



Manyetik rezonans görüntüleme cihazlarının oluşturduğu statik manyetik alanın çalışanların kemik sağlığı üzerine olumsuz etkisi var mıdır?

Are there any adverse effects of static magnetic field from magnetic resonance imaging devices on bone health of workers?

Dr. Harun R. Güngör,¹ Dr. Nusret Ök,¹ Dr. Semih Akkaya,¹ Dr. Nuray Akkaya²

Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi ¹Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı,

²Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye

Amaç: Bu çalışmada, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) cihazlarının oluşturduğu statik manyetik alanın (SMA) MRG çalışanlarının kemik sağlığı üzerindeki etkileri araştırıldı.

Gereç ve yöntemler: En az iki yıl boyunca 1.5 Tesla MRG cihazı ile çalışan 14 gönüllü MRG teknisyeni çalışmaya dahil edildi. Cinsiyet ve yaş eşleştirilmesi yapıldıktan sonra aynı kriterler gözetilerek, SMA'ya maruz kalmayan ve kapalı alanda çalışan 14 paramedikal gönüllü personelden kontrol grubu oluşturuldu. Tüm katılımcılara dual-enerji X-ray absorptiyometri (DXA) görüntülemesi uygulandı. Paratiroid hormon, kalsiyum, fosfor, alkalen fosfat, 25-hidroksivitamin D3, ve 1.25-dihidroksivitamin D3 seviyeleri ölçüldü.

Bulgular: MRG teknisyenlerinin vertebra ve femur boynu ortalama kemik mineral içeriği (KMİ) ve ortalama kemik mineral yoğunluğu (KMY) ile birlikte ortalama 25-hidroksivitamin D3 değerleri kontrol grubuna göre anlamlı oranda düşük bulundu ($p<0.01$). Referans sınırlarda olmasına rağmen MRG teknisyenlerinin kalsiyum düzeyleri, kontrol grubuna kıyasla, daha yüksek olarak tespit edildi ($p<0.05$). Ölçülen diğer parametrelerde gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık görülmedi.

Sonuç: Mevcut bilgilerimize göre, MRG cihazlarının oluşturduğu SMA'nın çalışanların kemik sağlığı üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu ilk kez saptandı. Ancak SMA'ya kronik maruziyetin kemik metabolizmasına etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için çok merkezli çalışmalara ve hayvan deneylerine gereksinim vardır.

Anahtar sözcükler: Kemik yoğunluğu; manyetik alanlar; manyetik rezonans görüntüleme; mesleki etkilenim; vitamin D.

Objectives: In this study, we aimed to evaluate the effects of static magnetic field (SMF) from magnetic resonance imaging (MRI) devices on the bone health of MRI workers.

Materials and methods: Fourteen volunteer MRI technicians working with 1.5 Tesla MRI units at least for two years were included in the study. An age and sex-matched control group from indoor working 14 volunteer paramedical staff who were not exposed to SMF and met the identical criteria was formed. Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) scanning was performed in all participants. Parathyroid hormone, calcium, phosphorus, alkaline phosphatase, 25-hydroxyvitamin D3, and 1.25-dihydroxyvitamin D3 levels were measured.

Results: The mean vertebral and femoral neck bone mineral content (BMC) and bone mineral density (BMD) as well as the mean 25-hydroxyvitamin D3 level of MRI technicians was found to be lower than the control group ($p<0.01$). Despite presenting within the normal range, the mean calcium level of MRI technicians was higher than the control group ($p<0.05$). There was no statistically significant difference in other variables between the groups.

Conclusion: To the best of our knowledge, adverse effects of SMF from MRI devices on the bone health of MRI workers were detected for the first time. However, further multicenter studies and animal experiments are required to gain a better understanding of the mechanism that how the SMF affects bone health in chronic exposure.

Key words: Bone density; magnetic fields; magnetic resonance imaging; occupational exposure; vitamin D.

