

Servikal MRG'de aksiyel düzlemde üç boyutlu turbo spin eko, gradyent eko ve steady-state sekansların karşılaştırılması

Kamran Mahmutyazıcıoğlu, Hüseyin Özdemir, Ahmet Savranlar, Tülay Özer, Oktay Erdem, Zühal Erdem, Sadi Gündoğdu

AMAÇ

Bu çalışmanın amacı, aksiyel düzlemde uygulanan farklı üç boyutlu sekanslarda servikal spondilozda etkilenen anatomik yapıların seçilebilirliğini araştırmak ve bu sekansların görüntü kalitelerini karşılaştırmaktır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Yirmi sağlıklı kişide 1.5 T MRG cihazı ile dört farklı sekans karşılaştırıldı: Bunlar, yağ baskılamasız T2A-üç boyutlu turbo spin eko, yağ baskılamalı T2A-üç boyutlu turbo spin eko, üç boyutlu FFE-MTC ve dengeli FFE sekanslarıdır. Spinal kord sinyal-gürültü oranı, beyin omurilik sıvısı sinyal-gürültü oranı ve kord-beyin omurilik sıvısı kontrast-gürültü oranı kantitatif olarak; nöral foramen, sinir kökü, unsinat çıkıntı ve ligamentum flavanın seçilebilirliği 5 puanlık skala üzerinden (0: minimum, 4: maksimum) kalitatif olarak değerlendirildi. Artefakt varlığı ve toplam görüntü kalitesi 4 puanlık skala üzerinden (0: minimum, 3: maksimum) değerlendirildi.

BULGULAR

Kantitatif üç değerlendirmenin hepsinde dengeli FFE en üstün sekans idi. Kalitatif değerlendirmede unsinat proses için yağ baskılamasız T2A üç boyutlu turbo spin eko diğer üçünden üstün idi ($p < 0.01$). Ligamentum flava için yağ baskılamasız T2A üç boyutlu turbo spin eko ve dengeli FFE diğer ikisinden üstün idi ($p < 0.01$). Nöral foramen ayrıntısında dengeli FFE en düşük puanı almıştı (3 puan); diğer üçü arasında anlamlı fark yoktu (3.2-3.5 puan). En çok artefakt üç boyutlu FFE-MTC sekansında vardı. Toplam görüntü kalitesinde en üstün sekans yağ baskılamasız T2A üç boyutlu turbo spin eko olup ikinci sırada dengeli FFE sekans vardı.

SONUÇ

Servikal spinal MRG incelemede üç boyutlu-FFE-MTC sekans (gradyent eko) sıklıkla tercih edilmektedir. Ancak bu çalışmada servikal spondilozda etkilenen yapıların kantitatif ve kalitatif değerlendirilmesinde sırasıyla yağ baskılamasız T2A üç boyutlu turbo spin eko ve dengeli FFE sekansların daha üstün olduğu ortaya kondu.

Servikal spinal sistem manyetik rezonans görüntüleme (MRG) hangi sekansın kullanılacağı konusunda tartışma devam etmektedir. Spin eko (SE), turbo spin eko (TSE), gradyent eko sekanslar iki boyutlu (2B) veya üç boyutlu (3B); manyetizasyon transfer puls eklenmiş (MT+) veya eklenmemiş (MT-) sekansların her biri farklı araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Üç boyutlu tekniklerin 2B yöntemlere göre en önemli avantajı, ince ve aralıksız kesitlerle tarama olanağı vermesi ve her üç aksta da reformat yapılabilmesidir. Bu çalışmanın amacı, aksiyel düzlemde uygulanan farklı 3B sekanslarda servikal spondilozda etkilenen anatomik yapıların seçilebilirliğini araştırmak ve bu sekansların görüntü kalitelerini karşılaştırmaktır.

