

ORIJİNAL YAZI

Vertebral Kemik İliği T2 Relaksasyon Zamanının Osteoporozda Tanı Değeri

Gökhan GÖKALP*, Fatma ŞENTÜRK MUTLU*, Hakan CEBECİ*,
Ayşe KALYONCU UÇAR*, Zeynep YAZICI*, Deniz SİĞİRLİ**

* Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Bursa.

** Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyoistatistik Anabilim Dalı, Bursa.

ÖZET

Çalışmanın amacı osteoporozda, lomber vertebra kemik iliği T2 relaksasyon zamanının tanı değerini araştırmaktır. Aydınlatılmış onam formu ve etik kurul onayı tüm katılımcılardan alındı. “Dual x-ray absorptiometry” (DEXA)’ya göre değişken kemik mineral dansitesi (KMD) olan 56 hasta (50-65 yaşlar arası) prospektif olarak çalışmaya alındı. DEXA sonuçlarına göre hastalar normal, osteopeni ve osteoporoz olarak gruplandı. T2 relaksasyon zamanı (MR relaksometri), sagittal planda multi spin eko sekans ile yapıldı. Kantitatif değerler, DEXA sonuçlarına göre istatistiksel olarak karşılaştırıldı. Gruplar arası karşılaştırmada “Kruskal-Wallis” ve “Mann-Whitney-U” testleri kullanıldı. DEXA’ya göre 18 olgu normal kemik dansitesi (ortalama T skoru, $0,39 \pm 1,13$ [standart sapma]), 20 olgu osteopeni (ortalama T skoru, $-1,79 \pm 0,38$) ve 18 olgu osteoporoz (ortalama T skoru, $-3 \pm 0,5$) olarak değerlendirildi. Vertebral kemik iliği T2 relaksasyon zamanı değerleri normal olgularda 113.6 (min:max=104:124), osteopenide 114.2 (min:max=107:135), osteoporozda 112.8 (min:max=102:121.4) idi. T2 relaksasyon zamanı bakımından gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmadı ($p>0.05$). 50-65 yaş grubundaki kadın hastalarda, vertebral kemik iliği T2 relaksasyon zamanı, KMD’nin öngörülmesinde güvenilir bir parametre değildir.

Anahtar Kelimeler: T2 relaksasyon zamanı. Osteoporoz. Vertebra.

Diagnostic value of Vertebral Bone Marrow T2 Relaxation Time in Osteoporosis

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the diagnostic value of T2 relaxation time measurements of lumbar vertebral marrow in osteoporosis. This study had institutional review board approval and all participants provided informed consent. Fifty-six female patients (age range from 50 to 65 years) with varying bone mineral densities (BMD) as documented with dual x-ray absorptiometry (DXA) were prospectively included in the study. According to the DXA results, the patients were grouped as normal, osteopenic and osteoporotic. The T2 relaxation time measurements (MR relaxometry) were performed with multi spin echo sequence at sagittal plane. The quantitative values were compared statistically with those obtained from DXA examinations. Kruskal-Wallis and Mann-Whitney-U tests were used for comparisons between groups. Eighteen subjects with normal bone density (mean T score, $0,39 \pm 1,13$ [standard deviation]), 20 subjects with osteopenia (mean T score, $-1,79 \pm 0,38$), and 18 subjects with osteoporosis (mean T score, $-3 \pm 0,5$) were determined according to DXA results. Vertebral bone marrow T2 relaxation time value was 113.6 (min:max=104:124) in normal group, 114.2 (min:max=107:135) in osteopenic group, and 112.8 (min:max=102:121.4) in osteoporotic group. There was no statistically significant difference between T2 relaxation times of normal, osteopenic and osteoporotic vertebrae ($p>0.05$). In conclusion vertebral bone marrow T2 relaxation time is not a reliable parameter for prediction of vertebral BMD for female patients at 50-65 ages.

Key Words: T2 relaxation time. Osteoporosis. Vertebra.