Manyetik rezonans inceleme esnasında görüntüleri oluşturmak için üç tip manyetik alan uygulanır; (i) vücutta net manyetizasyon vektörü oluşturan güçlü bir statik manyetik alan (SMA), (ii) protonları hizalamaya yarayan gradyent ya da zaman değişkenli manyetik alan (100-1000 Hz) ve (iii) manyetizasyon vektörüne enerji yükleyerek manyetik rezonans görüntüleme (MRG) cihazı tarafından tespitini sağlayan radyofrekans (RF) elektromanyetik dalga (10-100 Hz).^[1-5]

Manyetik rezonans görüntüleme cihazında incelenen hastalar bu üç tip alana maruz kalmaktadır. Şu ana kadar elde edilen bilgiler ışığında, bu manyetik alana kısa dönemli maruz kalmanın biyolojik dokular üzerindeki etkileri çok çeşitlidir. Fakat bu kısa dönemli maruz kalmanın zararlı biyo-etkileri ya da kesin bir bilimsel gerçek olarak kanıtlanmış etkisi şimdiye kadar yapılmış çalışmalarda gösterilmemiştir.^[1-4] Kayıt edilmiş önemli yaralanmalar ve birkaç ölümlü kaza ferromanyetik nesnelere MRG cihazlarındaki magnetlerle etkileşimi sonucu ortaya çıkmıştır. (örneğin; ortopedik implant, anevrizma klipsleri, tekerlekli sandalyeler, oksijen tüpü, vb).^[5-7] Günümüzde, MRG sistemleri ile ilgili oluşturulan güvenlik standartları hastaları oluşabilecek bu tehlikelerden ve yaralanmalardan korumak için yeterlidir.^[7-11]

Bunun yanında, MRG cihazıyla çalışan teknisyenler çalışma saatleri boyunca günlük olarak statik manyetik alanın etkisi altında kalmaktadırlar. Bu etkilenim, magnetin giriş bölümünde teknisyenlerin hastayı yerleştirmesi ve sargı (coil) seçimi sırasında MRG cihazının bulunduğu odada gerçekleşmektedir. Manyetik rezonans görüntüleme teknisyenleri çekim esnasında çekim odasında bulunduğu RF ve gradyent alanların etkisinde kalmazlar. Ancak hastanın özel ilgi gerektirdiği durumlarda (örneğin klostrofobik hastalar, çocuklar, ciddi sağlık sorunu olan hastalar v.b), ya da kontrast enjeksiyonu gereken durumlarda nadiren de olsa MRG teknisyenlerinin RF ve gradyent alanlara maruz kaldığı durumlar olmaktadır. Fakat yapılan

araştırmalarda bu durumlar tüm çekimlerin %3 kadarını oluşturmaktadır.^[6-9] Bu yüzden, MRG teknisyenlerini ilgilendiren kronik etkilenim SMA'dan ve bunun biyolojik etkilerinden kaynaklanmaktadır.^[6-10]

Bu çalışmada MRG cihazlarının oluşturduğu SMA'nın çalışanların kemik sağlığı üzerine etkilerini araştırmayı amaçladık.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurul onayını (No: 60116787/020/32043) takiben, Denizli'de bulunan dört MRG merkezi çalışmaya dahil edildi. Bütün merkezlerde 1.5 Tesla MRG ünitesi kullanılmaktaydı. Bu dört MRG ünitesinde toplam 29 teknisyen görevliydi. Çalışma grubumuza en az iki yıldır (haftalık 40-48 saat) görev yapmakta olan 20-40 yaş arası gönüllü teknisyenler dahil edildi. Kronik rahatsızlığı olan, sigara içen, kemik metabolizmasına etki eden ilaç kullanan ve vücut kütle indeksi (VKİ) 30'un üzerinde olan MRG teknisyenleri çalışmaya dahil edilmedi. Çalışma grubu oluşturulduktan sonra yaş, cinsiyet, çalışma saatleri ve dışlanma kriterleri gözletilerek SMA'ya maruz kalmayan gönüllü paramedikal personelden kontrol grubu oluşturuldu. Kontrol grubunu oluşturan tüm gönüllüler, MRG teknisyenlerinin çalışma ortamlarında olduğu gibi, kapalı ortamda çalışan personelden seçildi. Bu kriterlerin ışığında çalışma grubumuz 14 gönüllü MRG teknisyeninden, kontrol grubumuz 14 gönüllü paramedikal personelden oluşturuldu (Tablo I).

Çalışma grubu ve kontrol grubundaki tüm gönüllülere hastanemizde dual-enerji X-ray absorpsiyometri (DXA) yöntemi ile lomber ve sol kalça bölgesinden kemik mineral içeriği (KMİ) ve kemik mineral yoğunluğu (KMY) ölçümü yapıldı (GE Healthcare Lunar, Madison, WI, USA).

