerden oluşur. GVA normal beyin parankimini drene eder ve genellikle KA ile ilişkilidir. T2 * ağırlıklı görüntüleme de dahil olmak üzere konvansiyonel MR sekansları ile karşılaştırıldığında SAG, GVA'yı saptamada daha duyarlıdır (33). GVA yavaş akan venlerdeki deoksihemoglobin varlığına bağlı olarak SAG görüntülerinde hipointens damarlar olarak tanınabilir. Bununla birlikte, nispeten daha yüksek akım hızına sahip olan bazı GVA'lerde, daha az deoksi-Hb miktarına bağlı, görece yüksek sinyal ve SAG üzerinde daha az bariz venöz yapılar görülür.

Galen ven anevrizması, koroidal arterlerin direkt olarak genişlemiş ve persiste medyan prosensefalik vene (Markowski veni) drene olduğu koroidal bir AVM'dir (31). Galen veninin düşük ve yüksek akış anormalliklerini ayırt etmede SAG sekansının yararlı olabileceğini gösterilmiştir (34). Galen veninin yüksek akım hızı SAG' de hiperintens, düşük akım hızı ise hipointens olarak ayırt edilebilir.

Dijital subtraction anjiografi (DSA), AVM' lerin tanı ve karakterizasyonunda altın standart olarak yerini korumaktadır. Konvansiyonel MRG' de T2 ağırlıklı görüntülerde feeding arterleri, nidus ve drenaj venleri flow-void olarak gösterilir. SAG AVM' lerin saptanmasında ek değerli bilgiler sağlayabilir (31). SAG sekansında yüksek akımlı arteriovenöz şant AVM' deki drenaj velerinden en az birinde hiperintensite olarak doğru bir şekilde gösterilebilir (35). Hızlı akım sonucunda deoksi-Hb' ye göre oksijenize Hb'nin artması hiperintens sinyal varlığıyla ilişkilidir. Bunun sonucunda SAG çocuklarda DSA için mutlak gereklilik duyulmaksızın yüksek akım bileşenlerinin tanımlanması için tarama aracı olarak veya izlem sırasında kullanılabilir. Nidusta hemoraji veya kalsifikasyon varlığı, faz kaybına ve sonuç olarak heterojen SAG sinyaline neden olabilir.

Sturge-Weber-Dimitri Sendromu (SWS), trigeminal sinir oftalmik dalı dağılımında kapiller malformasyonunun (port-wine lekesi), aynı tarafta glokom, leptomeninkslerde anormal venöz damarlar (leptomeningeal anjioma) ile ilişkili, sporadik, konjenital bir nörokutanöz sendromdur.

Leptomeningeal anjiomun primitif sefalik venöz pleksusun gerilemesindeki başarısızlığa bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu durum süperfisiyal venöz drenajın bozulmasına ve sonuçta venöz hipertansiyon, kronik venöz iskemi, arteriyel akımın azalması ve olası beyin atrofisine neden olur. SWS' deki karakteristik görüntüleme bulguları, tutulan kortekste atrofi, pial boyanma, belirgin transmedüller venler, büyümüş koroid pleksus ve korteks, beyaz cevherdeki kalsifikasyonları içerir (31). SAG, konvansiyonel MR sekanslarından daha etkin bir şekilde etkilenen parankimdeki kalsifikasyonları gösterebilir. Kalsifikasyonların gösterilmesine ek olarak, süperfisiyal venöz drenajın bozulmasını ve artmış oksijen ekstraksiyonunu yansıtan, dilate subependimal vene drene olan belirgin hipointens intramedüller venler ve genişleyen koroid pleksus görülebilir.

2.1.3.4. İnme

SAG pediatrik arteriyel iskemik inmenin (PAİİ) değerlendirilmesinde yararlı bir MR sekansıdır (31). SAG, (i) enfarkttaki kanamayı gösterebilir, (ii) hipoperfüze alandaki artmış oksijen ekstraksiyon fraksiyonu (OEF) ve artmış venöz deoksihemoglobin sonucu venöz hipointens sinyali gösterebilir, penumbranın hacmi dinamik duyarlılık kontrastlı perfüzyon ağırlıklı görüntüleme (DSC-PWI) ve arteriyel spin labeling (ASL) ile karşılaştırılabilir, (iii) arteriyel tromboemboli görülebilir, (iv) trombolitik tedaviye başlamadan önce mikro-hemorajileri gösterebilir ve (v) intraarteriyel trombolizden sonra hemorajik komplikasyonları saptayabilir (31) .

Buna ek olarak, SAG PAİİ' de hiperperfüzyon veya lüks perfüzyon bölgelerini izointens sinyalli olarak belirleyebilir, böylece post-iskemik malign ödem gibi komplikasyonları öngörmede ve prognozu değerlendirebilmede yararlıdır.

Hemiplejik migren (HM), 24 saate kadar sürebilen geri dönüşlü motor güçsüzlük ile karakterize kompleks bir auraya sahip nadir bir migren formudur. Motor güçsüzlük sırasında azalmış rölatif serebral kan akımıyla (rSKA) ilişkili geçici hipoperfüzyon oluşur. Hipoperfüzyone alanda SAG sekansında artmış OEF ve görece artmış deoksi-Hb'yi düşündüren belirgin, hipointens sulkal venler izlenebilir (36, 37).

Ayrıca SAG' nin BOLD veya MR venografi prensibi inmeli hastaların daha iyi anlaşılması, karakterizasyonu ve değerlendirilmesine önemli katkıda bulunmuştur.

2.1.3.5. Sinüs Ven Trombozu

Sinüs ven trombozu, intrakraniyal venöz sinüslerin ve serebral venlerin trombozu olup, venöz drenajın bozulmasına ve dolayısıyla intrakraniyal hipertansiyon ve / veya venöz infarktlara yol açar. Yenidoğanlarla karşılaştırıldığında konvansiyonel MR / MRV, daha büyük çocuklarda tercih edilen görüntüleme yöntemidir. Çünkü BT' ye göre daha uzun süre gereklidir. Patogenez, beraber veya daha az sıklıkta izole olarak görülebilen iki mekanizma ile açıklanabilir. İlk mekanizma, serebral venlerin oklüzyonu beyin parankiminde lokalize ödeme (sitotoksik ve vazojenik), venöz enfarkta ve kanamaya neden olabilir. İkinci mekanizma ise majör venöz sinüslerin oklüzyonu sonucu olarak intrakraniyal hipertansiyonun gelişmesidir.

Sorunlu venöz drenaj, serebral venlerin oklüzyonu, serebral ödem ve azalmış serebral perfüzyon basıncı, venöz iskemi bölgesinde SAG görüntülerde belirgin hipointens sulkal venlerin izlenmesine neden olabilir. Buna ek olarak peteşiyal kanama veya hematoma varlığı da görülebilir. Son olarak, SAG sinüs ven trombozunda trombüsün tespiti için ek tanısal katkı sağlar (38). Bunlardan dolayı SAG, sinüs ven trombozunun değerlendirilmesinde konvansiyonel MR puls sekanslarına ek yardımcı bir sekanstır.

2.1.3.6. Hipoksik İskemik Hasar

Hipoksik iskemik hasar (HİH) azalmış serebral kan akımının (iskemi) ve düşük kan oksijenizasyonunun (hipoksemi) eş zamanlı olarak ortaya çıkması sonucu oluşan beyin hasarıyla birlikte katastrofik bir durumdur. Genel olarak, bebekler ve çocuklar asfiksiye daha yatkındır, bu da hipoksemi ve beyin hipoksisine neden olur. HİH önemli nörolojik sekellere veya ölüme neden olabilir.

SAG erken tanı ve nöroprotektif önlemlerin derhal uygulanmasında kilit rol oynayabilir. SAG görüntülerde hipointens venlerin görülmesi, serebral dolaşımda deoksihemoglobin seviyelerini arttığına göstergesidir. Beyin hasarından sonra, oksijen metabolizması, azalmış serebral kan akımına rağmen artmış OEF'e bağlı olarak korunur. Bu hipoperfüzyon muhtemelen mikrotrombüsler nedeniyle artmış mikrovasküler dirençten kaynaklanmaktadır (39).

HIH' li bazı hastalarda, ilk difüzyon ağırlıklı görüntüleme (DAG) normal olabilir (31). Serebral perfüzyon basıncının (iskemi) ve / veya arteriyel kan oksijenizasyonunun (hipoksemi) şiddetli bir şekilde azalması, kompensatuvar olarak

hipoksik / hipoperfüzyonlu beyin dokusunun metabolik ihtiyacını karşılamak için OEF'in artmasıyla sonuçlanır. Bununla birlikte, SAG sitotoksik ödem DAG' de görünür hale gelmeden önce doku hasarını veya kritik perfüzyonu tanımlayabilir (40). Şiddetli diffüz serebral ödemde, intramedüller ve sulkal venlerin belirginliği de görülebilir. Venlerin hipointensitesi ve belirginleşmesi muhtemelen artmış veya maksimize edilmiş OEF sonucu venlerdeki düşük oksijen konsantrasyonu, intrakraniyal basıncın artması nedeniyle sınırlı veya olmayan beyin perfüzyonu gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bu bulgular, beyin ölümünü öngören ciddi iskemik hasar olduğunu düşündürebilir.

2.1.3.7. Enfeksiyonlar

Pediyatrik intrakraniyal enfeksiyonların erken tanınması, gerekli tedaviyi başlatmak beyin hasarından ve yıkıcı nörolojik sekellerden kaçınmak için önemlidir. Çocuklarda görülen enfeksiyonlar, pre ya da postnatal olarak edinilebilir.

Enfeksiyonlarda SAG kullanımı çok yönlüdür (i) prenatal viral veya postnatal parazitik enfeksiyonlarla ilişkili kalsifikasyonları saptayabilir, (ii) post-natal enfeksiyonlarla ilişkili hemorajileri belirleyebilir, (iii) enfeksiyonlara sekonder iskemi ve serebrovasküler komplikasyonları tanımlayabilir (31).

Sitomegalovirüs (CMV) enfeksiyonu periventriküler kalsifikasyonların görüldüğü, en yaygın konjenital enfeksiyondur. Ek olarak, CMV'de beyaz cevher değişiklikleri, paraventriküler kistler, ventrikülomegali ve migrasyonel anormallikler diğer bulgulardır. Rubella'da periventriküler beyaz cevher, bazal gangliyonlar ve beyin sapında genellikle vaskülopatinin bir sonucu olarak nekroz ve kalsifikasyon içeren gliosis odakları görülmektedir (31). Toksoplazmozda kalsifikasyonlar bazal gangliyonlar, periventriküler bölgeler veya serebral parankimde görülür. Ayrıca kalsifikasyon nörozistiskoroz gibi parazitik enfeksiyonlarda da sıklıkla görülebilir (31). BT, amorf kalsifikasyonun tanımlanması için hassas bir tetkiktir ancak SAG, özellikle pediatrik hasta grubunda iyonlaştırıcı radyasyonun etkilerinden kaçınarak erken değişiklikleri göstermek için daha duyarlı olabilir.

SAG yenidoğanlarda herpes tip 2 ensefaliti sırasında sıklıkla temporal loblar veya hipokampal / limbik sistemi etkileyen hemorajik lezyonların uzanımını gösterebilir. Bakteriyel menenjit, çocuklarda intrakraniyal enfeksiyonun en yaygın şeklidir.

Serebral malarya tipik olarak beyin parankimi içinde yaygın peteşial kanamalarla sonuçlanır. Konvansiyonel MRG sekansları serebral mikro-kanamaların derecesini tam olarak yansıtmayabilir. SAG' nin, daha yüksek hassasiyet ve detayla hasarı ortaya koyduğu gösterilmiştir (41).

Akut bakteriyel menenjitte, SAG, leptomeninkslerin mikrokkanamalarını gösterebilir. Enfeksiyon, perivasküler alanlardaki penetran kortikal damarların leptomeningeal kılıfları vasıtasıyla yayılabilir. Subependimal venlerin trombozu periventriküler nekroza neden olur. Arteriyel ve venöz duvarlardaki fokal nekrozlar, arteriyel veya venöz tromboza neden olabilir (31). Bu da arteriyel veya venöz enfarktüse neden olabilir. Hemorajik dönüşüm venöz infarktlarda daha sıktır. Trombüs, kanama veya enfarktüsün tanınması SAG sekansı ile kolaylaşır.

2.1.3.8. Tümörler

SAG, tümör içerisindeki kalsifikasyonun, hemorajinin ve anormal vaskülaritesinin gösterilmesinde yararlıdır. Konvansiyonel MR sekansları ile beraber edilen bu bilgiler tümör derecesinin belirlenmesinde, tanı ve prognoza yönelik etkin bilgiler sağlayabilir. Düşük gradeli tümörlerde kalsifikasyon tipiktir, yüksek gradeli tümörlerde ise kanama ve artmış vaskülarite sık görülür. Diffüz intrinsek pontin gliomda SAG, hemorajinin gösterilmesinde ve bunun kalsifikasyon, nekroz veya artefaktlardan ayırt edilmesinde T2 * GRE' den daha üstündür (42). Yine SAG, intratümöral kanama ürünlerini ve metalik birikimini göstererek erken bazal ganglion germinomalarının erken evrede saptanıp tedavi edilemesinde yararlıdır (43).

Kalsiyumun konvansiyonel MR sekanslarında tanınması, T1 ve T2 ağırlıklı sinyal karakteristiklerinde geniş heterojenlik göstermesinden dolayı güvenilir değildir. Kalsifikasyon ve kanama içeren tümörlerde, tümör iç yapısının önceden saptanması tedaviye cevabının tahmin edilebilmesinde önemli değer sağlayabilir.