Gereç ve yöntem

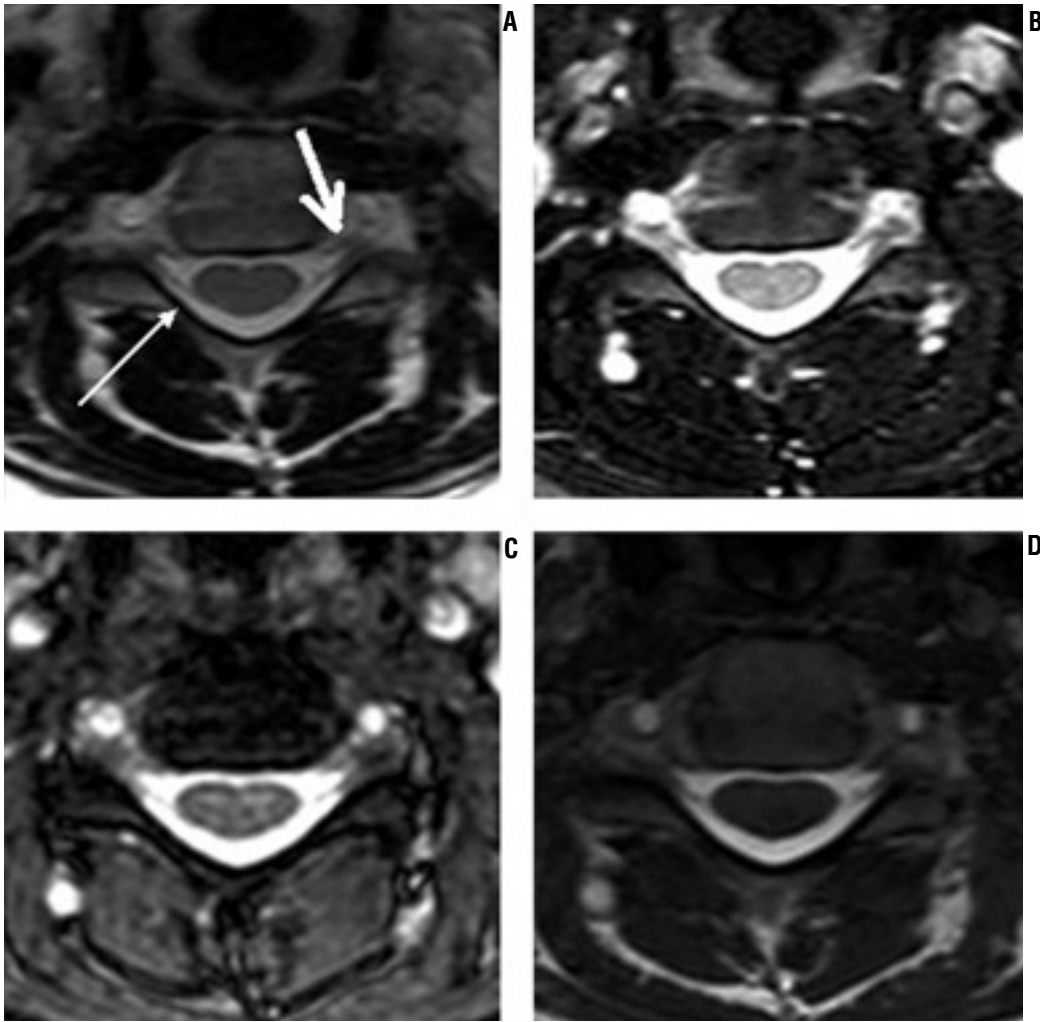
Bu çalışmada nörolojik muayene bulgusu normal onu erkek, onu kadın 20 sağlıklı kişi (18-52 yaş, ortalama 38). MRG incelemeleri 1.5 T MR (Philips, Gyroscan Intera, Best, Hollanda) cihazında dört kanallı faz dizimli spinal sargı ile yapıldı. Deneklere önce T2A/TSE ve T1A/TSE sekanslarda sagittal inceleme yapıldı. Ardından T2A-3B-TSE (yağ supresyon -), T2A-3B-TSE (yağ supresyon +), 3B-FFE-MTC (3B-gradyent eko, MT+) ve dengeli-FFE (d-FFE) sekans olmak üzere dört farklı sekans aksiyel düzlemde inceleme yapıldı. Yağ supresyonu (YS) için "spectral presaturation inversion recovery" puls sekansı (SPIR) kullanıldı. MT etkisi oluşturmak için 180 Hz dalga boyunda, 90° açıda, su molekülünün 1.2 kHz altındaki bir frekansta "off-resonance" puls uygulandı. Her bir sekansda kullanılan parametreler Tablo 1'de gösterilmektedir. Bu parametreler MRG cihazında hazır bulunan parametrelerdi. Kesit kalınlığı 3 mm, geri adım -1.5 mm ayarlandı (efektif kesit kalınlığı 1.5 mm). Matriks 256-314 x 256 idi. MRG ünitesinin rutin yükü yoğun olduğundan ve çalışmanın asıl amacı inceleme alanına giren anatomik yapıların değerlendirilmesi olduğundan inceleme sürelerini daha fazla uzatmamak için toplam kesit sayısı 32'ye ayarlandı. Kesitler deneklerin yarısında C3-C6 aralığından, diğer yarısında C5-T1 aralığından alınmıştır.

Kantitatif olarak spinal kord sinyal gürültü oranı (SNR), beyin omurilik sıvısı (BOS) SNR ve spinal kord-BOS kontrast gürültü oranı (CNR) çalışıldı. SNR ve CNR aşağıdaki formüllere göre hesaplandı:

- 1) $SNR = \frac{SI_{doku}}{gürültü_{hava}}$ (SI_{doku} : ilgili dokunun sinyal intensitesi)
- 2) $CNR = \frac{SI_{doku1} - SI_{doku2}}{gürültü_{hava}}$

K. Mahmutyazıcıoğlu (✉), H. Özdemir, A. Savranlar, T. Özer, O. Erdem, Z. Erdem, S. Gündoğdu
Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Zonguldak

Gelişi: 23.12.2002 / Kabulü: 13.11.2003



Resim 1. Aksiyel düzlemde T2A-3B-TSE/YS(-) (A), T2A-3B-TSE/YS(+) (B), 3B-FFE-MTC (C) ve d-FFE (D) sekanslarda C4-5 nöral foramen düzeyinde servikal vertebra yapılarının görünümü. Pencere ayarları nedeniyle T2A-3B-TSE/YS(+) ve 3B-FFE-MTC sekanslarda yüksek BOS ve spinal kord sinyali seçilmektedir. Ancak myelografik etki d-FFE sekansda en belirgin, T2A-3B-TSE/YS(-) en zayıftır. Nöral foramenlerde sinir kökü çevre yapılar arasında tüm sekanslarda iyi derecede kontrast varlığına karşın en yüksek kontrast T2A-3B-TSE (YS +) sekansda izlenmektedir (*kalin ok*). Ligamentum flavum en iyi T2A-3B-TSE/YS(-) sekansda izlenmektedir (*ince ok*).

Gürültü ölçümlerinde hava sinyalinin standart sapması kullanıldı. Hava için 0.1 cm² civarı, diğer dokular için 0.1 cm²'den küçük yuvarlak veya eliptik ROI ("region of interest") kullanıldı. Kalitatif olarak nöral foramen, sinir kökü, unsinat çıkıntı ve ligamentum flavanın seçilebilirliği; artefakt kalitesi ve genel görüntü kalitesi değerlendirildi. Anatomik yapılar ve genel görüntü kalitesi için 0-4 arası puanlar (0= çok düşük kalite, 4= maksimum kalite) ; artefaktlar için 0-3 arası puanların (0= artefakt yok, 3= nöral foramen veya spinal kanal seçilebilirliğinin tamamen kaybolması) kullanıldığı skalalar kullanıldı. Genel görüntü kalitesinde tüm anatomik yapıların genel seçilebilirliğini etkileyen SNR, CNR ve sinyal homojenitesi gibi görüntü kalitesini etkileyen faktörler ka-

litatif olarak değerlendirildi. Her denekte sadece intervertebral nöral foramen ve disk düzeylerinde, subjektif kalite sorusuna hedef olan yapının en iyi seçildiği kesitlerden değerlendirmeler yapıldı. Her denekte toplam 3 disk düzeyinden kesitler geçtiği için, 20 denekte toplam 60 disk düzeyi incelenmiş oldu. Dört sekans için toplam 240 disk düzeyi değerlendirildi. Kantitatif ölçümler de benzer şekilde intervertebral disk düzeylerinden ya-