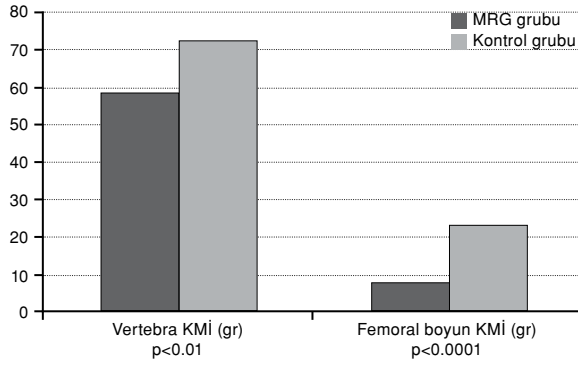
Biyokimyasal çalışmalar için tüm gönüllülerden kan örnekleri alındı. Hormonal ölçümlerde

TABLO I

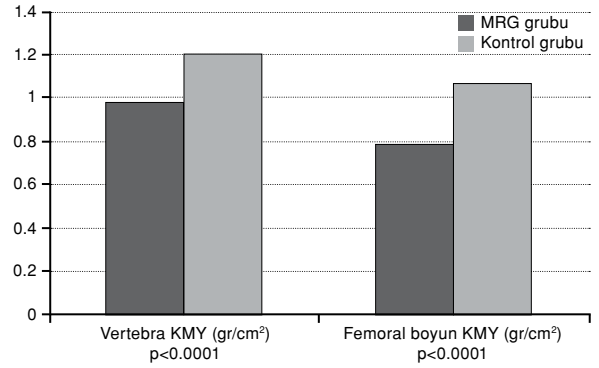
Çalışma ve kontrol grubunun dağılımı

	MRG grubu		Kontrol grubu	
	Sayı	Ort.±SS	Sayı	Ort.±SS
Yaş		33.4±5.8		29.9±5.1
Cinsiyet				
Erkek	7		7	
Kadın	9		5	
Vücut kütle indeksi		24.49±3.42		25.06±3.74
Haftalık çalışma saati	43.43		44.6	

MRG: Manyetik rezonans görüntüleme; Ort.±SS: Ortalama ± standart sapma.



Şekil 1. Gruplar arası vertebral ve femoral KMI değerlerinin karşılaştırılması. MRG: Manyetik rezonans görüntüleme; KMI: Kemik mineral içeriği.



Şekil 2. Gruplar arası vertebral ve femoral kemik mineral yoğunluğu (KMY) değerlerinin karşılaştırılması.

standardizasyon sağlamak amacıyla tüm örnekler sabah saatlerinde alındı. Bu kan örneklerinde paratiroid hormon, kalsiyum, fosfor, alkalin fosfataz, 25-hidroksivitamin D₃ ve 1.25-dihidroksivitamin D₃ analizleri Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyokimya Laboratuvarları'nda gerçekleştirildi.

İstatistiksel analizler SPSS versiyon 18.0 istatistiksel paket programı kullanılarak yapıldı. (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Tanımlayıcı istatistikler (ortalama ± standart sapma, frekans ve yüzde) iki grup için hesaplandı. Parametrik ve parametrik olmayan testler; sırasıyla, değişkenlerin iki grup ortalaması farklılıkları için (iki ortalama arasındaki farkın önemlilik testi) bağımsız örnekler t-testi ve Mann-Whitney U testi kullanıldı. Kategorik değişkenlerin karşılaştırılması için ki-kare testi kullanıldı. Sürekli değişkenler arasında ilişki olup olmadığına karar vermek için Pearson korelasyon katsayısı kullanıldı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi p<0.05 olarak kabul edildi.

BULGULAR

Kontrol ve çalışma gruplarının genel özellikleri Tablo I'de özetlenmiştir. Cinsiyet, yaş dağılımı ve VKİ açısından gruplar arası farklılık bulunmadı (p>0.05). Çalışma grubu için ünite ortalaması çalışma süresi 108.4±74.7 ay olarak belirlendi.