Hipertrofik olivar dejenerasyon (HOD), Guillain-Mollaret üçgeninin bileşenlerini etkileyen lezyonlardan kaynaklanır. Çocuklarda beyin sapı veya serebellumu tutan tümörler, HOD' nin en sık görülen etyolojisidir. Yapılan çalışmalarda posterior fossa tümörlerinde rezeksiyon sonrası HOD'li çocuklarda SAG' nin rubral çekirdeklerdeki dejenerasyon ve atrofi tespitinde yararlı olduğu gösterilmiştir (44).

2.1.3.9. Nörodejeneratif Bozukluklar ve Metabolik Hastalık

Çocukluk çağında nörodejeneratif bozukluklar nadirdir. Nörometabolik hastalıklar muhtemelen genetik bir nedene bağlı nörodejeneratif hastalıkların önemli bir bölümünü oluşturmaktadırlar. Görüntüleme, nörometabolik hastalık şüphesi bulunan hastalar için tanısal incelemelerin önemli bir parçası olup klinisyenleri hedefe yönelik metabolik veya genetik analiz yapmaya yönlendirir. Hastalığın erken tanınması, hastalığın ilerlemesinin durdurulması ve buna bağlı morbiditenin azaltılmasına yardımcı olur.

SAG, çeşitli nörodejeneratif hastalıklarda bazal ganglionlarda biriken demir ve kalsiyumun ayırt edilmesinde yararlıdır. Demir birikimi ile nörodejenerasyon, belirgin ekstrapiramidal hareket bozukluğu, entelektüel bozulma ve bazal gangliyonunda (çoğunlukla globus pallidusta) ve aynı zamanda dentat nükleus ve substantia nigra gibi diğer beyin bölgelerinde demirin karakteristik simetrik birikimi ile karakterizedir (31). Pantotenat kinazla ilişkili nörodejenerasyon (PKİN) ve infantil nöroaksonal distrofi pediatrik grupta görülen hastalıklardır. PKİN beyin demiri birikimi ile giden nörodejenerasyon vakalarının yaklaşık yarısını oluşturur (31). PKİN, globus pallidusta demir akümüülasyonunun artması ile karakterizedir. SAG beyin demir akümüülasyonunu göstermek için kabul gören bir yöntem haline gelmiştir (45).

Pek çok nörometabolik ve nörodejeneratif hastalıkta kalsiyum depolanması görülmektedir. Fahr hastalığında tipik olarak pallidal bölge de görülmekle birlikte serebellum ve hemisferik beyaz cevher de depolanma olabilir (31). Klasik ve geç başlangıçlı Cockayne sendromunda hipomyelinizasyon, supratentoryal beyaz cevher kaybı, serebellar atrofi veya hipoplazi ve bilateral putaminal kalsifikasyonlar en sık rastlanılan bulgulardır (31).

Aicardi-Goutieres sendromunda tipik görüntüleme bulguları olarak bazal gangliyonlar, dentat nükleus ve supratentoryal beyaz cevherde kalsifikasyon, serebral atrofi ve beyaz cevherde sinyal anormallikleri bildirilmiştir (46).

Langerhans hücre histiyositozunda SAG, globus pallidusta, substantia nigra ve dentat nükleusta kalsifikasyonu gösterebilmektedir (31).

2.1.3.10. Multipl Skleroz

Multipl skleroz (MS) merkezi sinir sistemini etkileyen kronik, multifokal, inflamatuvar demiyelinizan bir hastalıktır.

SAG venlerin dağılımının ve demir birikiminin incelenmesinde yardımcı bir teknik olabilir. SAG görüntülerdeki "merkezi ven işareti", MS için özel olmasa da, MS ve MS olmayan diğer beyaz cevher hastalıklarının tanınmasında yararlı olduğu bulunmuştur (47). Yapılan çalışmalarda MS'li hastaların presantral gri cevherinde sağlıklı kontrol grubu ile karşılaştırıldığında artmış demir birikimi saptanmıştır (48).

2.1.4. Pediatrik Beyin SAG' de Yanılgılar

SAG hem magnitüd görüntülerinde hem de faz görüntülerin birlikte kullanılması ile oluşturulur. Dokudaki duyarlılık farklarından kaynaklanan inceleme kontrastı magnitüd görüntülerin birkaç kez maskelenmiş faz görüntüleri ile çarpımıyla oluşturulur. Faz maskesi, modern kuadrature koillerle görüntüleme yapılırken diğer anatomik kesitlerden toplanan MR sinyal yoğunluğunun faz verilerinden türetilir, ancak bu görüntüler çoğunlukla kullanılmadan atılır. MR sinyallerinde izlenen faz çiftleri doku suseptibilite farklarından kaynaklanan lokal manyetik inhomojenitelerinden kaynaklanır. Bu kayma derecesi limitsiz olmasına rağmen ölçümler π ve $-\pi$ radyanları arasındadır.

Kalsiyum hidroksiapatit gibi diyamanyetik maddeler negatif manyetik suseptibiliteye sahip olup ana manyetik alan tersi yönünde, küçük bir lokal manyetik alan indükler. Deoksihemoglobin, hemosiderin, ferritin gibi paramanyetik maddeler ise B0 alanı ile aynı yönde bir manyetik alan indükler.

Maddelerin bu zıt etkileri Larmor frekansı üzerinde zıt çiftlere neden olur. Ancak bu kaymada dipolar alan değişiklikleri, madde yada obje geometrisi nedenli kompleks fokal alan fluktuasyonları hesaba katılmaz (49). Faz kaymaları faz imajlarda uygun görülen gri skala karşılıklarına işlenirler.

Sağ el sistemlerinin kullandığı koordinat sisteminde paramanyetik maddelerce artmış lokal manyetik alan ve Larmor frekansı negatif faz çiftine neden olur ve filtreli faz görüntülerinde koyu olarak izlenir. Diyamanyetik maddeler içinde bu tam tersi olup, faz görüntülerde parlak görünürler.

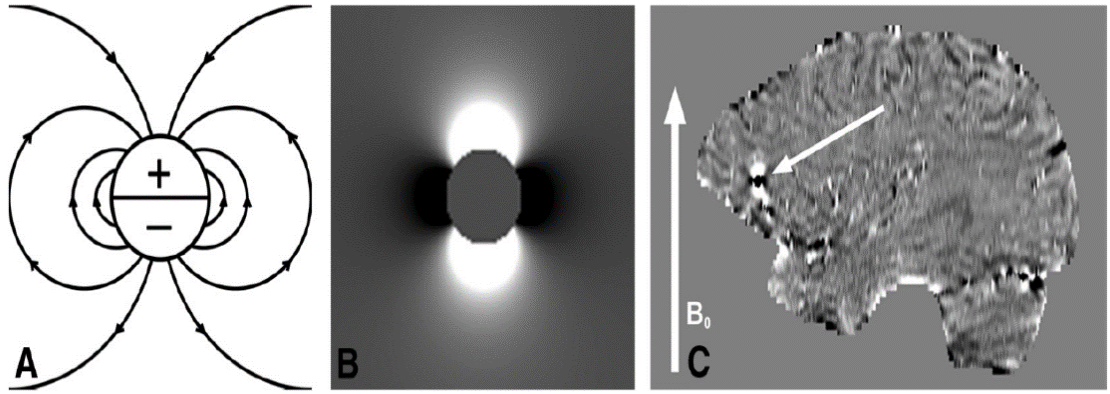
Üreticilerin tercih ettiği sağ el ya da sol el koordinat sistemlerinin bilinmesi gereklidir. Çünkü her iki sistemde sinyaller tam tersi olacaktır.

Diğer bir önemli nokta eğer ki filtreli faz görüntülerin fizik temelleri bilinmezse faz görüntülerini yorumlanmasında potansiyel başkaca tuzaklar mevcuttur. Bunlarda biri aliasing artefaktıdır. Aliasing artefaktının nedeni faz kaymalarının gerçek aralığının π ve $-\pi$ radyanları arasında üzerine katlanmasıdır (49).

Standart SAG' de filtrelenmiş faz görüntüleme, tek uzun TE gradient ekonun kullanıldığı faz verilerinden üretilir. High-pass filtreler ile post-prosesing işleme rağmen eğer B0 alanın lokal manyetik duyarlılıklara bağlı yeterli distorsiyonu sonucu önemli derecede aliasing artefaktları görülebilir. Fourier temelli alan tahmini metoduna rağmen paranazal sinüsler komşuluğundaki gibi geniş hava-doku arayüzü kaynaklı manyetik alan fluktuasyonlarında limitasyonlar mevcuttur (49)

Faz görüntülemedeki aliasing artefaktlarına ek olarak, değişen manyetik duyarlılığa sahip maddeler tarafından üretilen dipolar manyetik alan, B0 alanını arttırarak yada azaltarak, objeyi çevreleyen lokal manyetik alan dalgalanmalarına neden olur (50). Nesnenin dışındaki bu manyetik alanın doğası, hem nesnenin şekline hem de nesnenin B0 alanına göre oryantasyonuna bağlıdır. Örneğin bir kürede manyetik alan (yani faz) çiftleri objenin üst ve altında, longitudinal aksiste ve bir yönde olup ekvatoryal kesimde manyetik alan çifti (ve faz) tam tersi yöndedir. Eğer aliasing artefaktı obje etrafında oluşan faz kaymasını gizlerse bu periferik faz kayması cismin kompozisyonunu açıklığa kavuşturabilir.

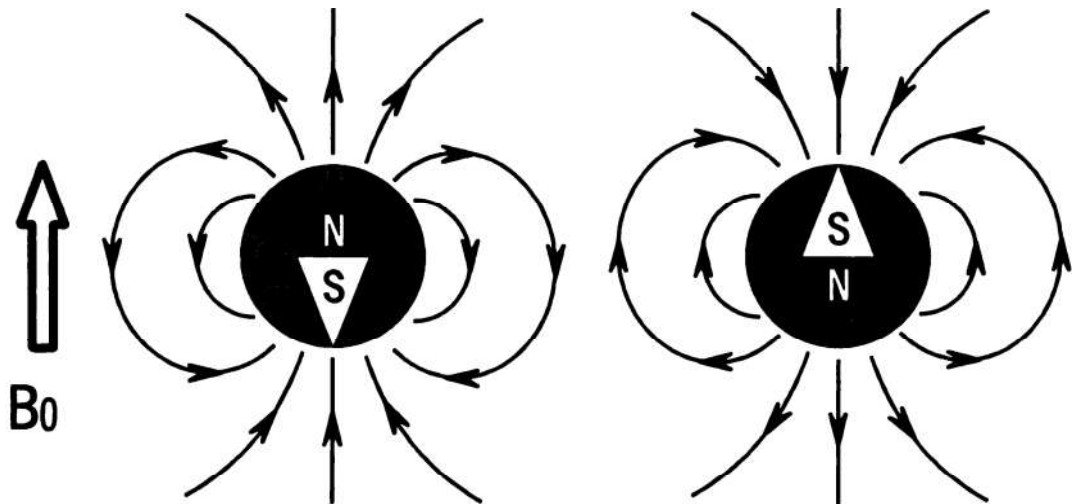
Küre ve B0 alanına dik veya paralel dairesel silindirler, basit matematiksel fonksiyonlarla temsil edilen harici alan dalgalanmaları üretirler (Şekil-9). Bununla birlikte, kaçınılmaz olarak daha fazla irregüler anatomik yapılar söz konusuysa eksternal ve internal manyetik alan fluktuasyonları, altta yatan dokunun manyetik özellikleriyle belirsiz faz çiftlerine neden olur.



Şekil-9: Dipol magnetik alan örneği (A), simüle edilmiş gri skala faz haritası(B) ve saggital reformatları oluşturulmuş filtreli faz görüntüde in-vivo magnetik dipol.

Alan çizgileri manyetik alanın çok yönlü doğasını göstermektedir. Bu çizgiler görüldüğü gibi longitudinal aksiseve ekvatoryal alanda birbirine zıttır. B ve C' de fokal diyamanyetik kalsifikasyon alanının sağ el sisteminde bu zıt faz değişikliklerinin simüle ve in-vivo olarak görülmektedir.

Dipol alanların paramanyetik özellik taşıyan kanama ürünlerinde ve diyamanyetik özellik taşıyan kalsifikasyonlarda birbirinin tam tersi olması beklenir (Şekil-10).



Şekil-10: Sırasıyla hematoma ve kalsifikasyon birbirlerinin tam tersi pozisyonda magnetik dipol gibi davranırlar.

Hemorajik sürecin ilk safhası olan oksihemoglobin diyamanyetik olup ve faz görüntülerde kalsifikasyonu taklit edebilir. Kalsiyum, diyamanyetik bir maddedir ancak faz görüntülerinde daima diyamenyetik etkilerini göstermeyebilir. Bu nedenle kan ürünleri ve kalsifikasyon filtrelenmiş faz görüntüleri üzerindeki her zaman ayırım yapabilmek kolay değildir.

Pediyatrik beyin SAG imajlarının yorumlanmasında bazı potansiyel tuzakları mevcuttur.

Bunlar;

- 1) Kan oksijenizasyon seviyesine bağlı potansiyel tuzaklar,
- 2) Akıma bağlı potansiyel tuzaklar,
- 3) Manyetik alan şiddetine bağlı potansiyel tuzaklar,
- 4) MinIP görüntüleri üzerinde lokalizasyonu yanlış yorumlamaya bağlı potansiyel tuzaklar,
- 5) Taklitçileri içerir (51).

2.1.4.1. Kan Oksijenizasyon Seviyesine Bağlı Potansiyel Tuzaklar

Hemoglobin (Hb) primer kan oksijen taşıyıcısıdır ve 4 protein (globin) alt birimi içerir. Her bir protein alt birimi, porfiri halkası ile çevrili demir atomu(Fe^{2+}) barındıran hem molekülü içerir.