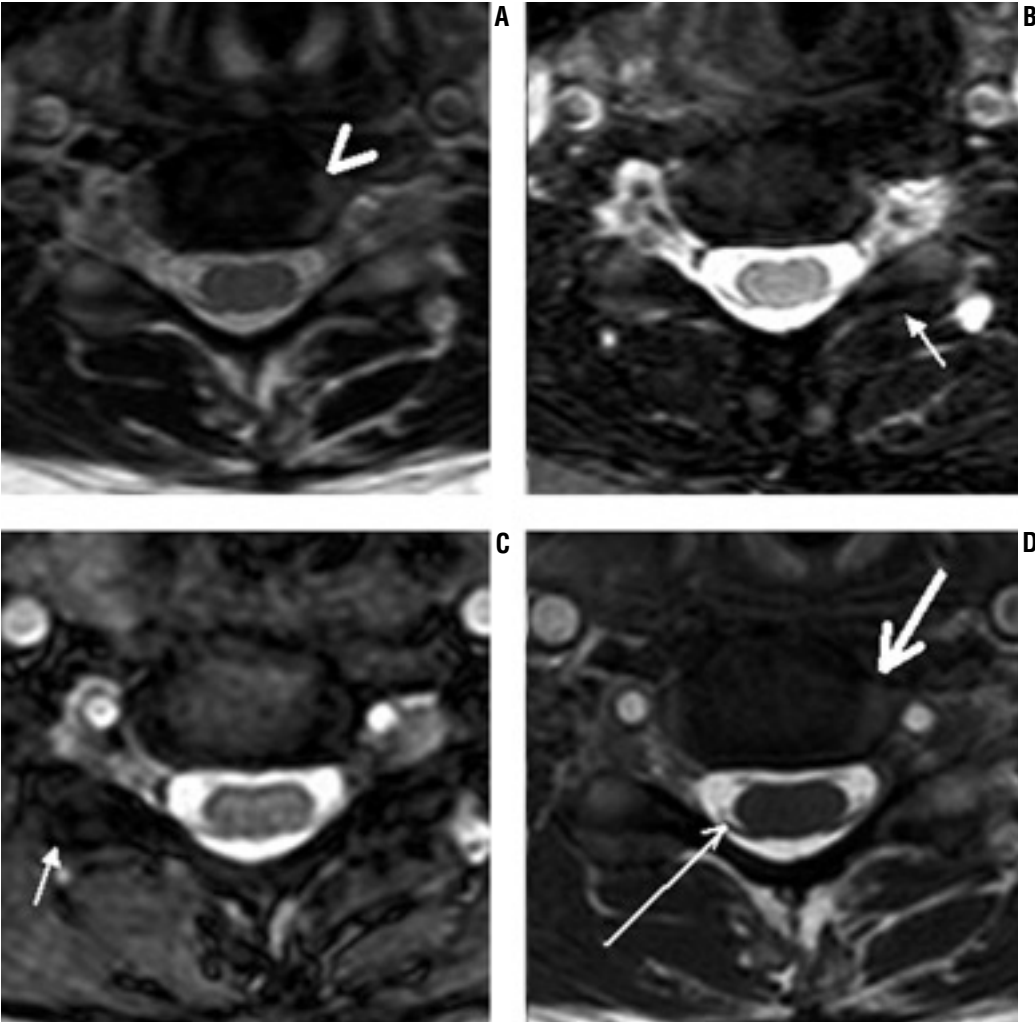
pıldı. MRG cihazında mevcut bir program, bir kesit üzerinde ayarlanan bir ROI'nin otomatik olarak diğer sekanslardaki eşdeğer pozisyonlara yerleştirilmesini sağladı. Tüm kalitatif değerlendirmeler 2 gözlemci tarafından beraber yapıldı.

İstatistik değerlendirmeler için 2-yönlü eşleştirilmiş student t testi kullanıldı.

Tablo 1. Sekanslarda kullanılan MRG parametreleri

Sekanslar	TR	TE	ETL	NSA	FA	Süre
T2A-3B-TSE	2500	120	42	1	90	4'52"
3B-FFE-MTC	50	12	-	1	7	3'15"
d-FFE	8.6	4	-	4	45	3'10"

TR: relaksasyon zamanı, TE: eko zamanı, ETL: eko-zincir uzunluğu, NSA: number of signal averaging, FA: flip angle