Geliş Tarihi: 12.04.2010
Kabul Tarihi: 23.06.2010

Dr. Gökhan GÖKALP
Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi,
Radyoloji Anabilim Dalı,
Görükle, Bursa
Tel: 0224 295 33 22
Faks: 0224 442 81 10
e-posta: drgokhangokalp@yahoo.com

Osteoporoz kemikte kitle kaybı ve ilişkili yapısal değişikliklerin sonucu kemik kırılabilirliğinin arttığı metabolik bir hastalıktır. Tanısında günümüzde en sık kullanılan yöntem olan “dual-energy x-ray absorptiometry” (DEXA)’nin duyarlılığı düşüktür. Duyarlılığı daha yüksek olan bilgisayarlı tomografi (BT) dansitometri ise, yüksek radyasyon dozu nedeniyle tarama yöntemi olarak kullanılmamaktadır^{1,2}.

Son yıllarda, yüksek rezolüsyonlu manyetik rezonans (MR) görüntülemenin ile kemiğin trabeküler yapısını direkt olarak ortaya çıkarmada faydalı olduğu gösteren bazı çalışmalar yayınlanmıştır³⁻⁵. Kemiğin yapısını değerlendirmede kullanılan birtakım indirekt MR görüntüleme yöntemleri de vardır. Bunlar MR spektroskopisi, perfüzyon MR, difüzyon ağırlıklı MR ve MR relaksometri (T2 relaksasyon zamanı) gibi kemiğin moleküler düzeydeki yapısı ya da yapı değişikliklerini saptamaya yönelik yöntemlerdir¹⁻⁹. Bu yapısal değişikliklerden yola çıkılarak osteoporozun patogenezi ve erken dönemde saptanmasına yönelik veriler elde edilmiştir.

MR görüntülemesinde izlenen intensite farklılıkları T2 relaksometri ile kantitatif olarak değerlendirilebilir. MR relaksometri ile amaç, trabeküler kemikte kemik iliği materyali ile trabeküler yapının yüzeyleri arasındaki manyetik duyarlılık farklılıklarını ortaya koymaktır¹⁰⁻¹¹. Bu farklılıklardan yola çıkarak, kemikte normalin dışında meydana gelen yapısal değişiklikler ortaya konabilir.

Çalışmamızın amacı, vertebral kemik iliği T2 relaksasyon zamanının kantitatif olarak hesaplanması ve osteoporoz ile ilişkisini araştırmaktır.

Gereç ve Yöntem

Hasta Seçimi:

Çalışma, klinik hikaye ve fizik muayene sonrasında DEXA tetkiki istenen ve DEXA sonuçlarına göre normal, osteopenik ve osteoporotik olduğu saptanan, aynı yaş grubundaki (50-65 yaşlar arası) toplam 56 gönüllü kadın hastada prospektif olarak yapıldı. Sekonder osteoporoz klinik ve laboratuvar tetkik sonuçlarıyla dışlandı. Çalışmaya metabolik kemik hastalığı ve bilinen primer malignitesi olanlar, endokrin bozukluğu olanlar, KMD'ni etkileyebilecek ilaç kullananlar, lomber cerrahi geçirenler, malnütrisyonu bulunanlar, lomber vertebra kırığı veya anatomik deformitesi olanlar, radyoterapi ya da kemoterapi alanlar ve MR incelemesi için kontrendikasyonu bulunan hastalar ("pace maker", metalik veya kohlear implant, klostrofobi) dahil edilmedi. Olguların 51'i postmenopozal dönemdeydi. Çalışma protokolümüz kurumumuzun Etik Kurul'u tarafından onaylandı ve her bireyden yazılı onay alındı.

Görüntüleme Tekniği:

Vertebral kırık ya da başka bir kemik patolojisi açısından tüm hastaların lumbosakral vertebra lateral radyografisi tüm olgulara yapıldı.

Kemik mineral yoğunluğunu değerlendirmek için DEXA cihazı (Delphi W; Hologic) kullanıldı. Hasta supin pozisyonda yatarak, sol kalça ve lomber vertebra (L2-L3-L4) posterior-anterior tarandı. Dünya Sağlık Örgütü'nün tanımlamasına göre DEXA

sonuçları belirlendi. T skoruna göre normal, osteopeni ve osteoporoz şu şekilde belirlendi:

Normal: Aynı ırk ve cinsiyetten genç erişkine göre kemik mineral yoğunluğunun veya kemik mineral içeriğinin 1 standart sapmanın altında olması (T skoru > ya da = -1)

Osteopeni: -1 > T skoru > -2.5

Osteoporoz: T skoru ≤ -2.5

Tüm olguların L3 lomber vertebra KMD sonuçları kaydedildi.