Oksi-Hb, eşlenmemiş elektronu olmayan diyamanyetik natürdedir. Eksternal manyetik alan içerisinde ters yönde bir manyetik alan oluşturur. Ancak deoksi-Hb 4 eşlenmemiş elektron içerir ve paramanyetiktir. Eksternal manyetik alan içerisinde aynı yönde bir manyetik alan oluşturur (51)

Deoksi-Hb ve oks-Hb arasındaki bu fark deoksijenize kan ve çevre yapılar arasında intravoksel / intravasküler faz farklılıklarına neden olur. Bu mekanizma da BOLD (blood oxygen-level dependent) venografinin temelini oluşturur. Bu nedenle, beyin damarlarının sinyal yoğunluğu deoksijenize- Hb konsantrasyonuna bağlıdır ve fazla miktarda deoksijene-Hb, damar hipointesitesinde artışa neden olur. Bu, iskemik inme ve serebral sinüs venöz trombozu gibi fokal veya hipoksik iskemik yaralanmalar ve beyin ölümünü öngören ciddi beyin ödeminde ise diffüzdür (51).

SAG sinyal yoğunluğunun kan oksijenasyon seviyesine bağımlılığı, anestezi ortamında özellikle önemlidir. Genel anestezi altında tetkik edilen çocuklar tipik olarak hiperoksijenize olup SAG sekansında venleri yüksek sinyalli izlenir. Kan

oksijenizasyon seviyesindeki dalgalanmaların SAG' daki sinyal yoğunluğunu etkiler ve gerçek yaralanmaları taklit edebilir (51).

2.1.4.2. Akıma bağlı potansiyel tuzaklar

Kan gaz konsantrasyonu sadece kan oksijen saturasyonundan değil aynı zamanda kan akımından da etkilenir. Hiperventilasyon, arteriyel oksijen desteği değişmeden, hipokapniye ve sokender vazokonstrüksiyona bağlı kan akımında düşmeye neden olur. Bu durum artan oksijen ekstrasyonu ile sonuçlanır çünkü serebral oksijen tüketimi, hiperventilasyona sahip sağlıklı kişilerle aynıdır (51).

Sonuç olarak, hiperventilasyon, normal ventilasyona kıyasla SAG sekansında venöz yapıların sinyal yoğunluğunda belirgin bir azalmaya neden olur. Öte yandan, daha yüksek bir karbondioksit (CO₂) konsantrasyonunun (%5 CO₂, %95 O₂) daha yüksek bir serebral kan akımına (SKA) yol açtığı ve SAG' de serebral venlerin neredeyse izointens olduğu ve çevresindeki doku ile olan kontrastlarının kaybolduğu gösterilmiştir (51).

Bu nedenle, yapılan çalışmalarda sedasyonlu hastalarda SAG' de optimal venöz kontrast elde etmek için end-tidal karbondioksit seviyesinin 30-35 mmHg arasında tutulması önerilmiştir (52). SAG' de izlenen şüpheli venöz sinyalin yanlış yorumlanmasını önlemek için kan anormal CO₂ konsantrasyonunun bilinmesini gerektirir. Serebral kan akımı, kan gaz konsantrasyonları dışındaki bazı ajanlar tarafından da değiştirilebilir. Kafein, bir adenosine antagonisti olarak hareket ederek SKA' yı azalttığı bilinmektedir (53). SAG üzerinde venöz sinyal yoğunluğunda hafif azalma, kafein alımından 40-50 dakika sonra manyetik alan şiddetinden bağımsız olarak gösterilmiştir.

2.1.4.3. Manyetik Alan Şiddetine Bağlı Potansiyel Tuzaklar

Manyetik duyarlılık, bir maddenin veya dokunun bir manyetik alana tepkisi olup, ortaya çıkan manyetizasyon derecesi görüntünün genel kalitesinde olumlu ya da olumsuz bir etkiye sahip olabilir. Hasta kaynaklı implantlar, metalik materyaller ya da eksternal yabancı cisimler manyetik duyarlılığa karşı hassas malzemeler olup emniyet sorunları doğurabilir ve ilgili görüntüleme alanındaki manyetik duyarlılık artefaktlarında artışa neden olabilir. 3T cihazlarda manyetik duyarlılık artefaktları 1,5 T cihazlara göre daha belirgindir. Genellikle kanama veya kalsifikasyon gibi hassasiyet artefaktlarına neden olan her türlü durumun tespit edilmesinde, 1.5 T tarayıcılara göre 3 T'nin daha yüksek duyarlılığa neden olmasını açıklar (51). Öte

yandan, 3 T'deki yüksek duyarlılık, blooming etkisini artırabilir ve altta yatan hasarın abartılı tahminine neden olur.

2.1.4.4. MinIP Görüntüleri Üzerinde Lokalizasyonu Yanlış Yorumlamaya Bağlı Potansiyel Tuzaklar

MinIP görüntüleri, 4 ila 8 kesitten oluşan seri projeksiyondan her pikselin sinyal intensitesinin minimum değerini alıp 8-16 mm'lik bir kesit oluşturan bir yöntemdir.

Bu sayede venlerin sürekliliği daha iyi gösterilir ve mikrokanamalar ile devam eden venlerin ayrılması sağlanır.

Bir lezyonun parsiyel volüm etkisine bağlı yanlış lokalizasyonda yorumlanması olasıdır. MinIP rekonstrüksiyonlarının kalınlığının belirlenmesi önemlidir. Rekonstrüksiyon kalınlığı arttıkça duyarlı materyalin daha iyi tasvirleri elde edilir. Bununla birlikte, birden çok bitişik kesitin bir araya getirilmesine bağlı olarak doğru lokasyonu yorumlamada potansiyel bir tuzaktır.

Otomatik olarak post-proses SAG' de, kullanılan FOV' a bakılmaksızın minIP rekonstrüksiyonu için kalın dilimler seçilecektir. Yenidoğanlar, büyük çocuklar ile karşılaştırıldığında daha küçük FOV' a ihtiyaç duyarlar; bu da duyarlılık artefaktında magnifikasyona neden olur ve patolojiyi gizleyebilir.

Fokal lezyonların lokalizasyonunun yanlış yorumlanmasının önlenmesi, minimum intensity projeksiyonunun kalınlığı, özellikle yenidoğanlarda kısmi hacim etkilerini en aza indirmek için beyin boyutuna göre ayarlanmalıdır (51).

2.1.4.5. Taklitçiler

SAG' deki duyarlılık kanama, demir veya kalsifikasyondan başka içeriklerden de kaynaklanabilir. En iyi örnek havadır. Gaz, kanama gibi hassasiyet artefaktlarına neden olabilir. Bu etki özellikle 3T cihazlarda önemlidir. Fizyolojik olarak, mastoidler ve sinüslerde hava bulunur. Bu komşu beyin parankiminde kanama veya kan ürünleri varlığı şeklinde yanlış yorumlamalara neden olabilir. Aksine, bu alanlardaki duyarlı odakları göstermede başarısız olabilir, yani yanlış negatif sonuçlar verir. Pnömocefali travma, kraniyotomi / kraniektomi veya ventrikülostomi sonrasında genellikle gelişir ve duyarlılık artefaktlarına neden olabilir (51).

3. GEREÇ-YÖNTEM

Çalışmamız, Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesi Radyoloji arşivi (Sectra IDS7)'nde bulunan MR görüntüleri üzerinden retrospektif olarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışma öncesinde DEÜ Radyoloji Anabilim Dalı akademik kurulundan ve DEÜ Tıp Fakültesi etik kurulundan izin alınmıştır.

3.1. Hasta Seçimi

Çalışmaya 31.07.2017 ve 22.01.2018 tarihleri arasında farklı ön tanımlarla radyoloji bölümümüzde MR incelemeleri olana ve SAG sekansında patolojik sinyal odakları saptanan, 1-18 yaş arasındaki çocuk hastalar dahil edilmiştir. Bu kriterleri karşılayan 68 hasta(30 kadın, 38 erkek) araştırmaya dahil edilmiştir. Hastaların yaşı, cinsiyeti, klinik bilgileri ve patolojik, laboratuvar sonuçları hastanemizin bilgi sisteminden elde edilmiştir.

3.1.1. Çalışmaya Dahil Olma Kriterleri

Çalışmaya 1-18 yaş arasındaki, beyin MR incelemesinde SAG sekansında anormal sinyal odakları bulunan hastalar dahil edilmiştir. Çalışma dahilindeki hastaların MR incelemelerinde ayrıca T1A ve T2A olmak üzere konvansiyonel sekansları da mevcut olup incelemeleri optimal olan hastalar çalışmaya dahil edilmiştir. Kalsifikasyon olarak değerlendirilen odakların konfirmasyonu için en az 1 ay içinde BT görüntüsü olan hastalar çalışmaya dahil edilmiştir.

3.1.2. Çalışma Dışı Tutulma Kriterleri

MR ve SAG görüntüleri optimal kalitede olamayan, SAG' de kalsifikasyon sinyali olup BT tetkiki olmayan hastalar ve hemorajik sinyal olarak sınıflandırılmış olup çapı 1 cm' den büyük olan odaklar çalışma dışı bırakılmıştır.

3.2. Görüntüleme Protokolü

Hastalara ait MR görüntüleri Philips MR Systems Achieva dStream 1,5 T MR görüntüleme cihazında elde olunmuştur (Philips Healthcare / Philips Medical Systems B.V, The Netherlands)

3.2.1. MR İncelemesinde Kullanılan Sekanslar

MR görüntülemesinde tüm hastalara rutin beyin görüntüleme protokolü kullanılmıştır. Kullanılan sekanslar T1 ağırlıklı spin eko, T2 ağırlıklı turbo spin eko, T2 ağırlıklı fluid-attenuated inversion recovery (FLAIR) ve T2* ağırlıklı GRE görüntüleri elde edilmiştir. T1A imajlarda TE:12 msn, TR:520 msn'dir, 5 mm kesit kalınlığında, sagittal planda görüntüler elde edilmiştir. T2A imajlarda TE:110 msn, TR: 5315 msn'dir, 5 mm kesit kalınlığında, aksiyal planda görüntüler elde edilmiştir. FLAIR imajlarda TE:140 msn, TR: 11.000 msn'dir, 5 mm kesit kalınlığında, aksiyal planda görüntüler elde edilmiştir.

T2* ağırlıklı GRE imajlar elde edilirken: flip angle, 20°; repetition time, 5 msn; eko sayısı, 4; ilk eko zamanı, 12 msn; eko aralığı, 11 msn; field of view (FOV), 23 cm; matriks, 232x186; kesit kalınlığı, 2 mm ve total tarama zamanı 3 dakika 35 saniye olarak belirlenmiştir. SWIp sekansında görüntüler ve MinIP rekonstrüksiyonları otomatik olarak oluşturulmuştur.

3.3. Ölçümler

SAG sekansında patolojik sinyal varlığı önce faz görüntülerde görsel olarak karar verilip sonrasında bu odakların karşılığı SAG imajlarda konfirme edilmiştir. Bu odakların sayıları kaydedilmiştir. Konvansiyonel sekanslarda da bu lokalizasyondaki izlenen anormal sinyal odakları sayısal olarak kaydedilmiştir.

Birbirleri ile ilişkili, komşuluğundaki odaklardan sınırları net olarak ayırt edilemeyen alanlar bir odak olarak sayılmıştır. Kafa tabanı veya kraniyal kemikler komşuluğundaki belirsiz sinyaller çalışma dışı bırakılmıştır.

Kalsifik odakların gold standardı için BT' de 100 HU' dan yüksek dansitede kriter olarak kabul edildi.

Kanama alanlarının uzunluk ölçümü faz görüntülerde aksiyal planda ve en uzun olduğu ekseninde gerçekleştirilmiştir. Tek boyut kullanılmıştır. Faz görüntülerin boyutu en güvenilir olarak kabul edildi. Çünkü faz görüntülerin vokselle boyutu T1 ve T2 ağırlıklı görüntülerden daha küçük ve aynı zamanda suseptibilite etkisi SAG imajlarına göre daha azdır. Ölçümler PACS sistemi üzerinde gerçekleştirilmiş ve veriler kaydedilmiştir.

3.4.Değerlendirme

Lezyonların kalsifikasyon veya kanama olarak sınıflandırılması BT ve konvansiyonel MR görüntülerinin (T1 ağırlıklı, T2 ağırlıklı ve FLAIR görüntüler dahil) değerlendirilmesine ve tıbbi geçmişi (örneğin post-operatif, bilinen fakomatoz, bilinen travmatik beyin hasarı...) ve laboratuvar, patoloji sonuçlarını içeren klinik bilgiler dahilinde yapılmıştır.

Kalsifik odakların saptanması için hastalara ait ve en fazla 1 ay içinde elde olunmuş BT tetkiklerinden HU ölçümleri yapılmıştır. Bulunan kalsifik odakların etyolojisi hastaya ait klinik bilgilerden ve HBS üzerinden araştırılmış ve kalsifik odaklar fizyolojik-nörodejeneratif, posttravmatik-distrofik, fakomatozlara bağlı ve tümoral kalsifikasyonlar olmak üzere kategorize edilip uygun lokalizasyona yerleştirilmiştir.

Hemorajinin saptanmasında SAG, BT ve hastanın klinik bilgileri kullanılmıştır. SAG’ de mikrokanamalar dahi küçük blooming artefaktları gösteren odaklar olarak izlenir. Tüm kanama ürünü içeren odakların boyutları ölçülüp kaydedilmiştir. Her iki kriterin örüştüğü odaklar kalsifik ve hemorajik olarak kategorize edilmiştir. Bu hastalar çalışma dışı bırakılmıştır.