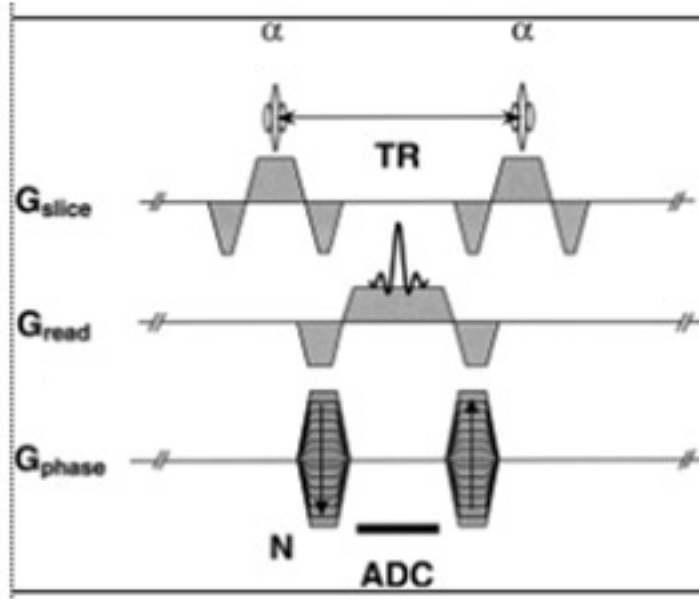


Resim 2. Aksiyel düzlemde T2A-3B-TSE/YS(-) (A), T2A-3B-TSE/YS(+) (B), 3B-FFE-MTC (C) ve d-FFE (D) sekanslarda C4-5 nöral foramen ve unsinat çıkıntı düzeyinde servikal vertebra yapılarının görünümü. Myelografik etki en belirgin d-FFE sekansta izlenmektedir. T2A-3B-TSE/YS(-) sekansda subaraknoid mesafede pulsatil BOS akımına bağlı artefaktlar inhomojen görünüm oluşturmalarına karşın myelografik etki yeterli ancak diğer 3 sekansa oranla zayıftır. Unsinat çıkıntı detayı en iyi T2A-3B-TSE/YS(-) (ok başı) ve b-FFE sekansta izlenmektedir (kalın ok). İntradural sinir kökleri en iyi d-FFE sekansta seçilmektedir (ince uzun ok). T2A-3B-TSE/YS(+) ve 3B-FFE-MTC sekanslarda posterior laminalarda duyarlılık artefaktları (ince kısa ok) seçilmektedir.

Bulgular

Kantitatif ölçüm sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir. Hem, spinal kord SNR, hem BOS SNR hem de spinal kord-BOS CNR (myelografik etki) ölçümleri en yüksek d-FFE sekansda ölçüldü. Myelografik etkinin en az olduğu sekans T2A-3B-TSE/YS(+) idi (Resim 1,2).

Anatomik yapıların kalitatif değerlendirilmesinde (Tablo 3), unsinat çıkıntı ve ligamentum flava değerlendirmesinde T2A-3B-TSE/YS(-) ve b-FFE sekans diğer ikisinden üstün idi ($p < 0.001$). T2A-3B-TSE/YS(-) sekans, d-FFE sekansdan üstündü ($p < 0.001$). Nöral foramen detayını göstermede d-FFE dışındaki 3 sekans arasında anlamlı fark yoktu. T2A-3B-TSE (YS+) en yüksek skora (3.5'a



Çizim. b-FFE sekansın puls diagramı. Her 3 gradyent (Gslicce, Gread, Gphase) takip eden a pulsü öncesi maksimal yatay manyetizasyon elde etmek için tekrar odaklanmaktadır.

karşı 3.3, 3.2 ve 3.0) sahipti. T2A-3B-TSE/YS(+) ve d-FFE arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardı ($p<0.05$). Sinir kökü detayını göstermede d-FFE sekans diğer 3'ünden ($p<0.001$), 3B-FFE-MTC sekans diğer 2 sekanstan (T2A-3B-TSE/YS(-) ve T2A-3B-TSE/YS(+)) üstün idi ($p<0.05$) (Resim 1,2). Artefakt ve genel görüntü kalitesinin kalitatif değerlendirme sonuçları Tablo 4'te gösterilmektedir. T2A-3B-TSE/YS+ ve YS- sekanlarda artefakt en az (0.5 ve 0.6 puan), 3B-FFE-MTC sekansta en yüksek idi (1.1) ($p<0.001$). Artefaktlar tiplerine göre gruplar arası farklılık değerlendirmeye alınmadı. Bununla beraber, 3B-FFE-MTC sekansta en sık duyarlılık, d-FFE sekansta trun-kasyon, T2A-3B-TSE sekanlarda BOS artefaktı izlendi (Resim 3). Tüm sekanlarda denek hareketine bağlı hareket artefaktları izlendi. Hareket artefaktlarından en az etkilenen sekan d-FFE sekanstı. Genel görüntü kalitesinde 3B-FFE-MTC sekans dışındaki diğer 3 sekans arasında istatistiksel fark yoktu. Ancak 3B-FFE-MTC sekans ile T2A-3B-TSE ve b-FFE sekanlar arasında anlamlı fark vardı ($p<0.001$). d-FFE sekansta "number of signal averaging" (NSA) 3'e düşürüldüğünde genel görüntü kalitesinde dikkat çekici fark oluşmadı, ancak inceleme süresi 1.5 dakika civarına indi. İnceleme süreleri T2-TSE sekanlarda yaklaşık 5 dakika, 3B-FFE-MTC sekansta 3 dakika 15 saniye idi. Ancak hem T2-TSE sekanlarda hem de 3B-FFE-MTC sekansta NSA sayısı bir olup bu parametrede kısıntı yapmak ve inceleme süresini NSA üzerinden daha azaltmak mümkün değildi. T2-TSE sekanlarda ETL sayısını arttırmak inceleme süresini kısmen azaltabilmektedir. Ancak 42 gibi yüksek bir ETL sayısının üzerindeki ETL değerleri görüntü bulanıklığını gittikçe arttıracığından denenmemiştir.

Tartışma

Servikal vertebraya yönelik MRG incelemenin en sıkıntılı yönlerinden biri disk herniasyonu ve spondiloz de-

Tablo 2. Tüm sekanlar için spinal kord ve BOS sinyal gürültü oranları ve BOS-spinal kord kontrast gürültü oranları

Spinal kord SNR		BOS-SNR		BOS-Kord CNR	
d-FFE	28	d-FFE	103	d-FFE	75
T2-YS	26	T2-YS	49	MTC	32
T2-TSE	17	MTC	47	T2-YS	24
MTC	16	T2-TSE	30	T2-TSE	14

T2-TSE: T2A-3B-TSE (yağ supresyon -), T2-YS: T2A-3B-TSE (yağ supresyon +), MTC: 3b-FFE-MTC, d-FFE: dengeli-FFE