MR inceleme, 1.5 T süperiletken magnette (Magnetom Vision Plus, Siemens, Erlangen, Almanya), DEXA tetkikinden sonra ortalama 3 gün (1-7 gün) içinde yapıldı. Tüm vakalarda MR görüntü protokolleri standarttı. Lomber bölgenin görüntülenmesi amacıyla "spine array" sargı, orta lomber bölge merkezlenerek yerleştirildi. Lokalizasyon sekansı sonrası, lomber bölge için anatomik ve morfolojik değerlendirme yaptığımız rutin konvansiyonel görüntülerden T1-ağırlıklı turbo spin eko (TSE) sagittal (TR: 675 ms, TE: 12 ms, flip açısı (FA): 150°, kesit kalınlığı: 3 mm, kesitler arası boşluk: 0.15 mm, matriks: 162x256, FOV: 280 mm, NEX: 3), T2-ağırlıklı TSE sagittal (TR: 4500 ms, TE: 112 ms, FA: 180°, kesit kalınlığı: 3 mm, kesitler arası boşluk: 0.15 mm, matriks: 240x512, FOV: 280 mm, NEX: 2) ve T2-ağırlıklı TSE aksiyel (TR: 4000 ms, TE: 120 ms, FA: 180°, kesit kalınlığı: 4 mm, matriks: 512x330, FOV: 200 mm, NEX: 2) görüntüler elde edildi. T2 relaksasyon zamanı ölçümü, sagittal planda Carr-Purcell-Meiboom-Gill multi SE (TR: 2000 ms, TE: 22.5 ms-360 ms arası 16 eko, kesit kalınlığı: 5 mm, matriks: 154x256, FOV: 300 mm, NEX: 1) ile yapıldı. Elde edilen toplam 16 eko sinyalden piksellerinin ortalama T2 relaksasyon zaman haritası oluşturuldu. Her hastanın inceleme süresi yaklaşık 15 dakika sürdü ve kontrast madde kullanılmadı.

Görüntüleme Analizi:

MR görüntüleri Merge e-film 2.0 (Nasdaq:MRGE) çalışma istasyonunda, yüksek rezolüsyonlu monitörde analiz edildi. Tüm analiz, olguların klinik ve DEXA sonuçlarını bilmeden, kas-iskelet radyoloğu (GG, 7 yıllık deneyimli) tarafından yapıldı.

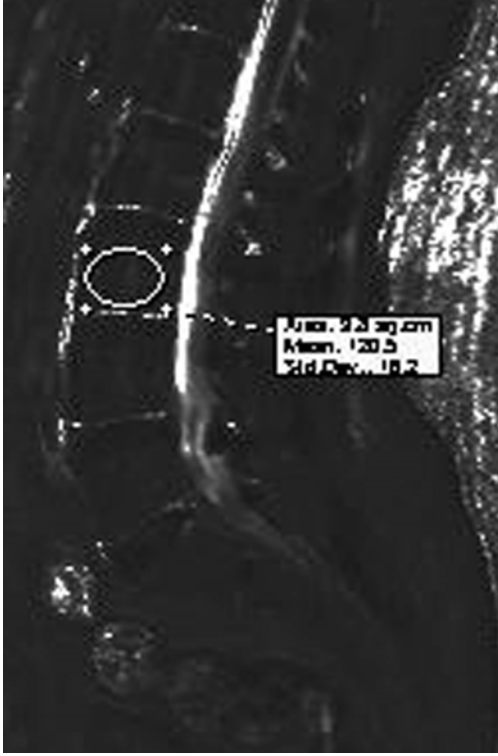
T1-ağırlıklı ve T2-ağırlıklı görüntüler, ek patolojik bulgular açısından (kompresyon kırığı, neoplastik lezyonlar vb.) değerlendirildi.