Anormal venöz yapılar ardışık kesitlerde devam eden tübüler, bazıları tortüöz hem faz görüntülerde hem de SAG sekansında homojen hipointens olarak izlenmiştir. Bu venöz yapılar tek anormal sinyal olarak sayılmış ve paramanyetik sinyal kısmına eklenmiştir.

SAG imajlarda saptanan anormal sinyal odaklarının T1, T2 ve FLAIR sekansında karşılıkları araştırılmış, karşılığı bulunan sinyallerin sayısı kaydedilmiştir.

Faz görüntülerde düşük sinyal varlığı ve SAG imajlarda hipointensite içeren homojen lezyonlar homojen paramanyetik, faz görüntülerde yüksek sinyalli olup SAG imajlarda hipointens izlenen odaklar homojen diyamanyetik olarak klasifiye edilmiştir. İç yapılarında faz görüntülerde bir miktar yüksek sinyaller içeren paramanyetik odaklar primer paramanyetik, bir miktar düşük sinyal içeren diyamanyetik odaklar ise primer diyamanyetik olarak sınıflandırılmıştır.

Mevcut olan histopatolojik tanımlar HBS üzerinden araştırılmış ve kaydedilmiştir.

3.5. İstatistiksel Analiz

İstatiksel hesaplamalar için SPSS programı (IBM SPSS Statistics 24) kullanılmıştır. Verilerin sınıflandırılmasında frekans dağılımı, aritmetik ortalama, standart sapma gibi deskriptif istatistiksel yöntemleri kullanılmıştır. BT' de izlenen kalsifik odakların konvansiyonel sekanslar ve SAG yöntemleri ile karşılaştırılması için ki-kare testi kullanılmıştır. Ki- kare testinde ise $p < 0,05$ altındaki değerler istatistiksel olarak anlamlı olarak kabul edilmiştir.



4.BULGULAR

Çalışmaya dahil edilen 68 hastanın yaşları 1 ile 18 yaş arasında(ortalama:11,3) değişmektedir. Hastaların 38'i erkek, 30' u kadındır.

Hastaların klinik ön bilgileri 6 kategoride sınıflandırılmıştır (Tablo-3).

Tablo-3: Hastaların klinik ön tanı ve hasta sayıları

Klinik ön tanı	Hasta sayısı(n)
Vasküler patoloji	6
Kitle	24
Organik etyoloji araştırılması	19
Konjenital malformasyonlar ve metabolik hastalıklar	13
Enfeksiyon	2
Travma	4

Yapılan değerlendirmede bu 68 hastanın SAG imajlarında 287 hipointens odak saptanmıştır. Maskelenmiş filtreli faz görüntüleri ile yapılan değerlendirmede bu odakların 135'i diyamanyetik yani kalsifikasyon olarak kategorize edilmiştir. Sinyallerden 149'u mikrohemorajik odak olarak geri kalan ve anormal bir vasküler yapıya ait olduğu net olarak seçilebilen 13'ü ise vasküler anomaliler olarak sınıflandırılmıştır.

Kalsifikasyon odaklarının konfirmasyonuna yönelik hastaların BT incelemeleri taranmıştır. BT incelemelerinde HU değerleri 100 üzerinde olan ve kalsifik olarak kabul edilen 143 odak mevcuttur.

Kalsifikasyonlar 4 ana grup şeklinde kategorize edilmiştir (Tablo-4).

Tablo-4: Kalsifikasyonların sınıflandırılması

Kalsifikasyon etyolojisi	Odak sayısı(n)
Fizyolojik-Nörodejeneratif	82
Post-travmatik-Distrofik	46
Tümoral	5
Fakomatozlara bağlı	2

Kalsifikasyon odakları kendi içerisinde maskeli filtrelenmiş faz görüntülerdeki sinyal özelliklerine göre homojen ya da primer diyamanyetik olarak ayrıldı. Diyamanyetik sinyal özelliği homojen olan 92, primer olarak diyamanyetik olup bir miktar heterojen olarak izlenen 43 odak mevcuttur.

Anormal sinyallerden paramanyetik natürde olup çapları 1 cm' i geçmeyenler kanama ürünleri içeren mikroodaklar şeklinde sınıflandırıldı. Bu sinyaller boyutlarında göre 3 gruba ayrıldı. Çapları 3 mm' den küçükler, çapları 3-5 mm arasında olanlar ve çapları 5 mm' den büyük olanlar şeklinde sınıflandırıldılar. Bu 3 kategori kendi içerisinde maskeli filtrelenmiş faz görüntülerdeki sinyal özelliklerine göre homojen ya da primer paramanyetik olarak ayrıldı (Tablo-5).

Tablo-5: Paramanyetik sinyallerin çap ve sinyal özelliklerine göre sınıflandırılması

Odak çapı	Homojen paramanyetik sinyal	Primer paramanyetik sinyal
<3 mm	55	22
3-5 mm	5	32
>5 mm	2	33

Kanama ürünleri içeren odakların etyolojisi değerlendirildiğinde malign tümörü olan hastalardaki odaklar (n:106), travması olan hastalardaki odaklar (n:34), prematüriteye bağlı subependimal kanaması olan hastadaki odaklar (n:3), shunt operasyonu geçiren hastalardaki odaklar(n:2) ve varisella vaskülitisi tanısı bilinen hastadaki odak (n:1) karşımıza çıkmaktadır.

Anormal sinyallerden 13 tanesi anormal venöz yapılarla bağlıdır. Bu odaklardan beşi gelişimsel venöz anomaliye, beşi anormal tümoral vasküleriteye, biri hipoksik-iskemik ensefalopatiye, biri menenjitte ve diğer biri de Struge-Weber sendromuna sekonderdir.

Konvansiyonel sekanslar değerlendirildiğinde kalsifik odakların T1 ağırlıklı görüntülerde 6 tanesinde, T2 ağırlıklı görüntülerin 11 tanesinde ve FLAIR sekansında ise 7 tanesinde kalsifikasyonu destekler sinyal değişiklikleri vardır. Toplamda 135 diyamnetik odaktan 13 tanesi (yaklaşık % 9,6) konvansiyonel sekanslarda seçilebilmiştir.

Hemorajik odaklar da ayrı ayrı değerlendirildiğinde T1 ağırlıklı görüntülerde 19 tanesinde, T2 ağırlıklı görüntülerde 20 tanesinde ve FLAIR sekansında ise 15 tanesinde kanama ürünlerinin varlığını destekler bulgu mevcuttur. Toplamda 149 odaktan 25 tanesi (yaklaşık %16,7) konvansiyonel sekanslarda seçilebilmiştir.

On üç hastada izlenen vasküler anomalilerden sadece bir tanesi konvansiyonel sekanslarda seçilebilmektedir (Tablo-6).

Tablo-6: Ayırt edilen odakların sekanslara göre sınıflandırılması.

	SAG	T1A	T2A	FLAIR	Toplam farklı odak sayısı (T1+T2+FLAIR)
Kalsifik odak	135	6	11	7	13
Kanama ürünü içeren odak	149	19	20	15	25
Anormal venöz yapı	13	1	1	1	1

Farklı klinik ön tanımlarla MR tetkikleri yapılan 68 hastanın 38' inde (yaklaşık % 55,8) MR bulguları bu ön tanıyı doğrulamıştır. Bu 38 hastadan ise 26' sında (yaklaşık % 68,4) SAG bu tanıyı koymada ek bulgular sağlamıştır. Sekiz hastada (yaklaşık hastaların %11'ü) ise klinik ön tanıdan verilen bilgiden farklı olarak sadece SAG' de anormal sinyaller neticesinde farklı bir tanı düşünülmüştür (Tablo-7).

Bu sekiz odaktan 5 tanesi mikrokanama odakları iken 3' ü anormal venöz yapılara bağlı sinyallerdir.

Tablo-7: SAG' nin konvansiyonel sekanslara eklenmesi ön tanı veya insidental bir tanının desteklenmesi.

Toplam hasta sayısı	68 hasta
MRG bulguları ön tanıyı destekliyor	38 hasta
SAG bu tanıyı koymada ek bulgular sağlıyor	26 hasta
SAG bulguları başkaca bir tanıyı destekliyor	8 hasta

Hastalar ön tanılarına göre sınıflandırıldığında SAG' nin sayı olarak en fazla beyin malign neoplazmlarında konvansiyonel sekanslara ek bulgular sağladığı saptanmıştır. Yine oransal anlamda travma ve enfeksiyonlarda da anlamlı katkı sağlamaktadır. Konvansiyonel MR sekanslarında ve SAG' de bulgu olmayan ya da bulguların klinik ön tanıyı en fazla desteklemediği grup baş ağrısı, senkop, psikiyatrik bozukluklar ve konuşma gecikmesi gibi organik etyolojinin sorgulandığı hasta grubudur (Tablo-8).

Tablo-8: SAG' nin tanıyı desteklediği hasta grupları

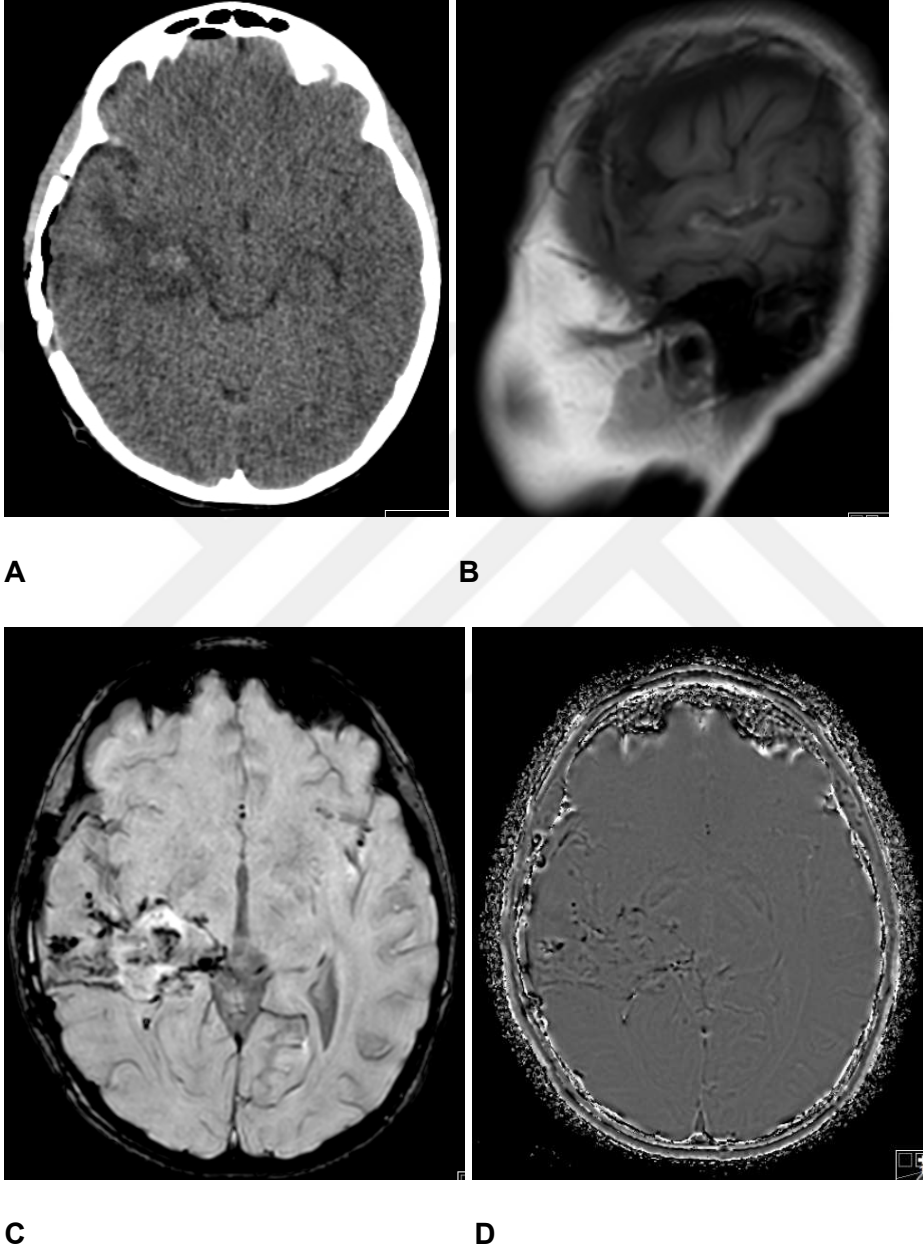
	Konvansiyonel sekanslarla ön tanı doğrulanıyor.	SAG ön tanının doğrulanmasında katkıda bulunuyor.	Bulgular ön tanıyı desteklemiyor ya da bulgu yok.
Vasküler patoloji	3	1	3
Kiyko	18	15	6
Organik etyoloji	1	0	18
Konjenital malformasyon-metabolik hastalık	10	3	3
Travma	4	4	0
Enfeksiyon	2	2	0

BT kalsifikasyonu tanımlamada gold standart olarak kullanılmıştır. SAG' de diyamanyetik odakları bulunan ve kalsifik odakları saptanmış hastaların en fazla 1 ay içerisinde elde olunan BT görüntüleri taranmıştır. Altmış sekiz hastanın BT görüntülerinde 143 tane kalsifikasyon odağı mevcuttur. SAG' de bu sayı 135' tir. Sekiz kalsifik odak SAG görüntülerde ayırt edilememiştir. Konvansiyonel sekanslarda bu odaklardan ancak 13 tanesi seçilebilmiştir.