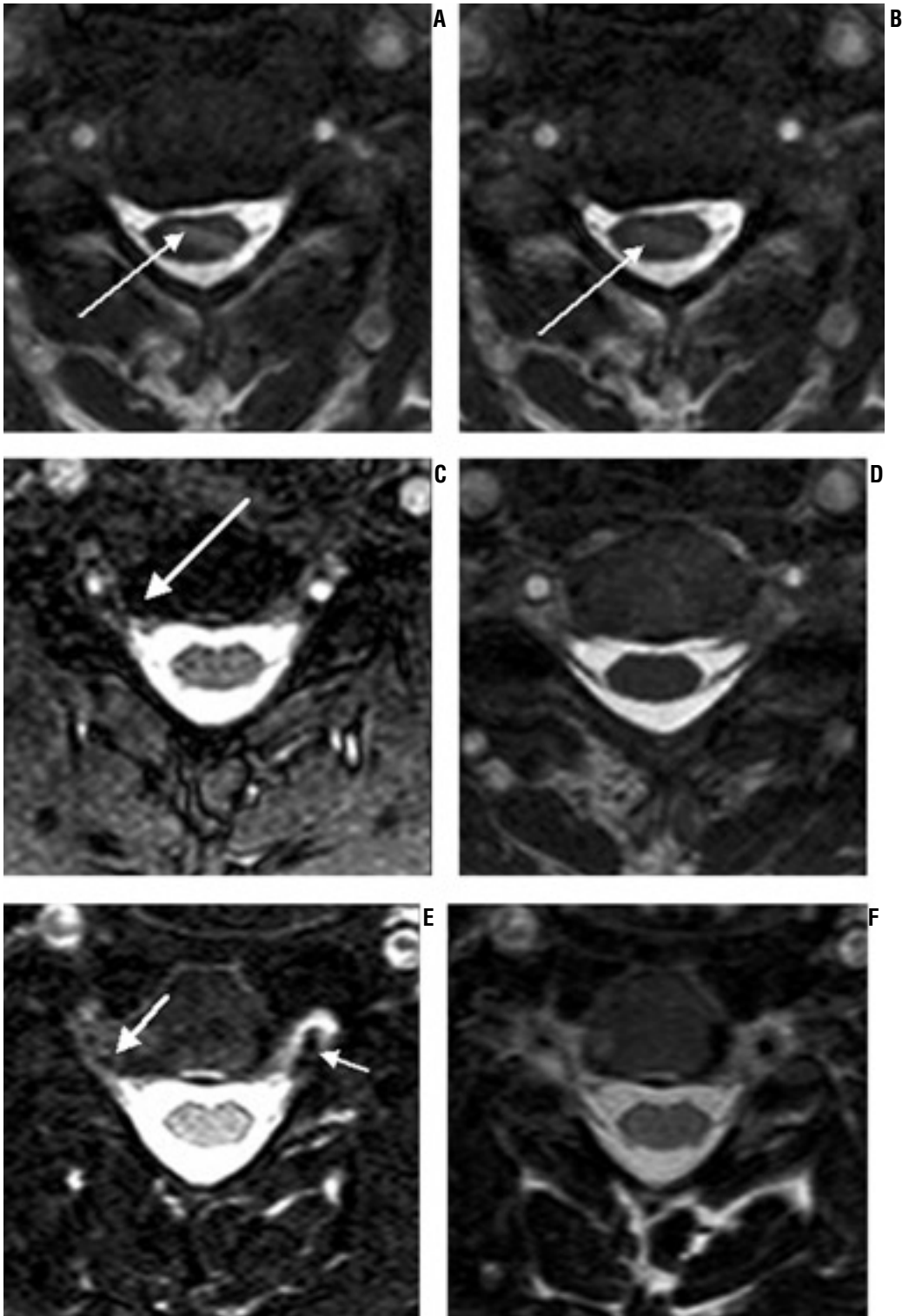
ğerlendirmesidir. MRG'nin doğruluğunu arttırmak için çok sayıda teknolojik modifikasyon yapılmasına rağmen, karışık anatomisi ve MRG tekniklerinin sınırlamalarından dolayı bu sıkıntılar henüz aşılamamıştır (1). Servikal MRG incelemelerinde sagittal düzlemde T1 ağırlıklı ve T2 ağırlıklı spin eko (SE) veya turbo spin eko (TSE) sekanlar rutinde kullanılmaktadır (2). Spinal kord patolojileri için sagittal T2A-TSE veya STIR (short time inversion recovery) sekanlar tercih edilmektedir (3). Ancak aksiyel düzlemde hangi sekansın kullanılacağı konusunda bir görüş birliği yoktur. Ayrıca 2B sekanlar mı yoksa 3B sekanlar mı kullanılacağı konusunda da görüş birliği yoktur. Çalışmamızda 3B sekanları tercih ettik. 3B sekanların 2B sekanlara oranla bazı önemli avantajları bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlileri: ince kesit (1.5-2 mm) ve aralıksız tarama; daha az parsiyel volüm etkisi ve birçok planda reformat olanağıdır. Çalışmamızda üç temel sekans modeli çalışıldı. T2A/3B/TSE sekans, SPIR eklenerek (YS +) ve eklenmeden (YS -) iki kez tekrarlandı. Böylece toplam olarak dört sekans çalışıldı.

Servikal spondiloz veya myelopatiye yönelik çalışmalarda aksiyel düzlemde en sık gradyent eko (FFE) sekanlar tercih edilmektedir. Ancak hangi gradyent eko sekans kullanılacağı konusunda görüş birliği yoktur. Çalışmamızda 3B-FFE-MTC sekansı tercih ettik. Gradyent eko sekanlara MT puls eklenmesinin toplam inceleme süresine etkisi kullanılan asıl sekansın kaç boyutlu (2B veya 3B) ve ne ağırlıklı (T1 ağırlıklı veya T2 ağırlıklı) olduğuna göre değişmekte olup, ya hiç değişiklik yapmamakta veya TR süresinin uzamasına yol açarak toplam inceleme süresinde %100'e varan oranlarda artışa neden olmaktadır. Cihazımızda hazır bulunan 3B-T2-FFE sekansa MTC puls eklenmesi toplam inceleme süresini hiç değiştirmedi. Diğer yandan MT puls eklenmesi, myelografik etkiyi arttırmakta, bu ise daha kısa TE süreleri ile yeterli kalitede myelografik etkinin elde edilmesine (normalde TE uzadıkça myelografik etki artar) olanak sağlamaktadır. Kısalan TE süreleri ise toplam çekim süresini azaltmaktadır. Ayrıca TE süresinin azalması duyarlılık artefaktlarına olan duyarlılığı azaltmaktadır (1). Çalışmamızda, myelografik etki-