Ortalama vertebral KMI, çalışma grubu için 57.9±15.9 gr, kontrol grubu için ise 71.6±9.8 gr olarak bulundu. İstatistiksel olarak gruplar arasında anlamlı farklılık vardı (p<0.0001). Ortalama femur boynu KMI, çalışma grubu için 7.5±5.8 gr, kontrol grubu için 22.9±4.6 gr olarak tespit edildi. İstatistiksel olarak gruplar arası anlamlı farklılık vardı (p<0.01) (Şekil 1).

Ortalama vertebral KMY, çalışma grubu için 0.98±0.18 gr/cm², kontrol grubu için 1.21±0.11 gr/cm² olarak bulundu. İstatistiksel olarak gruplar arası anlamlı farklılık vardı (p<0.0001). Ortalama femur boynu KMY, çalışma grubu için 0.79±0.12 gr/cm², kontrol grubu için 1.07±0.11 gr/cm² olarak bulundu. İstatistiksel olarak gruplar arası anlamlı farklılık vardı (p<0.0001) (Şekil 2).

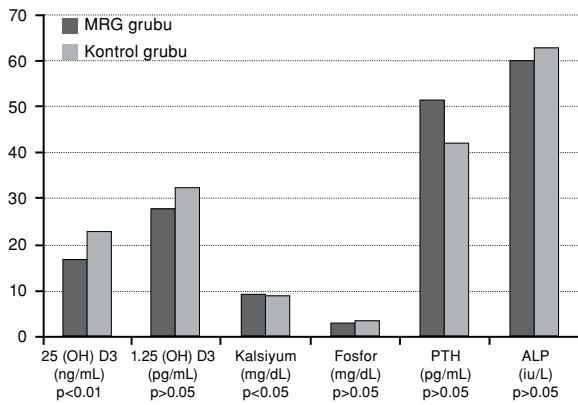
Ortalama laboratuvar değerleri çalışma grubu ve kontrol grubu için Tablo II ve Şekil 3'de verilmiştir. Ortalama 25-hidroksivitamin D₃ değerlerinde gruplar arası anlamlı farklılık bulundu. Ortalama kalsiyum seviyesi çalışma grubu için kontrol grubuna göre hafif yüksek bulundu. İstatistiksel olarak gruplar arası anlamlı farklılık vardı. Paratiroid hormon, fosfor, alkalin fosfataz ve 1.25-hidroksivitamin D₃ seviyelerinde gruplar arası istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadı.

TABLO II

Laboratuvar sonuçlarının ortalama değerleri

	25-(OH)D ₃ (ng/mL)	1.25-(OH)D ₃ (pg/mL)	Kalsiyum (mg/dL)	Fosfor (mg/dL)	PTH (pg/mL)	Alkalin fosfataz (iu/L)
Referans	>20	20-80	8.6-10.2	2.6-4.5	15-65	40-130
MRG grubu	16.9±5.34	28.1±12.2	9.58±0.34	3.43±0.49	51.6±22.5	60.4±9.96
Kontrol grubu	23±7.42	32.4±8.13	9.24±0.43	3.56±0.34	42.4±11.9	63.1±16.8
p	<0.01	>0.05	<0.05	>0.05	>0.05	>0.05

25-(OH)D₃: 25-hidroksivitamin D₃; 1.25-(OH)D₃: 1.25-hidroksivitamin D₃; MRG: Manyetik rezonans görüntüleme; PTH: Paratiroid hormon; Ort.±SS: Ortalama ± standart sapma.



Şekil 3. Gruplar arası ortalama laboratuvar değerlerinin karşılaştırması. PTH: Paratiroid hormon; ALP: Alkalen fosfataz.

Çalışma grubunda, vertebral KMY ile femoral KMY arasında güçlü pozitif bir ilişki tespit edildi ($p<0.001$, $r=0.780$). Ayrıca vertebral KMI ve KMY arasında güçlü pozitif ilişki ($p<0.001$, $r=0.783$), femoral KMI ve KMY arasında orta dereceli ilişki ($p<0.05$, $r=0.534$) bulundu. Çalışma grubundaki 1.25-dihidroksivitamin D₃ seviyelerinin vertebral ve femoral KMY ölçümleri ile negatif ilişkili olduğu görüldü ($p<0.05$ ve sırasıyla $r= -0.601$, $r= -0.667$).