SGA eklenmiş konvansiyonel sekansların kalsifikasyon saptamadaki etkinliği sadece konvansiyonel sekansların kalsifikasyon saptamadaki etkinliğinin karşılaştırılması için Ki-kare testi kullanılmıştır. P değeri 0,001 olarak bulunmuş ve anlamlı olduğu kanıtlanmıştır.

5.OLGU ÖRNEKLERİ

Olgu 1: 10 yaşında erkek hasta Aralık 2017 tarihinde glioblastome multiforme nedeniyle opere edilmiştir. Post-op BT ve BT' den 1 ay sonra elde edilen MRG görüntüleri.

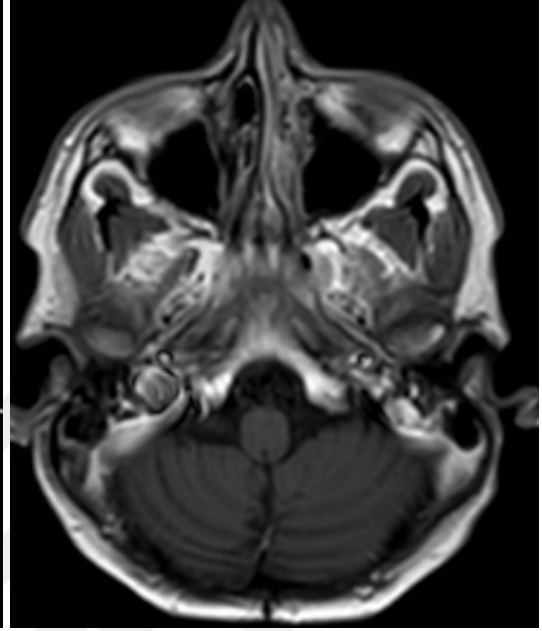


Resim-5: MR tetkikinden bir ay önce elde olunan BT(A)tetkikinde sağ temporal lobda ve bazal gangliyonlar düzeyinde birkaç hiperdens odak mevcuttur. Bir ay sonraki MT tetkikinde operasyon lojunda T1A görüntülerde (B) subakut kanama ürünlerine bağlı hiperintens odaklar izlenmektedir. SAG(C) ve faz(D) görüntülerde multipl sayıda milimetrik bazıları heterojen, hipointens kanama odakları mevcuttur.

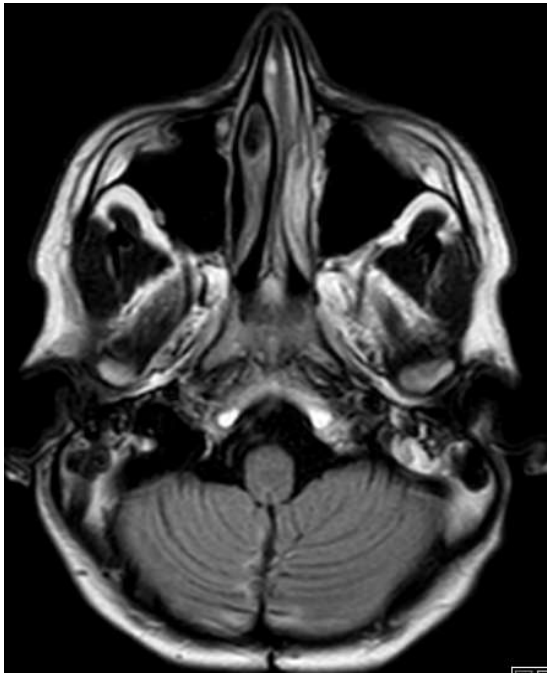
Olgu 2: Medulloblastom nedeniyle kasım 2013' de opere olan 17 yaşındaki erkek hastanın kontrol BT ve MRG görüntüleri.



A



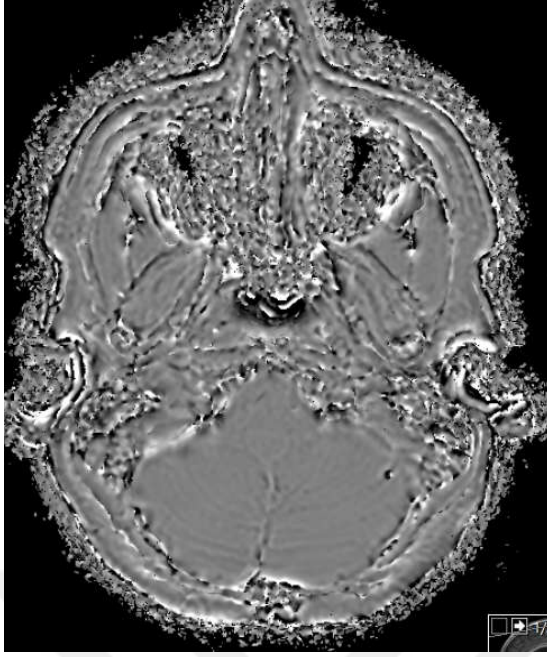
B



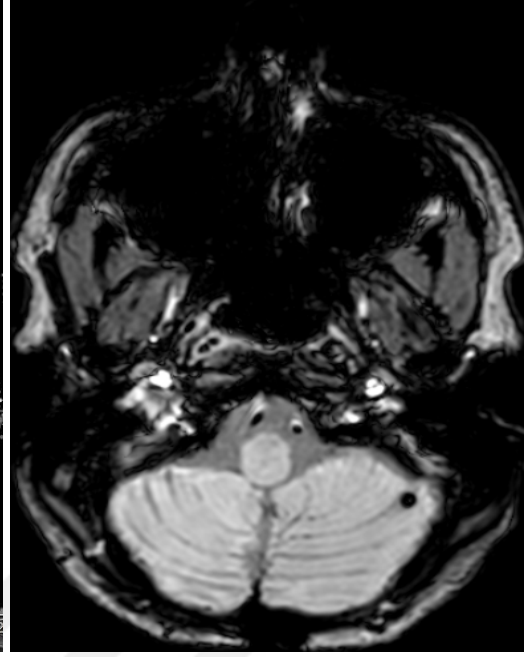
C



D



E



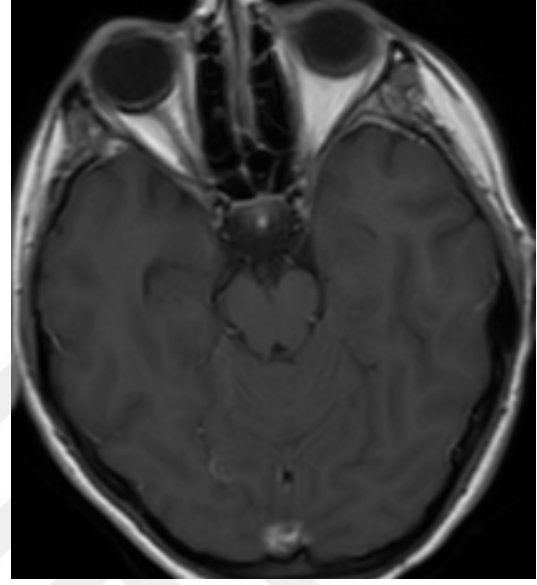
F

Resim-6: Olguya ait BT(A), T2A(B), FLAIR(C) ve T2A(D) görüntülerinde patolojik bulgu yoktur. Faz görüntülerinde(E) ve SA görüntülerde(F) sol serebellar hemisferde 4 mm çapında kanam ürünü içeren hipointens odak izlenmektedir.

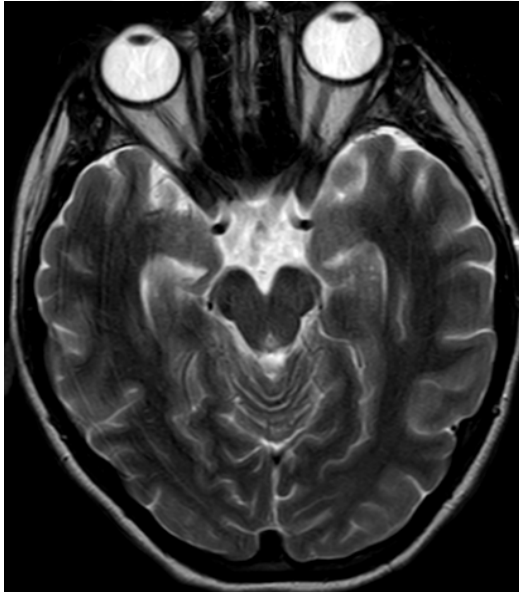
Olgu 3: 16 yaşında kız hasta, 1 ay önce geçirilmiş trafik kazası öyküsü mevcuttur. Acil servise ataksi ve konuşmada güçlük nedeniyle tekrar başvurmuştur. Acil servisteki BT ve 1 gün sonra elde olunan MR görüntüleri.