T2 relaksasyon zamanı, elde edilen T2 haritasından hesaplandı. L3 vertebra korpusundan sirküler ROI kullanılarak otomatik olarak ölçüldü (Resim 1). Ölçüm vertebra korpusunun orta düzeyinden, korteks dışarıda kalacak şekilde korpusun en geniş alanı seçilerek yapıldı. Aynı bölgeden 3 defa ölçüm yapılarak ölçümlerin ortalaması alındı ve kantitatif değerler elde edildi.

Osteoporozda T2 Relaksasyon Zamanı

İstatistiksel Analiz:

T2 relaksasyon zamanı, DEXA'ya göre normal, osteopenik ve osteoporotik olan olgularda istatistiksel olarak karşılaştırıldı. Gruplar arası karşılaştırmalar "Kruskal-Wallis" ve "Mann-Whitney-U" testi ile yapıldı. Betimleyici değer olarak medyan (min;max) ve ortalama (\pm standart sapma "SS") değerler verildi. $p < 0.05$ olması durumunda istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.



Resim 1.

T2 haritasında, ROI'nin vertebra korpusuna yerleştirilme şekli görülmüyor. L3 vertebra korpusunda, korteks dışarıda kalacak şekilde korpusun en geniş alanı seçildi.

Bulgular

DEXA'ya göre 18 normal, 20 osteopenik ve 18 osteoporotik olan olgular değerlendirildi. Çalışma grubunun demografik özellikleri Tablo I'de görülmektedir. Olguların medyan yaşları normal grupta 55.9 (50-64 yaş arası), osteopenik grupta 55.5 (50-64 yaş arası) ve osteoporotik grupta 55.1 (50-65 yaş arası) idi. Gruplar arasında yaş bakımından anlamlı farklılık yoktu ($p=0.872$). Vücut kitle indeksleri karşılaştırıldığında gruplar arasında farklılık izlenmedi ($p=0.064$).

L3 vertebra, fokal lezyon veya vertebra kırığı saptanmadı.

Tablo I. Çalışma grubunun demografik özellikleri

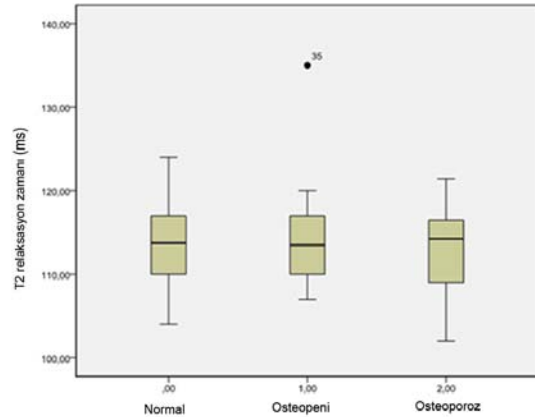
	Normal	Osteopeni	Osteoporoz	P değeri
Yaş (yıl) Medyan (min: max)	55,9 (50:64)	55,5 (50:64)	55,1 (50:65)	0.872
Boy (cm) Ortalama (\pm SS)	159 \pm 3,8	160 \pm 3,9	157 \pm 4,4	0.164
Kilo (kg) Ortalama (\pm SS)	78 \pm 8,4	74 \pm 9,6	68 \pm 10,2	0.018
Vücut kitle indeksi (kg/m ²) Ortalama (\pm SS)	30,5 \pm 3,3	28,3 \pm 3,8	27,2 \pm 4,8	0.064

Çalışma grubunun kemik mineral yoğunluğu ve T2 relaksasyon zamanları Tablo II'de görülmektedir. Vertebral kemik iliği T2 relaksasyon zamanı medyan değerleri sırasıyla normal olgularda 113.6 (min: max=104;124), osteopenik olgularda 114.2 (min: max=107;135) ve osteoporotik olgularda 112.8 (min: max=102;121.4) idi. T2 relaksasyon zamanı bakımından gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmadı ($p > 0.05$) (Resim 2).