Tablo 3. Tüm sekanlarda anatomik yapıların seçilebilirliğini gösteren kalitatif değerlendirme puanları

Unsinat çıkıntı		Ligamentum flava		Nöral foramen		Sinir kökü	
T2-TSE	3.7	T2-TSE	4.0	T2-YS	3.5	d-FFE	4.0
d-FFE	2.8	d-FFE	3.5	MTC	3.2	MTC	3.2
T2-YS	2.3	T2-YS	2.0	T2-TSE	3.1	T2-YS	2.9
MTC	1.9	MTC	1.3	d-FFE	2.9	T2-TSE	2.6

T2-TSE: T2A-3B-TSE (yağ supresyon -), T2-YS: T2A-3B-TSE (yağ supresyon +), MTC: 3B-FFE-MTC, d-FFE: dengeli-FFE



Resim 3. Tipik artefakt örnekleri. d-FFE sekansta (A,B) spinal kord içerisinde trunkasyon artefaktı (*ince uzun oklar*) seçilmektedir. 3B-FFE-MTC (C) sekansta sağ nöral foramen medial duvarında kemik yüzeyden kaynaklanan duyarlılık artefaktına (*kalın uzun ok*) bağlı darlık izlenmektedir. Eşlik eden d-FFE sekansta (D) darlık olmadığı anlaşılmaktadır. T2A-3B-TSE/YS(+) sekansta (E) sağ nöral foramende duyarlılık artefaktı (*kalın kısa ok*) ve sol nöral foramende kimyasal sapma ("chemical-shift") artefaktı (*ince kısa ok*) izlenmektedir. Eşlik eden T2A-3B-TSE/YS(-) sekansta (F) bu artefaktlar izlenmemektedir.

de (BOS-spinal kord CNR) 3B-FFE-MTC sekans, d-FFE sekanstan sonra ikinci sırada idi. Sinir kökü ve nöral foramen detayını göstermede iyi puan (her ikisi de 3.3 puan) almakla beraber kalitatif sıralamada her iki anatomik

yapı için ikinci sırada idi. Hem unsinat çıkıntı hem de ligamentum flava değerlendirmesinde dördüncü sırada idi. Bunun nedeni, unsinat çıkıntıda kemik dokudan kaynaklanan duyarlılık artefaktı, ligamentum flavada MT

puls nedeniyle hem ligamanda hem de komşu kemik dokuda sinyal kaybı nedeniyle bu iki doku arasında kontrast farkının azalmasıdır (Resim 2,3).

Dengeli-FFE sekans son yıllarda kullanılmaya başlanan yeni bir dura-

Tablo 4. Tüm sekanslarda artefakt ve genel görüntü kalitesi puanlaması (1'den 4'e kadar olan sıralama her 2 parametre için de en iyiden en kötüye doğru sıralanmaktadır)

Artefakt		Genel görüntü kalitesi	
T2-YS	0.5	T2-TSE	3.5
T2-TSE	0.6	d-FFE	3.3
d-FFE	0.8	T2-YS	3.1
MTC	1.1	MTC	2.9

T2-TSE: T2A-3B-TSE (yağ supresyon -), T2-YS: T2A-3B-TSE (yağ supresyon +), MTC: 3B-FFE-MTC, d-FFE: dengeli-FFE

ğan (“steady state”) gradyent-eko sekanstır. Bu sekans sol ventrikül fonksiyonuna yönelik kardiyak sine görüntüleme de kullanılmaktadır (4). Diğer durağan gradyent-eko sekansla (FISP sekans) karşılaştırıldığında, d-FFE sekansta her 3 düzlemdeki MR çekim gradyentleri dengelenmiştir (Çizim) (4). Ayrıca d-FFE sekans T1 ağırlıklı veya T2 ağırlıklı bir sekans olmayıp T2/T1 ağırlıklı bir sekanstır. Sıvılar yüksek T2/T1 oranına ve yumuşak dokular genellikle düşük T2/T1 oranına sahiptirler (5). Bu çalışmada BOS-SNR ölçümleri d-FFE sekansta diğer 3 sekansa oranla 2 ile 3.3 kat daha fazla iken, BOS-spinal kord CNR ölçümü 2.4 ile 5.3 kat daha fazla idi. Bilindiği gibi TR sürelerinin ilgili dokunun T2 süresinden çok kısa oluşu bu dokuda rezidüel yatay (transvers) manyetizasyon oluşturmaktadır. Ancak bu rezidüel yatay manyetizasyon, BOS gibi hareketli sıvılarda kısmen bozulmaktadır. Dengeli-FFE sekansta dengeleyici gradyentlerin etkisi ile yatay manyetizasyon her üç düzlemde tekrar odaklanmakta böylece pulzatil BOS akımına karşı BOS'taki rezidüel yatay manyetizasyon bozulmaktan korunmaktadır. Bu da BOS'ta yüksek SNR oluşturmakta, spinal kord ve diğer vertebral yapıların T2/T1 oranının düşük oluşu ise belirgin myelografik etki oluşturmaktadır. Bu sekans dört anatomik yapının kalitatif değerlendirilmesinde yüksek puanlar (2.8-4.0; ortalama 3.35) almıştı. Nöral foramen dışındaki diğer 3 anatomik yapının seçilebilirliğinde ilk 2 sırada olup, intradural sinir kökü seçilebilirliğinde en iyi sekans idi (4 puan) (Resim 1,2). Nöral foramen seçilebilirliğinde tüm sekanslara iyi puan verildi (3-3.5 ara-

sı). Ancak d-FFE sekans en düşük puanı (3) aldı. Diğer üç sekans arasında istatistiksel olarak fark yokken, T2A-3B-TSE/YS(+) sekans ile d-FFE sekans arasında anlamlı fark vardı ($p<0.05$).