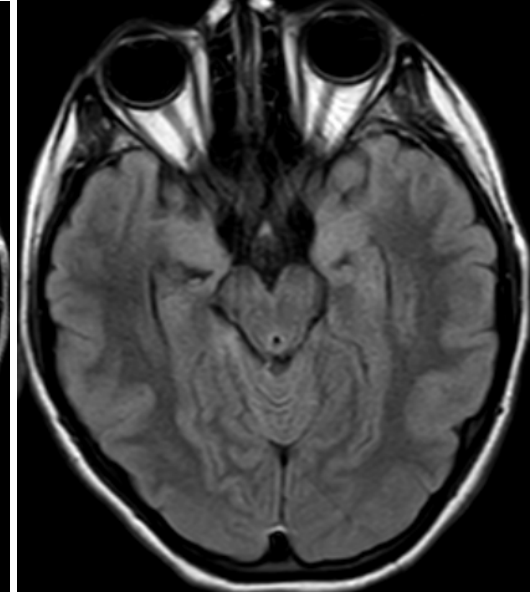
A



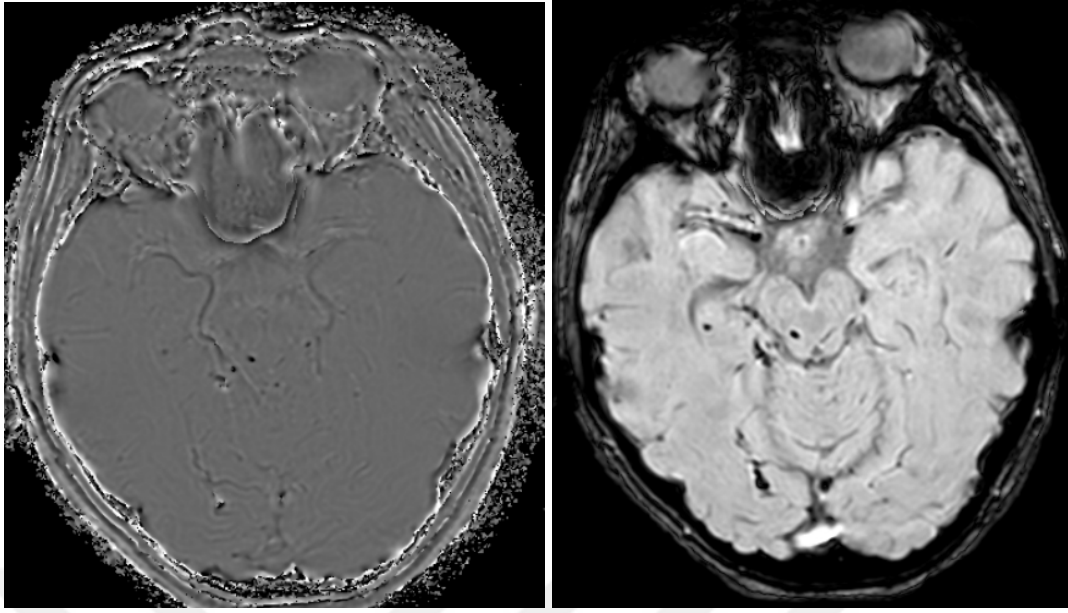
B



C



D

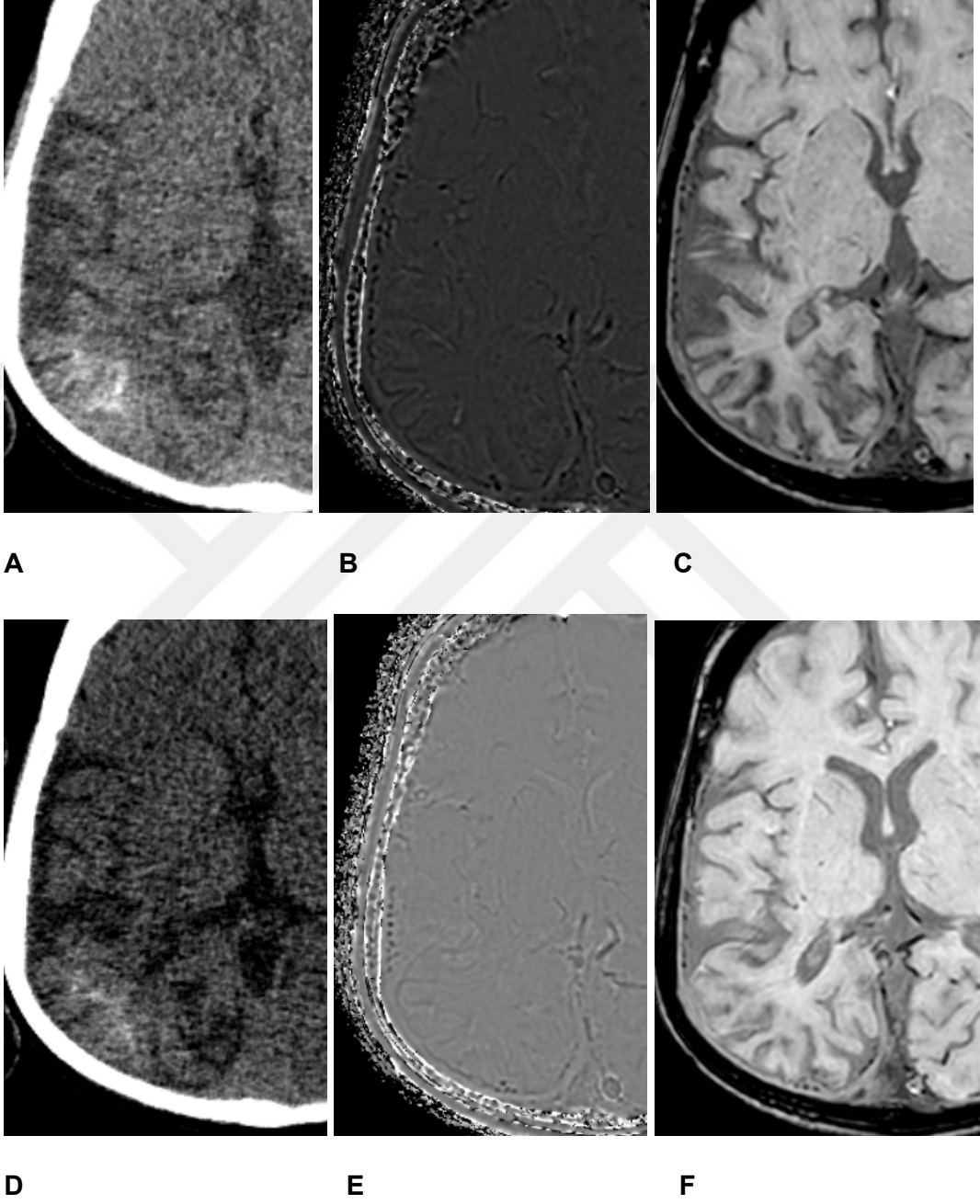


E

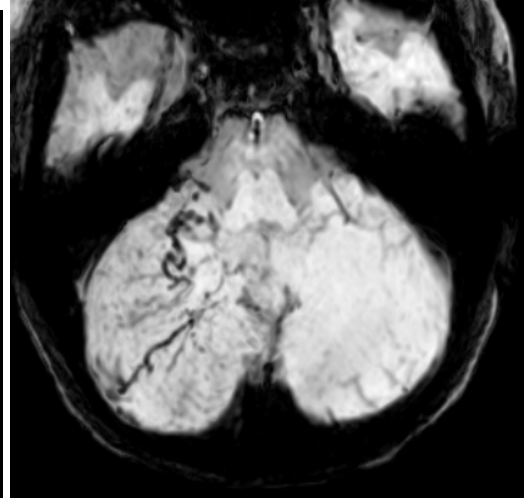
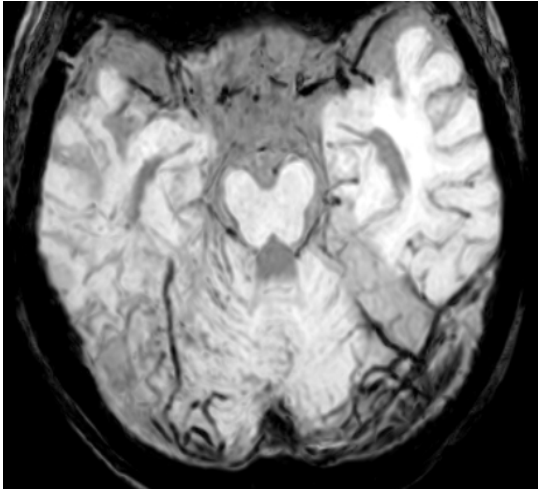
F

Resim-7: Hastaya ait BT(A) ve 1 gün sonra elde olunan MRG konvansiyonel sekanslarda (B,C,D) patolojik bulgu izlenmemektedir. Ancak faz(E) ve SA sekanslarda(F) sağ temporal, oksipital lobda ve mezensefalon sağ yarısında kanama ürünleri içeren hipointens, milimetrik çok sayıda odak izlenmektedir.

Olgu 4: Sturge-Weber tanılı 1 yaşında kız hastanın hemiparezi ve uykuya meyil şikayetiyle acil servise başvurmuştur. Hastanın acil serviste elde olunan BT ve 1 gün sonra elde olunan MR görüntüleri.



Resim-8: Hastanın BT incelemesinde(A) sağ oksipital lobda izlenen kalsifikasyon odaklarında sadece biri MR tetkikinde faz(B) ve SAG(C) sekansında seçilebiliyor. Öte yandan daha yukarıdan geçen kesitlerde ise BT(D) imajlarında izlenen kalsifikasyon odakları faz(E) ve SAG(F) sekanslarında seçilememektedir.

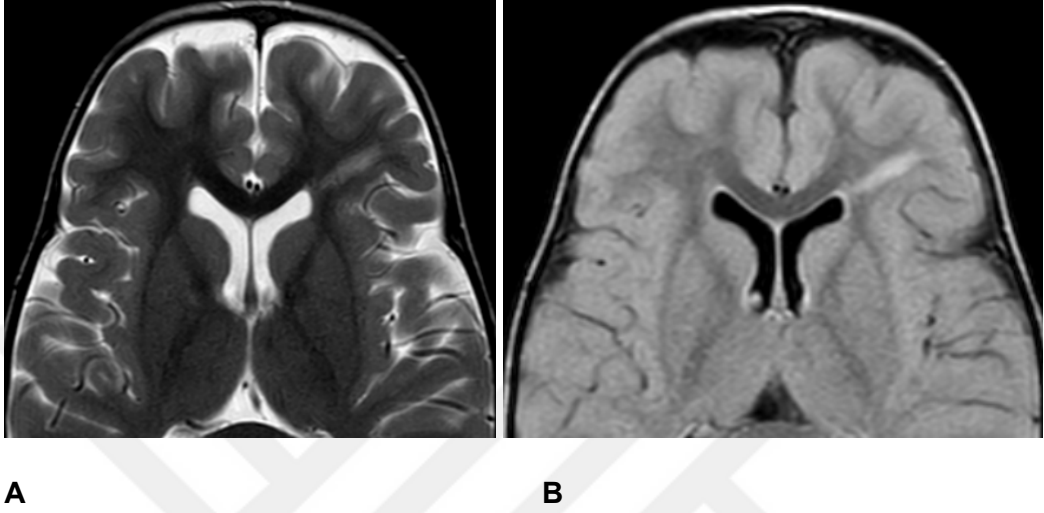


G

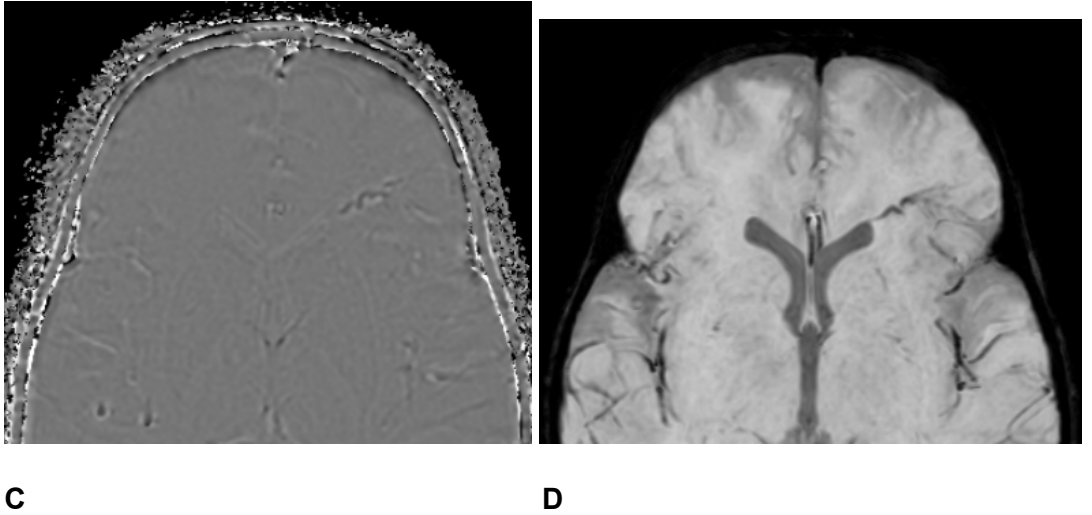
H

Resim-8 devam: Aynı olgunun mınIP görüntülerinde anormal, kollateral venöz yapılara ait genişlemiş, tortüvöz venler izlenmektedir.

Olgu 5: Dört yaşında erkek hasta makrosefali ve büyüme geriliği şikayeti ile başvurmuştur. Hastaya organik patolojiler açısından beyin MR tetkik elde olunmuştur.



Resim-9: Aynı düzeyden geçen T2A(A) ve FLAIR(B) imajlarda sol frontal lobda beyaz cevherde lineer uzanımlı sinyal artışı dikkati çekmiştir.



Resim-9 devam: Aynı düzeyden geçen faz(C) ve MIP(D) imajlarda bu lokalizasyonda gelişimsel venöz anomaliye ait vasküler yapı izlenmektedir.

6.TARTISMA

Günümüzde MR görüntülemesinin pediatrik intrakranial patolojilerdeki üstünlüğü aşikardır. Ancak tanı koymada önemli ipuçları sağlayan kalsifikasyonların saptanmasında BT daha net sonuçlar verir ve ulaşılması daha kolaydır. Spin eko görüntülemede, temel sekanslarda kalsifikasyonlar beyin parankimine göre izo ya da hipointens görünümde olup non-spesifik sinyal özellikleri taşırlar. Bazı kalsifikasyon odakları konsantrasyonun veya yüzey alanlarına göre T1A görüntülerde hiperintens görünüm özelliklerinde olabilir. Gradient eko görüntüler lokal manyetik alan farklılıklarına daha duyarlıdır. Ancak T2* görüntülerde izlenen sinyal kaybı kalsifikasyon için spesifik değildir ve bu dokulardaki paramanyetik iyonların oluşturduğu katkı dışlanamaz.

GRE faz imajları efektif magnetik alanda oluşan faz farklılıklarını göstermede yardımcı olabilir. Bu faz farklılıklarını yani dolayısıyla dipol alanların paramanyetik özellik taşıyan kanama ürünlerinde ve diyamanyetik özellik taşıyan kalsifikasyonlarda birbirinin tam tersi olması beklenir.

Yamada ve arkadaşların, intrakraniyal kalsifikasyonları GRE faz imajları üzerindeki diyamanyetik görünüm özelliklerini tanımlamak için yaptıkları çalışma faz imajların bu anlamda kullanılabileceğini düşündürmüştür. Yamada ve arkadaşları kalsifikasyonları lokalizasyonlarına göre sınıflamış ve bu kalsifikasyonları GRE faz görüntülerdeki görünüm özelliklerine göre değerlendirmiştir. Bazal gangliyonlar dışındaki kalsifikasyonlara yönelik yaptıkları bilgisayar temelli değerlendirme 86 odak değerlendirilmiş; 63 odak diyamanyetik, 3 odak paramanyetik, 1 odak heterojen ve diğer 9 odak ise net olarak bir faz kaymasına neden olmamıştır (18).

Bizim çalışmamızda kalsifikasyon odakları etyolojiye yönelik sınıflandırılmıştır. Bazal gangliyon kalsifikasyonları çalışmaya dahil edilmemiştir. Kalsifikasyon odakları (n:145); fizyolojik (n:87) ve patolojik(48) olarak ana iki sınıfa ayrıldığında filtreli faz görüntülerde fizyolojik grupta 66 (yaklaşık %75,9) sinyal homojen diyamanyetik özellikler göstermekteyken, 21 (yaklaşık %24,1) odak primer olarak diyamanyetik olup iç yapısında bir miktar heterojen odaklar barındırmaktaydı. Patolojik grupta ise 27 (yaklaşık %56,2) odak homojen diyamanyetik iken 21(yaklaşık %43,8) odak primer olarak diyamanyetiktir. Çalışmamızda hiçbir kalsifik odakta pür ya da çoğunluklu paramanyetik sinyal saptanmamıştır. Heterojen terimi çalışmamızda kullanılmamıştır.

Maskeli faz imajlarda odakların görünümü bazen homojen olmayıp karşıt sinyaller aynı anda odak içinde bulunabilir. Bunun nedeni aliasing artefaktı veya başka bir deyişle faz kaymasının yerinin belirlenmesindeki kusurlardan dolayıdır. Daha kısa eko zamanları ya da double eko zamanı kullanılarak bu artefakt azaltılabilir. Heterojen sinyal içeren odaklarda dominant olan odak belirlenmeli ya da kantitatif suseptibilite haritalaması kullanılmalıdır.

Gümüş ve arkadaşlarını yaptığı çalışmada 11 patolojik kalsifikasyon odağının 8'i homojen, 3'ü heterojen; 8 hemorajik ürün içeren odağın 5'i homojen ve 3'ü heterojen olarak görülmüştür (54).

Chen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada intrakraniyal kalsifikasyonlar ve hemorajik odaklar kantitatif suseptibilite haritalamaya karşı GRE faz görüntüleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada derin beyin nükleusları dışında lokalize 70 kalsifik odak değerlendirilmiştir. GRE faz görüntülerinde bu 70 kalsifik odaktan 32'i homojen, 32'i heterojen ve 6 tanesinde ise net olarak sinyal ayırt edilememiştir (55).

Bizim çalışmamızda 48 kalsifik odağın 27 tanesi homojen, 21 tanesi ise dominant olarak diyamanyetik sinyal özellikleri taşımaktaydı. Yaptıkları kantitatif suseptibilite haritalama(KSH) değerlendirilmesinde ise bu 70 odaktan 60' ı homojen diyamanyetik, 5'i primer diyamanyetik olup geri kalan 5 kalsifikasyon odağında belirgin sinyal değişikliği yoktur.