Tablo II. Çalışma grubunun KMD ve T2 relaksasyon zamanları

	Normal	Osteopeni	Osteoporoz	P değeri
Lomber T skoru Ortalama (\pm SS)	0,39 \pm 1,13	-1,79 \pm 0,38	-3 \pm 0,5	<0.001
L3 vertebra KMD (g/cm ²) Ortalama (\pm SS)	1,13 \pm 0,13	0,88 \pm 0,07	0,74 \pm 0,05	<0.001
L3 vertebra T2 relaksasyon zamanı (ms) Medyan (min: max)	113.6 (104:124)	114.2 (107:135)	112.8 (102:121.4)	0.978

KMD: Kemik mineral dansitesi



Resim 2:

Grafikte (box-plot), T2-relaksasyon zamanı bakımından gruplar arasında fark olmadığı görülmüyor ($p > 0.05$).

Tartışma

Osteoporoz azalmış kemik kitlesi ve kemiğin mikromimarisinin bozukluğu ile karakterize bir hastalıktır. Azalmış kemik kuvveti, kemikte kırılabilirliği artırarak kırığa eğilim yaratır^{8,12}. Kemik kuvveti ve kırık riski, kemik kalitesi ve KMD'ne bağlıdır⁸. Osteoporoz, 50 yaşından sonra kadınların yaklaşık %40'ında, erkeklerin %20'sinde görülmektedir^{13,14}. Erken tanı ve tedavi ile mortalite ve morbidite azalmaktadır^{1,2,7}.

Osteoporozun en sık görülen ve primer osteoporoz olarak adlandırılan şekli, yaşlılığa bağlı olarak gelişir ve en sık menopoz sonrası kadınlarda görülür. Endokrin bozukluklar (hiperparatiroidizm, hipertiroidi, hipogonadizm, östrojen eksikliği vs.), neoplazi (multiplmyelom, karsinomatoz), malnütrisyon, kadın cinsiyet, düşük vücut ağırlığı, sigara, alkol alımı, yetersiz fizik aktivite ve bazı ilaçlar diğer sebepler arasındadır¹⁵. Primer osteoporozun gerçek patofizyolojisi hala tam anlaşılammıştır¹. Erken tanı, tedavi ve takip açısından çalışmalar devam etmektedir.

Osteoporoz tanısı günümüzde, 1994 yılında Dünya Sağlık Örgütü'nün geliştirdiği kriterlere göre, DEXA cihazı ile kemik mineral yoğunluğunun ölçümüne dayanarak yapılmaktadır. Fakat, kemik mineral yoğunluğu tek başına kemik kuvvetini tespit etmede ve kırık riskini değerlendirmede yeterli değildir¹⁶. Kırık olan ve olmayan hastaların kemik mineral yoğunluğu değerleri arasında örtüşmeler vardır¹⁶. Bu nedenle osteoporozun tanısında ve patogenezinin aydınlatılmasında BT ve MR gibi görüntüleme yöntemlerinden de yararlanılmaya çalışılmaktadır. Vertebral kemik dansitesini değerlendirmede en duyarlı yöntem kantitatif BT dansitometridir. Fakat alınan radyasyon dozu yüksek olduğu için tarama yöntemi olarak kullanılmaz¹⁷.

MR görüntüleme, DEXA yada kantitatif BT ile elde edilemeyen ek bilgiler sağlamaktadır. MR görüntüleme ile kemik iliği yağ içeriği, kemik iliği difüzyon ve perfüzyon değişiklikleri saptanabilir ve osteoporoz ile ilişkisi değerlendirilebilir¹. Yüksek rezolüsyonlu MR ile trabeküler kemiğin yapısı ortaya konabilir¹⁸.

MR spektroskopisi ile yapılan çalışmalarda, kemik dansitesinin azalmasıyla, vertebral yağ içeriğinin arttığı gösterilmiştir^{1,6}. Perfüzyon MR çalışmalarında vertebral kemik iliğinin vaskülarizasyonunun azaldığı ve bu azalmanın kemik iliğindeki yağ miktarındaki artışla paralel olduğu belirtilmiştir¹. Difüzyon ağırlıklı MR görüntüleme, kemik iliğindeki yağ miktarındaki artış ile birlikte ekstrasellüler difüzyonun kısıtlanmasına bağlı olarak, ADC ve difüzyon sinyal intensitesinde azalmanın olduğu bildirilmektedir^{1,2}.