TARTIŞMA

Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar MRG cihazlarının oluşturduğu SMA'nın çalışanların 25-hidroksivitamin D₃ seviyelerinde, KMI ve KMY ölçümlerinde azalmaya yol açtığını gösterdi. Çalışma grubunun ortalama kalsiyum seviyeleri kontrol grubuna göre hafif yüksek bulundu. Diğer ölçülen laboratuvar parametreleri için gruplar arası anlamlı farklılık bulunmadı.

Literatürde, SMA'nın kemik üzerine etkileri ile ilgili çelişkili bilgiler bulunmaktadır. Xu ve ark.^[12] overektomize sıçanların osteoporotik lomber omurgalarına uygulanan manyetik diskten kaynaklı 180 mT SMA'nın KMY üzerine etkisini bildirmişlerdir. Bu çalışmaya göre, SMA overektomize sıçanların osteoporotik omurgalarının KMY değerlerini artırmıştır. Aydın ve Bezer^[13] SMA içeren intramedüller çivinin osteotomize sıçan femurunun iyileşmesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırma sonucunda, SMA'nın erken kırık iyileşmesinde osteogenezisi başlattığı sonucuna varmışlardır. Fakat bu ve bu gibi çalışmaların tümünde SMA'ya bağlı kronik etkilenimin gerçek yaşamda olduğu gibi magnet ve kemik arasındaki göreceli hareketle oluşturulamaması nedeniyle sonuçların değerlendirilmesi güçleşmektedir. Gerçekte, SMA'nın etkisi nesneye herhangi bir formda

enerji veren basit bir stimülasyon şeklinde değil, yerçekimi etkisinde olduğu gibi göreceli etkilenim içeren bir durumu işaret etmektedir. Diğer bir deyişle, magnet ile kemik arasındaki göreceli hareket SMA'nın biyolojik etkilerini oluşturmaktadır.^[3-5,14] Bu yüzden bu çalışmalar mesleki etkilenimde, SMA'nın kemikler üzerindeki etkilerini açıklamaya yönelik bilgiler içermemektedir.

Aıda ve ark.^[15] SMA'nın 25-hidroksivitamin D₃, fosfor ve kalsiyum seviyeleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sıçanlar kafes içerisinde serbestçe hareket edebilecek şekilde iken günlük bir saat ve beş gün boyunca 128 mT manyetik alana maruz bırakılmışlardır. Sonuç olarak kalsiyum ve fosfor seviyeleri aynı kalırken 25-hidroksivitamin D₃ seviyelerini düşük olarak tespit etmişlerdir. Literatür araştırmamızda, bu çalışma SMA'nın göreceli hareket ile etkisini araştıran tek çalışma olarak bulunmuştur. Biz de kendi çalışmamızda çalışma grubunda D₃ hipovitaminozu tespit ettik (ortalama 16.9 ± 5.34 ng/mL). Vitamin D₃ yetersizliği "American Institute and Medicine" uygulama kılavuzunda 25-hidroksivitamin D₃ seviyesinin 20 ng/mL'den daha düşük olması şeklinde tanımlanmıştır.^[16-18]

Manyetik rezonans görüntüleme teknisyenleri kapalı ortamda çalışmaktadır ve güneş ışığına maruz kalmaları sınırlı olabilmektedir. Bu yüzden biz de kontrol grubumuzu çalışma grubundaki MRG teknisyenlerinde olduğu gibi kapalı ortamda çalışan paramedikal personelden seçtik. Bunun yanında, Itoh ve ark.^[19] kapalı ortamda çalışan Japon erkeklerini, gündüz çalışan işçiler ve gece çalışan işçiler ile 25-hidroksivitamin D₃ seviyesi için karşılaştırmalarına rağmen bu gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit etmemişlerdir.

Çalışma grubunda 1.25-dihidroksivitamin D₃ seviyesinin negatif olarak vertebral ve femoral KMY ile ilişkili olması vitamin D₃'ün biyolojik aktif formunun azalan KMY karşısında arttığını göstermektedir. Bu durum ise böbreklerde hidroksile olarak 1.25-dihidroksivitamin D₃'e dönüşen 25-hidroksivitamin D₃ seviyesindeki azalmayı açıklayabilir.^[16-18,20] Fakat çalışma grubunda vertebral ve femoral KMY'deki azalmanın D₃ hipovitaminozu ya da bunun SMA'nın göreceli hareket ile oluşan etkisine mi bağlı olduğu konusunda açıklayıcı bir bilgi elde edilememiştir. Ayrıca SMA'ya kronik etkilenimden kaynaklanan osteopeninin, osteoklastik aktivitenin artışına mı yoksa osteoblastik aktivitenin azalmasına mı bağlı olduğu, hormonal faktörlerin ya da hücresele seviyede diğer faktörlerin mi etkili olduğunu belirlemek bu bilgiler ışığında mümkün görülmemektedir.^[21-23] İyi kurgulanmış,

daha ileri hayvan deneylerinin SMA'nın *in vivo* etkilerini simüle edilerek yapılması bu sorulara yanıt bulmamız konusunda bize yardımcı olacaktır.