Bu çalışma ile karşılaştırıldığında bizim çalışmamızda patolojik kalsifikasyonların homojen sinyal özelliklerinde olması biraz daha fazladır. Ancak KSH'da kalsifik odakların homojen görünümde olması hem onların hem de bizim çalışmamıza göre GR eko faz görüntülerine göre daha yüksektir. KSH sinyalleri doğru yorumlamada ve tanıya pozitif katkı sağlamada daha başarılıdır.

Adams ve arkadaşlarını 2017 Kasım ayında yaptıkları meta-analize 12 klinik çalışma, 962 hasta ve 1.032 kalsifikasyon odağı dahil edilmiş. SAG için toplam sensitivite %86,5 (%95 güven aralığı %73,6 ve %93,7) ve standart MR görüntüleme için %36,7 (%95 güven aralığı %29,2 ve % 44,8)olarak tespit edilmiştir. SAG için toplam spesifite %90,8 (%95 güven aralığı %81 ve %95,8) ve standart MR

görüntüleme için %94,2 (%95 güven aralığı %88,9 ve % 96,7)olarak tespit edilmiştir (56).

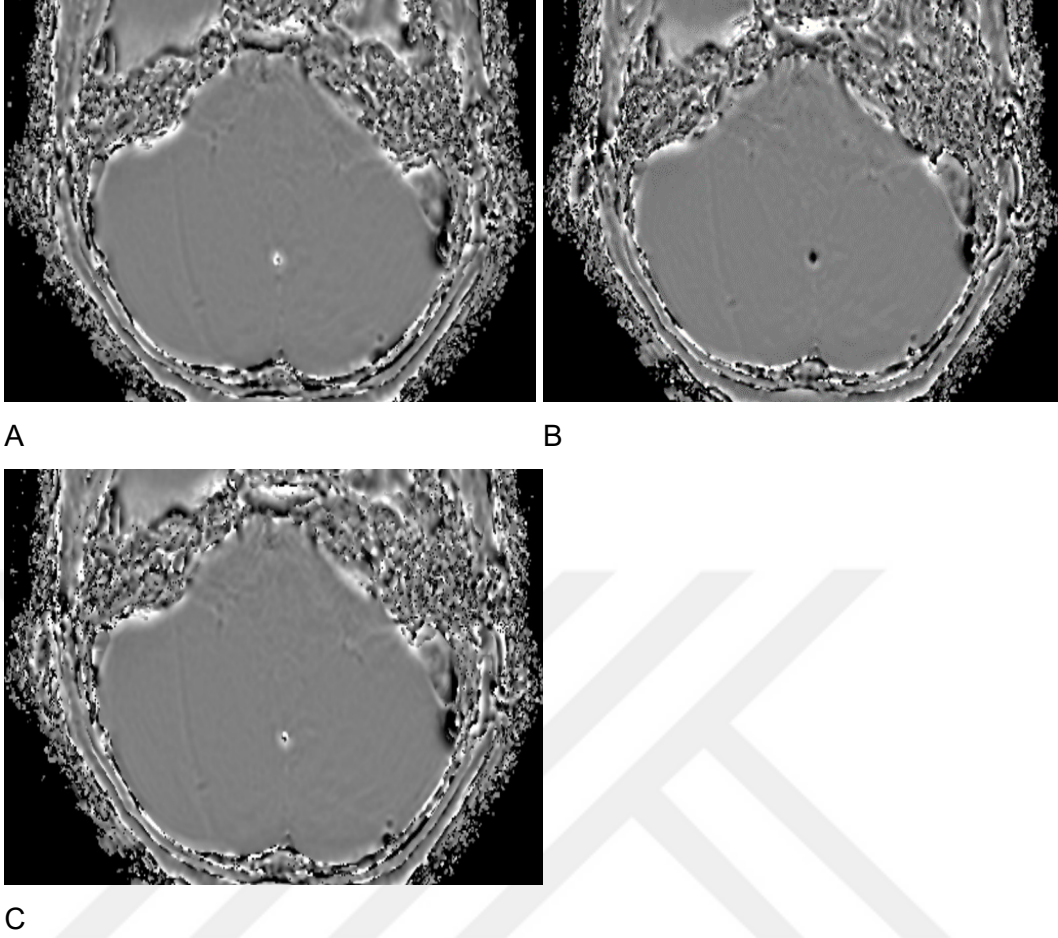
Bizim çalışmamızda SAG imajlarda kalsifik odakların% 94'ü, konvansiyonel sekanslarda ise %9'u tespit edilmiştir.

İntrakraniyal patolojilerde hemoraji ve kan yıkım ürünlerinin tespiti tanı, hasta yönetimi ve prognostik değerlendirmede değerli bilgiler verir. Travmada izlenen intrakraniyal görülen hemoraji gibi akut hadiselerden; glial tümörlerin evrelendirilmesine dek çok geniş bir yelpaze de hemoraji değerli bilgiler vermektedir. Hemorajiyi tespit eden birçok görüntüleme tekniği arasında T2* GR eko en güvenilir yöntem olarak düşünülmektedir. Ek olarak supratentoriyal, beyaz cevher yerleşimli küçük kanama odaklarını görüntülemesinde GR eko single-shot eko-planar görüntüleme GR eko görüntülerden daha sensitif olduğu Liang ve arkadaşlarını yaptığı çalışmada tespit edilmiştir (57).

Akter ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada 5 mm'den küçük kanama ürünleri içeren odakların görüntülenmesinde SGA, GR eko ve GR SS EPI yöntemi karşılaştırılmış. GRE sekansında 287, GRE SS EPI sekansında 303 ve SGA' de ise 419 odak saptanmıştır (58).

Tong ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada post-travmatik beyin hasarında saptanan odak sayıları SAG imajlarda, GR eko sekansına göre 4-6 kat daha fazladır (59).

Jung Lee ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bizim çalışmamıza benzer şekilde kanama ürünü içeren odakları 3 kategoriye ayırmışlardır. Çalışmamızla benzer ölçüm tekniğini kullanmışlardır. Onların çalışmasına benzer şekilde biz de bu çalışmada 3 mm ve ondan daha küçük odakların çoğunlukla homojen olduğunu gördük. Paramanyetik dipol etkisine bağlı üst ve alt kesitlerde karşıt sinyaller bizim çalışmamızda da izlendi (60)(Resim-10).



Resim-10: Posterior fossa düzeyinde izlenen kanama ürünleri içeren bir odakta dipol etkisi. Kanama odağı(B) hipointensken üst(A) ve alt (B) kesitlerde dipol etkisine bağlı artmış sinyal mevcuttur.

Chen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada boyut kategorizasyonu yapılmadan kanama ürünleri içeren odakların sinyal özellikleri KSH ve GR eko faz sekanslarında değerlendirilmiştir. Kantitatif suseptibilite haritalamada 62 odaktan 51'i(%82) homojen, 11'i(%18) primer paramanyetik sinyal özelliklerinde değerlendirilmiştir.

Gradient eko faz görüntülerinde ise 31 odak(%50) heterojen, 23 odak(%37) homojen ve 8 odak(%13) primer paramanyetik olarak değerlendirilmiştir (55).

Çalışmamızda çapı 3 mm'den küçük olan 76 odağın 55'i homojen paramanyetik, 22' si primer paramanyetik, 3-5 mm çapa sahip 37 odağın 5'i homojen, 32' si primer paramanyetik ve çapı 5 mm'den büyük olan 35 odağın ise 2'

si homojen 33'ü primer paramanyetik sinyal özelliklerindedir. Toplamda 149 odaktan 62' si (yaklaşık %42) homojen, 87'si (yaklaşık %58) ise primer paramanyetik sinyal özelliklerindedir.

Gelişimsel venöz anomaliler en sık serebral vasküler anomaliler olup prevalansı % 6,4 olarak tespit edilmiştir (61). Gelişimsel venöz anomaliler(GVA) normal serebral parankimi drene eden uç bir varyant olarak düşünülmektedir. GVA genellikle asemptomatik olup, olguların çoğu insidental olarak MR incelemelerinde tanı alırlar. GVA' nın görüntüleme bulguları daha net olarak kontrastlı MR tetkiklerinde tespit edilir. Multipl, kontrastlanan, dilate intamedüller venler ve bu venlerin yöneldiği daha büyük bir kollektör venden oluşan bu görüntüye caput medusa ismi de verilir. Bu kollektör venöz yapı büyük ihtimalle kortikal venlere drene olabileceği gibi az bir kısmı da derin venöz sisteme drene olmaktadır.

Gadolinium bazlı kontrast madde kullanılması GVA tanısını kolaylaştırır. Ancak gadoliniumun pediatrik beyinde biriktiği yönündeki artan endişeler ve nefrojenik sistemik fibrozis riski dolayısıyla kontrast madde bağımlı olmayan başkaca görüntüleme teknikleri aranmaktadır.

SAG' nin venöz deoksijenize kana ve ekstravasküler kanama ürünlerine olan sensitivitesi kanıtlanmıştır. SAG sekansında GVA içerdiği yavaş akımlı venlerdeli deoksijenize kan sayesinde tanımlanabilir. Bunun için birçok çalışma mevcuttur.

Young ve arkadaşlarının pediatrik hastalarda yaptıkları çalışmada kontrastlı T1A görüntülerde 57 hasta GVA tanısı almıştır. SAG' de ise bu hastalardan 49' una tanı konmuş olup sensitivite % 86 olarak tespit edilmiştir. T2A görüntülerde ise bu GVA' lardan sadece 12' sine tanı konabilmiş ve sensitivitesi %28,1 olarak belirtilmiştir (61).

Çalışmamızda ise GVA tanısı almış 5 hastadan sadece birinin kontrastlı MR tetkiki yoktur. Diğer 4 hastada SAG sekansında tanı konulan DVA, kontrastlı T1A imajlarda konfirme edilmiştir. Bu 5 hastadan sadece birinin konvansiyonel sekanslarda GVA net olarak seçilebilmekteydi. Çalışmamız 1,5T MR cihazında elde olunan SAG sekansı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup literatürde yüksek teslali cihazlar ile elde olunan SAG sekansında daha fazla vasküler anomali tespit edilebilmiştir.

Frischer ve arkadaşlarını yaptığı çalışmada 24 hastada saptanan kavernöz anjiomlar ve ilişkili gelişimsel venöz anomaliler değerlendirilmiştir. Hastaların hem 3T hem de 7T MR sistemlerinde SA görüntüleri elde edilmiştir. Kavernöz anjiyomların hem sayısı hem de boyutu 7T MR cihazında daha fazla bulunmuştur. Kavernöz anjiyomlarla ilişkili GVA' lar değerlendirildiğinde ise konvansiyonel sekanslarda bulgu yoktur. Ancak 3T sistemde 3 hasta ve 7T sistemde ise ilave olarak 5 hasta daha gelişimsel venöz malformasyon tanısı almıştır (62).

Çalışmamızın bazı limitasyonları bulunmaktadır. İncelemeler 1,5 T MR cihazı ile yapılmıştır. Literatürde de bilindiği gibi artan manyetik alan gücü ile suseptibilite miktarı da artmaktadır.

Hastaların klinik ve ön tanı sınıflarındaki dağılımları düzenli değildir. Örneğin enfeksiyon ve travma grubunda hasta sayımız azdı. Bu hasta gruplarında SAG' nin yararını daha iyi tespiti için daha geniş bir popülasyon ile çalışma yapılması uygun olabilir.

SAG' de izlenen anormal sinyallerin sayılması ve boyutlarının ölçülmesi temel parametremiz olmasına karşın birleşme eğiliminde ve konglomere sinyallerin sayılmasında güçlükler yaşanmıştır. Ancak Chen ve arkadaşlarını yaptığı çalışmada da benzer ölçüm teknikleri kullanılmıştır.

Hemorajik odakların değerlendirilmesinde gold standart tekniğimiz yoktur. Bundan dolayı bu kısımda sonuçlar tanımlayıcı istatistik parametreleri ile değerlendirilmiştir.

Değerlendirmeler tek gözlemci tarafından gerçekleştirilmiştir. Gözlemciler arası korelasyon değerlendirilememiştir.

7.SONUÇ

Çalışmamızda son yıllarda pediatrik nöroradyolojide yeni ancak temel bir MR sekansı olarak karşımıza çıkan SAG sekansının konvansiyonel sekanslara eklenmesinin kalsifikasyon, kanama ürünü içeren odaklara ve anormal venöz yapıları göstermedeki etkinliğini araştırdık.

İyonizan radyasyon içeren BT' nin pediatrik popülasyon üzerine olası riskleri nedeniyle radyasyon içermeyen bir yöntem olan MR incelemelerinde kalsifik odakların anlamlı oranda saptanılabilirliği gösterilmiştir. Kalsifiye odakların görüntülenmesinde konvansiyonel sekanslara olan üstünlüğü de istatistiksel olarak anlamlı saptanmış olup sonuçlar literatüre benzerdir.

SAG sekansında kanama ürünleri içeren odaklarının sayısı, konvansiyonel sekanslara göre anlamlı oranda fazladır. Bu odakların doğası gereği heterojen olabileceği ve bazı artektlar içerebileceği saptanmış bunların odak boyutu ile ilişkisi literatüre benzer oranlarda bulunmuştur.

Gadolinyum bazlı kontrast madde kullanımına gerek duyulmadığı için kontrast madde ilişkili antiteler söz konusu olmadan, venöz anomalilerin teşhisinde önemli bir tanı aracı haline gelmiştir. Konvansiyonel sekanslara göre etkinliği literatürde ve çalışmamızda gösterilmiştir.