MR görüntüleme izlediğimiz dokular arası intensite farklılıkları, MR relaksometri ile elde edilen T2 haritaları üzerinden kantitatif olarak yapılabilmektedir. Böylece dokular arası T2 relaksasyon zamanları arasındaki farklar, kantitatif olarak ayırt edilebilmektedir. Kemik iliğindeki dokular arasındaki farklılıklar, manyetik duyarlılık etkisine bağlı ortaya konulur^{10,11}. Bu farklılıklardan yola çıkarak, kemikte meydana gelen yapısal değişiklikler ortaya çıkartılabilir. Bizde çalışmamızda, vertebral kemik iliği T2 relaksasyon zamanının kantitatif olarak hesaplayarak, osteoporoz ile ilişkisini araştırdık. Literatürde konu ile ilgili az sayıda yayına rastladık.

Çalışmalarda, trabeküler kemik dansitesinin ve yapısının değişmesine bağlı olarak, kemik iliği sinyal intensitesinde ve T2 relaksasyon zamanında değişiklikler olduğu bildirilmektedir. Link ve ark.'nın çalışmasında⁴, proksimal femur T2 relaksasyon zamanı ölçümü ile, sağlıklı ve osteoporozlu hastaların ayırımının yapılabildiğini belirtilmektedir. Benzer çalışmalarda, osteoporozlu olgularda lomber vertebrada T2 relaksasyon zamanının uzadığı vurgulanmıştır^{3,19}. Zıt olarak, Dooms G ve ark.²⁰, yaşlanmayla birlikte kemik iliği T2 relaksasyon zamanının azaldığını belirtmişlerdir. Bunu da hematopoetik kemik iliğinin yerini yağlı kemik iliğinin almasına bağlamışlardır. LeBlanc AD ve ark.²¹, lomber kemik iliği T2 değerlerinin gençlerde 110 msn, yaşlılarda 106 ms olduğunu ve T2 değerlerindeki olası değişikliğin yaşlanmayla ilgili olmadığını söylemişlerdir. Wehrli FW ve ark.²² ise osteoporozda T2 relaksasyon zamanının kısalacağını belirtmişlerdir. Görüldüğü gibi lomber vertebra T2 relaksasyon zamanı ile ilgili değişik veriler bulunmaktadır. Bizim çalışmamızda da normal, osteopenik ve osteoporotik olan olgularda vertebra kemik iliği medyan T2 relaksasyon zamanları sırasıyla 113.6 ms, 114.2 ms ve 112.8 ms idi ve aralarında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık yoktu.

Çalışma grubumuzda premenopozal kadınların bulunması, çalışmamızın bir limitasyonu olarak görülebilir. Ancak, sadece 5 olgu menopoz öncesi dönemeydi. Aynı yaş grubunda olan hastalar çalışmaya alınmış ve gruplar DEXA sonuçlarına göre oluşturulmuştu. DEXA yöntemin osteoporozu saptamada duyarlılığının düşük olmasında çalışmamızda ortaya çıkan sonuçları etkileyebilir. Ancak osteoporozun tanısında DEXA günümüzde "altın standart" yöntem olarak kullanılmaktadır.

Sonuçlarımız, 50-65 yaş grubunda, vertebral kemik iliği T2 relaksasyon zamanının osteopenik ve osteoporotik olan olguların normal olan olgulardan ayırt edilmesinde faydalı olmadığını göstermiştir. Ancak, bu sonucun teyidi için, daha geniş hasta grupları içeren benzer çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Kaynaklar