Bölgemizde kısıtlı sayıda MRG teknisyeni olması ve çalışmaya dahil olma kriterlerimizin çalışma grubumuzu kısıtlamasına rağmen sonuçlarımız istatistiksel olarak anlamlı bulundu. Çalışmamızın bu güçsüz yanını telafi etmek ve daha geniş çalışma grubu oluşturmak için çokmerkezli ve daha geniş bütçeli çalışmalara gereksinim vardır.

Ayrıca MRG teknisyenlerinin SMA'ya maruz kalma dozunun belli olmaması çalışmamızı sınırlayan faktörlerden bir diğeridir. Karpowicz ve Gryz,^[8] MRG teknisyenlerinin SMA'ya maruz kalma dozunun MR magnetine, görüntüleme cihazının dizaynına ve çalışma organizasyonuna göre değiştiğini bildirmişlerdir. Manyetik rezonans magnetinin bulunduğu odada hareket etme şekli ve yürüme hızı SMA'ya maruz kalma dozunu belirleyen diğer faktörlerdir. Bir hastayı 1.5 Tesla MRG ünitesinde değerlendirme süresince MRG teknisyenlerinin SMA'ya ortalama maruz kalma dozu 85 mT'ye kadar çıkabilmektedir. Bu değerler teknisyenin hastayı yerleştirme esnasında magnet ağızına eğilmesi ile 200 mT'ye kadar ulaşabilmektedir. Bu değerleri tam olarak MRG teknisyeni bazında belirlemek çok uzun ve pahalı bir yöntem olarak kabul edilmiştir.

Sonuç olarak, şu ana kadar yapılan literatür incelemesi ışığında çalışmamızın sonuçlarına göre MRG cihazlarının oluşturduğu SMA'nın çalışanların kemik sağlığı üzerine olumsuz etkileri olduğu ilk defa gösterilmiştir. Bunun yanında, daha geniş gruplar ile çokmerkezli çalışmalar ve daha iyi tasarlanmış hayvan deneyleri yapılması SMA'nın kemik sağlığı üzerindeki etkilerini açıklamaya yardımcı olacaktır. Bu da, röntgende olduğu gibi daha etkili koruyucu önlemler alınmasına katkıda bulunacaktır.^[24]

Çıkar çakışması beyanı

Yazarlar bu yazının hazırlanması ve yayınlanması aşamasında herhangi bir çıkar çakışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Finansman

Yazarlar bu yazının araştırma ve yazarlık sürecinde herhangi bir finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

KAYNAKLAR

1. van Rongen E, Saunders RD, van Deventer ET, Repacholi MH. Static fields: biological effects and mechanisms relevant to exposure limits. *Health Phys* 2007;92:584-90.
2. Alberich Bayarri A, Martí Bonmatí L, Lafuente J, Guibelalde del Castillo E. Safe use of magnetic resonance imaging:

- practical recommendations for personnel. *Radiologia* 2013;55:99-106. [Abstract]
3. Chakeres DW, de Vocht F. Static magnetic field effects on human subjects related to magnetic resonance imaging systems. *Prog Biophys Mol Biol* 2005;87:255-65.
4. Formica D, Silvestri S. Biological effects of exposure to magnetic resonance imaging: an overview. *Biomed Eng Online* 2004;3:11.
5. Franco G, Perduri R, Murolo A. Health effects of occupational exposure to static magnetic fields used in magnetic resonance imaging: a review. *Med Lav* 2008;99:16-28. [Abstract]
6. Hansson Mild K, Alanko T, Decat G, Falsaperla R, Gryz K, Hietanen M, et al. Exposure of workers to electromagnetic fields. A review of open questions on exposure assessment techniques. *Int J Occup Saf Ergon* 2009;15:3-33.
7. Hartwig V, Giovannetti G, Vanello N, Lombardi M, Landini L, Simi S. Biological effects and safety in magnetic resonance imaging: a review. *Int J Environ Res Public Health* 2009;6:1778-98.
8. Karpowicz J, Gryz K. Health risk assessment of occupational exposure to a magnetic field from magnetic resonance imaging devices. *Int J Occup Saf Ergon* 2006;12:155-67.
9. McRobbie DW. Occupational exposure in MRI. *Br J Radiol* 2012;85:293-312.
10. Riches SF, Collins DJ, Charles-Edwards GD, Shafford JC, Cole J, Keevil SF, et al. Measurements of occupational exposure to switched gradient and spatially-varying magnetic fields in areas adjacent to 1.5 T clinical MRI systems. *J Magn Reson Imaging* 2007;26:1346-52.
11. de Vocht F, van Drooge H, Engels H, Kromhout H. Exposure, health complaints and cognitive performance among employees of an MRI scanners manufacturing department. *J Magn Reson Imaging* 2006;23:197-204.
12. Xu S, Tomita N, Ohata R, Yan Q, Ikada Y. Static magnetic field effects on bone formation of rats with an ischemic bone model. *Biomed Mater Eng* 2001;11:257-63.
13. Aydın N, Bezer M. The effect of an intramedullary implant with a static magnetic field on the healing of the osteotomised rabbit femur. *Int Orthop* 2011;35:135-41.
14. Miyakoshi J. Effects of static magnetic fields at the cellular level. *Prog Biophys Mol Biol* 2005;87:213-23.
15. Aïda L, Frédéric L, Soumaya G, Philippe H, Mohsen S, Hafedh A. Static magnetic field induced hypovitaminosis D in rat. *J Vet Med Sci* 2013;75:1181-5.
16. Ataoğlu MB, Atik OŞ, Gül O, Sarıkaya B, Görmeli G, Öztürk BY, et al. A comparison of the measurements with biochemical markers of bone turnover and bone mineral density in the assessment of the efficiency of osteoporosis treatment. [Article in Turkish] *Eklem Hastalık Cerrahisi* 2013;24:82-6.
17. Kozacı DL, Oner S, Ozkan I, Cullu E, Alparlan A, Yurekli Y, et al. Evaluation of osteoporosis in early and late postmenopausal women: correlations between bone mineral density and bone turnover markers, *Eklem Hastalık Cerrahisi* 2006;17:28-32.
18. Clowes JA, Eastell R. The laboratory and clinical assessment of osteoporosis and fractures risk: markers of bone turnover and laboratory evaluation of secondary osteoporosis. In: Cumming SR, Cosman F, Jamal S, editors. *Osteoporosis: An Evidence-Based Approach to the Prevention of Fractures*. Philadelphia: American College of Physicians; 2002. p. 59-82.

19. Itoh H, Weng Z, Saito H, Ogawa Y, Nakayama K, Hasegawa-Ohira M, et al. Association between night-shift work and serum 25-hydroxyvitamin D levels in Japanese male indoor workers: a cross-sectional study. *Ind Health* 2011;49:658-62.
20. Holick MF, Binkley NC, Bischoff-Ferrari HA, Gordon CM, Hanley DA, Heaney RP, et al. Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline. *Clin Endocrinol Metab* 2011;96:1911-30.
21. Blake GM, Knapp KM, Spector TD, Fogelman I. Predicting the risk of fracture at any site in the skeleton: are all bone mineral density measurement sites equally effective? *Calcif Tissue Int* 2006;78:9-17.
22. Cummings SR, Bates D, Black DM. Clinical use of bone densitometry: scientific review. *JAMA* 2002;288:1889-97.
23. Akkaya N, Akkaya S, Yıldız N, Atalay NS, Sahin F. Compliance of postmenopausal osteoporotic and osteopenic patients with calcium and vitamin D therapy. [Article in Turkish] *Eklemler Hastalıkları Cerrahisi* 2010;21:130-5.
24. Gürsu S, Gürsu T, Çamurcu Y, Yıldırım T, Gürsu A, Şahin V. Efficacy of gonadal shielding in pediatric pelvis X-rays. [Article in Turkish] *Eklemler Hastalıkları Cerrahisi* 2013;24:87-90.