Servikal vertebra incelemelerinde başlangıçta T1 ve T2 ağırlıklı 2B SE MR sekansları kullanılmaktaydı. Ancak bu sekansların sınırlamaları şunlardır: (a) kesit-seçim (slice-select) yönünde düşük uzaysal rezolüsyon; (b) görel olarak geniş kesit aralığı (cross-talk nedeniyle); (c) T1A sekanslarda yumuşak doku (disk, sinir kökü, kord), osteofit, dura ve BOS arasında zayıf kontrast; (d) T2A sekanslarda değişken myelogram etkisi ve (e) uzun inceleme süreleri (1). TSE sekansların geliştirilmesi inceleme sürelerini azalttı ancak akım kompensasyon (“flow compensation”) gradyentlerinin kullanımına rağmen özellikle aksiyel planda BOS artefaktları elimine edilememektedir (6).

Servikal spondiloza yönelik aksiyel 3B çekimlerde bir çok merkez 3B gradyent eko sekansları tercih etmektedir (7,8). İnceleme sürelerinin uzunluğu ve buna bağlı hareket artefaktları nedeniyle 3B-TSE sekanslar kullanılmamaktadır. MR teknolojisinde son yıllardaki gelişmeler 3B-TSE sekansların inceleme sürelerini azalttı. Cihazımızda yüklü bulunan T2A-3B-TSE sekans kabul edilebilir inceleme süresine sahipti (1.5 mm kalınlığında 256 matriks, rektangular FOV (rFOV) %100, 32 kesit için 4 dk 52 sn; 1.5 mm kalınlığında, 256 matriks, rFOV %70, 70 kesit için 7 dk 55 sn; 2 mm kalınlığında, 256 matriks, rFOV %70, 50 kesit için 5 dk 40 sn). Myelografik etki diğer 2 gradyent eko sekansa

oranla düşük idi (14'e karşı, 32 ve 75). Ancak myelografik etki subjektif olarak yeterli kalitede idi. Unsınat çıkıntı ve ligamentum flava değerlendirilmesinde en üstün sekans idi. Nöral foramen değerlendirmesinde yeterli kalitede idi (3.2 puan). Sinir kökü değerlendirmesinde en zayıf sekanstı (2.6 puan). Bu sekansa SPIR eklenmesi myelografik etkiyi arttırdı (CNR: 14'e karşılık 24). SPIR eklenmesi nöral foramen seçilebilirliğini olumlu etkileyip en iyi sekans sırasına yükseltirken (3.2'ye karşı 3.5 puan), unsınat çıkıntı ve ligamentum flavayı olumsuz etkiledi. Sinir kökü seçilebilirliği olumlu etkilenmesine karşın (2.6'ya karşı 2.8 puan) orta kalitede idi (Resim 1,2).

Artefaktlar incelendiğinde en fazla artefakt 3d-FFE-MTC sekansta (1.1 puan) ve ardından d-FFE sekansta (0.8 puan) izlendi. TSE sekanslarda artefaktlar daha az idi. Kemik-BOS ve kemik-nöral foramen arasındaki diyamanyetik duyarlılık artefaktlarının spinal ve nöral foramen darlıklarını olduğundan fazla gösterdiği bilinmektedir. Bu artefaktlar en çok gradyent eko sekanslarda izlenmektedir (Resim 3) (9). Bunun en önemli nedeni gradyent eko sekanslarda SE sekanslarda uygulanan 180° yeniden odaklama RF pulsunun kullanılmamasıdır. Dengeli-FFE sekansta artefakt skoru 3b-FFE-MTC sekansa oranla daha az idi. Bunun nedeninin d-FFE sekanstaki düşük TE değerlerine bağlı azalan duyarlılık artefaktları olduğunu düşünmekteyiz. T2-3B-TSE sekanslarda artefakt skoru daha düşük olup, çoğunlukla BOS artefaktlarına bağlı idi. Ancak bu artefaktların myelografik görünüm üzerine olumsuz etkisi hafif derecede idi. Genel görüntü kalitesi incelendiğinde 3d-FFE-MTC sekans dışındaki diğer üç sekans arasında istatistiksel fark yoktu. Bununla beraber T2A-3B-TSE/YS(-) sekans en yüksek skora sahipti (Resim 1-3). Ancak 3d-FFE-MTC sekans ve diğer üç sekans arasında anlamlı fark vardı ($p<0.001$).

Bu çalışmada 3B-FFE-MTC sekans umulanın aksine genel görüntü kalitesinde dördüncü ve son sırada idi. Nö-

ral foramen ve sinir kökleri genel olarak iyi izlenmekle beraber artefaktlar özellikle nöral foramenleri olumsuz etkilemekteydi. T2A-3B-TSE/YS(-) sekans genel görüntü kalitesinde birinci sırada idi. Myelografik etki diğer üç sekansa oranla daha zayıf olmakla beraber yeterli kalitede idi. Eko-zincir uzunluğunu fazlaştırmakla myelografik etkiyi artırıp, inceleme sürelerini azaltmak mümkündür (10). Ancak bu uygulamanın önemli bir dezavantajı görüntü bulanıklığında artıştır. Bu sekansa tüm anatomik detaylar yeterli kalitede izlendi. Bu sekansa SPIR eklenmesi (T2A-3B-TSE/YS+) myelografik etkiyi artırırken, genel görüntü kalitesinde azalma oluşturmuştur. Literatürde T2A-3B-TSE sekanslarla yapılmış benzer bir çalışma saptanmadı. Dengeli FFE sekans genel görüntü kalitesinde ikinci sırada idi. Myelografik etki diğer sekanslara oranla ileri derecede yüksekti. İnceleme süreleri ise T2-TSE sekanslara oranla kısa idi. d-FFE sekansa NSA'yı 3'e düşürerek diğer sekanslarla bugün için mümkün olmayacak kısa sürelerde ve yeterli görüntü kalitesinde inceleme yapmak mümkündür. Literatürde dengeli FFE sekans yapılmış benzer bir çalışma saptanmadı.