1. Griffith JF, Yeung DK, Antonio GE, et al. Vertebral marrow fat content and diffusion and perfusion indexes in women with varying bone density: MR evaluation. *Radiology* 2006;241:831-8.
2. Hatipoglu HG, Selvi A, Ciliz D, Yuksel E. Quantitative and diffusion MR imaging as a new method to assess osteoporosis. *AJNR* 2007;28:1934-7.
3. Akyol Y, Alaylı G, Diren B, Cengiz K, Cantürk F, Assessment of Trabecular Bone Structure with Magnetic Resonance T2 Relaxation Time in Osteoporosis. *Turk J Phys Med Rehab* 2008;54:50-3.
4. Link TM, Majumdar S, Augat P, et al. Proximal femur: assessment for osteoporosis with T2* decay characteristics at MR imaging. *Radiology* 1998;209:531-6.
5. Brismar TB. MR relaxometry of lumbar spine, hip, and calcaneus in healthy premenopausal women: relationship with dual energy X-ray absorptiometry and quantitative ultrasound. *Eur Radiol* 2000;10:1215-21.
6. Yeung DK, Wong SY, Griffith JF, Lau EM. Bone marrow diffusion in osteoporosis: evaluation with quantitative MR diffusion imaging. *J Magn Reson Imaging*. 2004;19:222-8.
7. Sebag GH, Moore SG. Effect of trabecular bone on the appearance of marrow in gradient-echo imaging of the appendicular skeleton. *Radiology* 1990;174:855-9.
8. Strolka I, Toffanin R, Guglielmi G, Frollo I. Image Registration in the T₂* Measurements of the Calcaneus Used to Predict Osteoporotic Fractures. *Measurement science review*. 2005;5: 78-81.
9. Maris TG, Damilakis J, Sideri L, et al. Assessment of the skeletal status by MR relaxometry techniques of the lumbar spine: comparison with dual X-ray absorptiometry. *Eur J Radiol*. 2004;50:245-56.
10. Majumdar S, Genant HK. In-vivo relationship between marrow T2* and trabecular bone density determined with a chemical shift-selective asymmetric spin-echo sequence. *J Magn Reson Imaging* 1992;2:209-19.
11. Kang C, Paley M, Ordidge R, Speller R. In vivo MRI measurements of bone quality in calcaneus: a comparison with DXA and ultrasound. *Osteoporos Int* 1999;9:65-74.
12. Majumdar S, Genant HK, Grampp S, et al. Correlation of trabecular bone structure with age, bone, mineral density, and osteoporotic status: in vivo studies in the distal radius using high resolution magnetic resonance imaging. *J Bone Miner Res* 1997;12: 111-8.
13. Link T, Majumdar S, Grampp S, et al. Imaging of trabecular bone structure in osteoporosis. *Eur Radiol* 1999;9:1781-8.
14. Vieth V, Link T, Lotter A, et al. Does the trabecular bone structure depicted by high resolution MRI of the calcaneus reflect the true bone structure. *Invest Radiol* 2001;36:210-6.
15. Osteoporosis: review of the evidence for prevention, diagnosis and treatment and costeffectiveness analysis. *Osteoporos Int* 1998;8:7-80.
16. Kazakia GJ, Majumdar S. New imaging technologies in the diagnosis of osteoporosis. *Rev Endocr Metab Disord*. 2006;7:67-74.
17. Gordon CL, Lang TF, Augat P, Genant HK. Image-based assessment of spinal trabecular bone structure from high-resolution CT images. *Osteoporos Int* 1998;8:317-25.
18. Phan CM, Matsuura M, Bauer JS, et al. Trabecular bone structure of the calcaneus: comparison of MR imaging at 3.0 and 1.5 T with micro-CT as the standard of reference. *Radiology* 2006;239:488-96.
19. Funke M, Bruhn H, Vosshenrich R, Rudolph O, Grabbe E. The determination of T2* relaxation time for characterizing trabecular bone. *Rofo* 1994;161:58-63.
20. Doms G, Fisher M, Hnicak H, et al. Bone marrow imaging: magnetic resonance studies related to age and sex. *Radiology* 1985; 155:429-432.
21. LeBlanc AD, Schonfeld E, Schneider VS, Evans HJ, Taber KH. The spine: changes in T2 relaxation times from disuse. *Radiology* 1988;169:105-7.
22. Wherli FW, Ford JC, Haddad JG. Osteoporosis: Clinical assessment with quantitative MR imaging in diagnosis. *Radiology* 1995;196:631-41.