8.KAYNAKLAR

1. Kidwell CS, Chalela JA, Saver JL, et al. Comparison of MRI and CT for detection of acute intracerebral hemorrhage. JAMA 2004;292(15):1823–1830.
2. Sarmiento de la Iglesia MM, Lecumberri Cortés G, Lecumberri Cortés I, Oleaga Zufiria L, Isusi Fontan M, Grande Icaran D. Intracranial calcifications on MRI. Radiologia 2006;48(1):19–26.
3. Gupta D, Saini J, Kesavadas C, et al. Utility of susceptibilityweighted MRI in differentiating Parkinson's disease and atypical parkinsonism. Neuroradiology. 2010;52:1087–94.
4. Berberat J, Grobholz R, Boxheimer L, et al. Differentiation between calcification and hemorrhage in brain tumors using susceptibility weighted imaging: a pilot study. AJR Am J Roentgenol. 2014;202:847–50.
5. Eriksson S. A study of susceptibility-weighted MRI including a comparison of two different implementations; Master of Science Dissertation:Department of Medical Radiation Physics, Clinical Sciences, Lund Lund University, Lund Sweden, spring 2011
6. Vural A; Akut iskemik inmede manyetik duyarlılık ağırlıklı görüntüleme (susceptibility weighted imaging, swi) bulgularının, diğer klinik ve görüntüleme bulgularıyla ilişkisinin incelenmesi; UZMANLIK TEZİ /2013/ Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi/ Nöroloji Anabilim Dalı
7. Rauscher A, Sedlacik J, Barth M et al. Noninvasive Assessment of Vascular Architecture and Function during Modulated Blood Oxygenation Using Susceptibility Weighted Magnetic Resonance Imaging; Magn Reson Med. 2005 Jul;54(1):87-95
8. Haacke EM. Susceptibility Weighted Imaging brochure; Opening new doors to clinical applications of magnetic resonance imaging, 5th edition (2006)
9. Schenck JF. The role of magnetic susceptibility in magnetic resonance imaging: MRI magnetic compatibility of the first and second kinds. Med Phys. 1996;23:815-50.
10. Haacke EM, Mittal S, Wu Z, et al. Susceptibility-weighted imaging:technical aspects and clinical applications, part 1. AJNR Am J Neuroradiol. 2009;30:19–30.

11. Carlsson A. Susceptibility effects in MRI and ¹H MRS Thespurious echo artifact and susceptibility measurements; Master of Science Dissertation /2007/ Department of Radiation Physics, Göteborg University.
12. Plewes DB, Kucharczyk W. Physics of MRI: a primer. J Magn Reson Imaging. 2012;35:1038-54.
13. Hood MN, Ho VB, Smirniotopoulos JG, Szumowski J. Chemical shift: the artifact and clinical tool revisited. Radiographics. 1999;19:357-71.
14. Gasparotti R, Pinelli L, Liserre R. New MR sequences in daily practice: SWI. A pictorial essay; Insights Imaging (2011) 2:335–347
15. Barbosa JHO, Santos AC, Salmon CEG. Susceptibility weighted imaging: differentiating between calcification and hemosiderin. Radiol Bras. 2015 Mar/Abr;48(2):93–100.
16. Robinson RJ, Bhuta S. ; Susceptibility- Weighted Imaging of the brain: Current utility and potential applications ; J Neuroimaging. 2011 Oct;21(4):e189-204.
17. Thomas B, Somasundaram S, Thamburaj K, Kesavadas C, Gupta AK, Bodhey NK, ;Clinical applications of susceptibility weighted MR imaging of the brain – a pictorial review. ; Neuroradiology. 2008 Feb;50(2):105-16.
18. Yamada N, Imakita S, Sakuma T, Takamiya M. Intracranial calcification on gradient-echo phase image: depiction of diamagnetic susceptibility. Radiology 1996;198(1):171–178.
19. Chavhan GB, Babyn PS, Thomas B, Shroff MM, Haacke EM. Principles, techniques, and applications of T2*-based MR imaging and its special applications. Radiographics. 2009;29:1433-49.
20. Özduman K, Yıldız E, Dinçer A, Sav A, Pamir MN: Using intraoperative dynamic contrast-enhanced T1-weighted MRI to identify residual tumor in glioblastoma surgery: J Neurosurg.2014 Jan;120(1):60-6.
21. Liu C, Li W, Tong KA, Yeom KW, Kuzminski S. Susceptibility-weighted imaging and quantitative susceptibility mapping in the brain. J Magn Reson Imaging. 2015 Jul;42(1):23-41.

22. Abdul-Rahman HS, Gdeisat MA, Burton DR, Lalor MJ, Lilley F, Moore CJ. Fast and robust three-dimensional best path phase unwrapping algorithm. *Appl Opt* 2007;46:6623–6635.
23. Jenkinson M. Fast, automated, N-dimensional phase-unwrapping algorithm. *Magn Reson Med* 2003;49:193–197.
24. Haacke EM, Xu Y, Cheng YC, Reichenbach JR. Susceptibility weighted imaging (SWI). *Magn Reson Med*. 2004;52:612-8.
25. Xu Y, Haacke EM. The role of voxel aspect ratio in determining apparent vascular phase behavior in susceptibility weighted imaging. *Magn Reson Imaging*. 2006;24:155-60.
26. Aydın Ö. Glial Tümörlerin Susceptibility Weighted Imaging (SWI) Tekniği Kullanılarak Gradelendirilmesi, Perfüzyon MR ve Patolojik Grade ile Karşılaştırılması; Uzmanlık Tezi /2014/ Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi/ Radyoloji Anabilim Dalı
27. Park MJ, Kim HS, Jahng GH, et al. Semiquantitative assessment of intratumoral susceptibility signals using non-contrast-enhanced high-field high-resolution susceptibility-weighted imaging in patients with gliomas: comparison with MR perfusion imaging. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2009;30:1402-8.
28. Hori M, Mori H, Aoki S, et al. Three-dimensional susceptibility-weighted imaging at 3 T using various image analysis methods in the estimation of grading intracranial gliomas. *Magn Reson Imaging*. 2010;28:594-8.
29. Noebauer-Huhmann IM, Pinker K, Barth M, et al. Contrast-enhanced, high-resolution, susceptibility-weighted magnetic resonance imaging of the brain: dose-dependent optimization at 3 tesla and 1.5 tesla in healthy volunteers. *Invest Radiol*. 2006;41:249-55.
30. Smirniotopoulos JG, Murphy FM, Rushing EJ, Rees JH, Schroeder JW. Patterns of contrast enhancement in the brain and meninges. *Radiographics*. 2007;27:525-51
31. Bosemani T, Poretti A, Huisman TA. SusceptibilityWeighted imaging in pediatric neuroimaging. *J Magn Reson Imaging*. 2014 Sep;40(3):530-44.

32. Al-Holou WN, O'Lynnner TM, Pandey AS, et al. Natural history and imaging prevalence of cavernous malformations in children and young adults. *J Neurosurg Pediatr* 2012;9:198–205.
33. Lee BC, 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.
34. Jagadeesan BD, Cross DT III, Delgado Almandoz JE, et al. Susceptibility-weighted imaging: a new tool in the diagnosis and evaluation of abnormalities of the vein of Galen in children. *AJNR Am J Neuroradiol* 2012;33:1747–1751.
35. 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;42:87–92.
36. Altinok D, Agarwal A, Ascadi G, Luat A, Tapos D. Pediatric hemiplegic migraine: susceptibility weighted and MR perfusion imaging abnormality. *Pediatr Radiol* 2010;40:1958–1961.
37. Kumar G, Topper L, Maytal J. Familial hemiplegic migraine with prolonged aura and multimodality imaging: a case report. *Headache* 2009;49:139–142.
38. Idbaih A, Boukobza M, Crassard I, Porcher R, Bousser MG, Chabriat H. MRI of clot in cerebral venous thrombosis: high diagnostic value of susceptibility-weighted images. *Stroke* 2006;37:991–995.
39. Kitamura G, Kido D, Wycliffe N, Jacobson JP, Oyoyo U, Ashwal S. Hypoxic-ischemic injury: utility of susceptibility-weighted imaging. *Pediatr Neurol* 2011;45:220–224.
40. Messina SA, Poretti A, Tekes A, Robertson C, Johnston MV, Huisman TAGM. Early predictive value of susceptibility weighted imaging (SWI) in pediatric hypoxic-ischemic injury. *J Neuroimaging*
41. Nickerson JP, Tong KA, Raghavan R. Imaging cerebral malaria with a susceptibility-weighted MR sequence. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30:e85–e86.

42. Lobel U, Sedlacik J, Sabin ND, et al. Three-dimensional susceptibility-weighted imaging and two-dimensional T2*- weighted gradient-echo imaging of intratumoral hemorrhages in pediatric diffuse intrinsic pontine glioma. *Neuroradiology* 2010; 52:1167–1177.
43. Lou X, Ma L, Wang FL, et al. Susceptibility-weighted imaging in the diagnosis of early basal ganglia germinoma. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30:1694–1699.
44. Vossough A, Ziai P, Chatzkel JA. Red nucleus degeneration in hypertrophic olivary degeneration after pediatric posterior fossa tumor resection: use of susceptibility-weighted imaging (SWI). *Pediatr Radiol* 2012;42:481–485.
45. Schipper HM. Neurodegeneration with brain iron accumulation -clinical syndromes and neuroimaging. *Biochim Biophys Acta* 2012;1822:350–360.
46. Uggetti C, La Piana R, Orcesi S, Egitto MG, Crow YJ, Fazzi E. Aicardi-Goutieres syndrome: neuroradiologic findings and followup. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30:1971–1976.
47. Kau T, Taschwer M, Deutschmann H, Schonfelder M, Weber JR, Hausegger KA. The "central vein sign": is there a place for susceptibility weighted imaging in possible multiple sclerosis? *Eur Radiol* 2013;23:1956–1962.
48. Rumzan R, Wang JJ, Zeng C, et al. Iron deposition in the precentral grey matter in patients with multiple sclerosis: a quantitative study using susceptibility-weighted imaging. *Eur J Radiol* 2013; 82:e95–e99.
49. Li CQ, Imbesi SG, Lee RR, Haacke EM et al. Potential Pitfalls When Differentiating Hemorrhage and Calcium on Susceptibility-Weighted Images, *Neurographics* 2016 May/June; 6(3):123–126.
50. Schenck JF. The role of magnetic susceptibility in magnetic resonance imaging: MRI magnetic compatibility of the first and second kinds. *Med Phys* 1996;23:815–826. doi: 10.1118/1.597854
51. Bosemani T, Verschuuren SI, Poretti A, Huisman TA. Pitfalls in susceptibility-weighted imaging of the pediatric brain. *J Neuroimaging*. 2014 May-Jun;24(3):221–5. doi: 10.1111/jon.12051. Epub 2013 Sep 9.

52. Sedlacik J, Loebel U, Kocak M, et al. Attenuation of cerebral venous contrast in susceptibility-weighted imaging of spontaneously breathing pediatric patients sedated with propofol. *AJNR Am J Neuroradiol* 2010;31:901-906.
53. Lunt MJ, Ragab S, Birch AA, et al. Comparison of caffeine-induced changes in cerebral blood flow and middle cerebral artery blood velocity shows that caffeine reduces middle cerebral artery diameter. *Physiol Meas* 2004;25(2):467-474.
54. Gumus K, Koc G, Doganay S, Gorkem SB, Dogan MS, Canpolat M, Coskun A, Bilgen M. Susceptibility-Based Differentiation of Intracranial Calcification and Hemorrhage in Pediatric Patients. *J Child Neurol*. 2015 Jul;30(8):1029-36.
55. Chen W, Zhu W, Kovanlikaya I, Kovanlikaya A, Liu T, Wang S, Salustri C, Wang Y. Intracranial calcifications and hemorrhages: characterization with quantitative susceptibility mapping. *Radiology*. 2014 Feb;270(2):496-505.
56. Adams LC, Bressemer K, Böker SM, Bender YY, Nörenberg D, Hamm B, Makowski MR. Diagnostic performance of susceptibility-weighted magnetic resonance imaging for the detection of calcifications: A systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*. 2017 Nov 14;7(1):15506.
57. Liang L, Korogi Y, Sugahara T, et al. Detection of intracranial hemorrhage with susceptibility-weighted MR sequences. *AJNR Am J Neuroradiol* 1999; 20:1527-534.
58. Akter M, Hirai T, Hiai Y et al (2007) Detection of hemorrhagic hypointense foci in the brain on susceptibility-weighted imaging clinical and phantom studies. *Acad Radiol* 14:1011–1019
59. Tong KA, Ashwal S, Holshouser BA, et al. Hemorrhagic shearing lesions in children and adolescents with post traumatic diffuse axonal injury: Improved detection and initial results. *Radiology* 2003; 227:332–339.
60. Lee YJ, Lee S, Jang J et al. Findings Regarding an Intracranial Hemorrhage on the Phase Image of a Susceptibility-Weighted Image (SWI), According to the Stage, Location, and Size. *Investig Magn Reson Imaging*. 2015 Jun;19(2):107-113.
61. Young A, Poretti A, Bosemani T, Goel R, Huisman TAGM. Sensitivity of susceptibility-weighted imaging in detecting developmental venous anomalies and

associated cavernomas and microhemorrhages in children. *Neuroradiology*. 2017 Aug;59(8):797-802.

62. Frischer JM, God S, Gruber A, Saringer W, Grabner G, Gatterbauer B, Kitz K, Holzer S, Kronnerwetter C, Hainfellner JA, Knosp E, Trattnig S (2012) Susceptibility-weighted imaging at 7 T: improved diagnosis of cerebral cavernous malformations and associated developmental venous anomalies. *NeuroimageClin* 1:116–120