Bu çalışmanın bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Bu çalışmada 3 disk düzeyini içeren 48 mm'lik bir alan çalışılmıştır. İdeali en az 5 disk düzeyini içeren ve yaklaşık 100 mm'lik bir alanın çalışılmasıdır. Bir başka sınırlama

sadece sağlıklı kişilerin çalışılmasıdır. Bundan dolayı servikal spondiloz olgularında veya diskopatilerde sonuçların tekrarlanabileceği söylenebilir. Ancak yazarların şimdiye kadar ki ortak tecrübesi hasta grubunda da T2A-3B-TSE sekansın tatmin edici düzeyde olduğudur.

Sonuç olarak, sağlıklı kişilerde ser-

vikal vertebra anatomik detaylarının MRG incelenmesinde T2A-3B-TSE/YS(-) sekans en üstün yöntem gibi görünmektedir. Myelografik etki diğer sekanslar kadar üstün değil ancak yeterlidir. Dengeli-FFE sekans kontrolü zor hastalarda oldukça kısa inceleme süreleri ile tercih edilebilir.

COMPARISON OF THREE-DIMENSIONAL GRADIENT ECHO, TURBO SPIN ECHO AND STEADY-STATE GRADIENT ECHO SEQUENCES IN AXIAL MRI EXAMINATION OF THE CERVICAL SPINE

PURPOSE: The aim of this study was to assess the detectability of the structures that are affected by cervical spondylosis by different 3D MRI sequences and compare the image quality of those sequences.

MATERIALS AND METHODS: Twenty healthy volunteers were examined using a 1.5 T MR unit. T2* weighted 3D-gradient echo sequence with magnetization transfer saturation pulse (3D-FFE-MTC), T2 weighted 3D turbo spin echo (TSE) sequence with and without spectral presaturation inversion recovery pulse (T2-3D-TSE/SPIR+ and T2-3D-TSE/SPIR-) and balanced-FFE (b-FFE) sequences were compared. Spinal cord signal-to-noise ratio (SNR), cerebrospinal fluid (CSF) SNR, and CSF-spinal cord contrast-to-noise ratio (CNR) were calculated quantitatively. The detectability of neural foramina, spinal nerve roots, uncinata process and ligamentum flava were graded on a 5-point scale (0: minimum, 4: maximum) qualitatively. The presence of the artifacts and overall image quality were graded on a 4-point scale (0: minimum, 3: maximum).

RESULTS: Balanced-FFE sequence yielded the best results for each of three quantitative evaluation. In terms of qualitative evaluation, for the uncinata process T2-3D-TSE/SPIR- sequence was superior to the other three sequences ($p < 0.01$). For the ligamentum flava T2-3D-TSE/SPIR- and b-FFE sequences were superior to the other two ($p < 0.01$). For the neural foramina b-FFE yielded the lowest score (3), however the other three sequences were not significantly different (3.2-3.5) ($p > 0.05$). Artifacts were most commonly seen using 3D-FFE-MTC. In terms of overall image quality T2-3D-TSE/SPIR- yielded the highest score, followed by b-FFE.

CONCLUSION: 3D-FFE-MTC sequence is frequently preferred for cervical spinal MRI studies. However our study yielded best scores for T2-3D-TSE/SPIR, followed by b-FFE in the quantitative and qualitative evaluation of the structures affected by cervical spondylosis.

Key words: • spine • cervical vertebrae • magnetic resonance imaging

TURK J DIAGN INTERVENT RADIOL 2003; 9:432-438

Kaynaklar

1. Melhem ER. Technical challenges in MR imaging of the cervical spine and cord. *Magn Reson Clin North Am* 2000; 8:435-452.
2. Gillams AR, Soto JA, Carter AP. Fast spin echo vs conventional spin echo in cervical spine imaging. *Eur Radiol* 1997; 7:1211-1214.
3. Hittmair K, Mallek R, Prayer D, Schindler EG, Kollegger H. Spinal cord lesions in patients with multiple sclerosis: comparison of MR pulse sequences. *Am J Neuroradiol* 1996; 17:1555-1565.
4. Deshpande VS, Shea SM, Laub G, et al. 3D magnetization-prepared true-FISP: a new technique for imaging coronary arteries. *Magn Res Med* 2001; 46:494-502.
5. Carr JG, Simonetti O, Bundy J et al. Cine MR angiography of the heart with segmented true fast imaging with steady-state precession. *Radiology* 2001; 219:828-834.
6. Larsen DW, Teitelbaum GP, Norman D. Cerebrospinal fluid flow artifact: a possible pitfall on fast-spin echo MR imaging of the spine simulating intradural pathology. *Clin Imaging* 1996; 20:140-142.
7. Tsuruda JS, Norman D, Dillon W, Newton TH, Mills DG. Three-dimensional gradient recalled MR imaging as a screening tool for the diagnosis of cervical radiculopathy. *Am J Neuroradiol* 1989; 10:1263-1271.
8. Melhem ER, Benson ML, Beauchamp NJ, Lee RR. Cervical spondylosis: Three-dimensional gradient-echo MR with magnetization transfer. *Am J Neuroradiol* 1996; 17:705-711.
9. Tsuruda JS, Remley K. Effects of magnetic susceptibility artifacts and motion in evaluating the cervical neural foramina on 3DFT gradient-echo MR imaging. *Am J Neuroradiol* 1991; 12:237-241.
10. Sze G, Kawamura Y, Negishi C, et al. Fast spin-echo MR imaging of the cervical spine: influence of echo train length and echo spacing on image contrast and quality. *Am J Neuroradiol* 1993; 14:1203-1213.