



DEXA ÇEKİMLERİNDE YÜKSEK ENERJİLİ RADYONÜKLİDLERDEN SALINAN GAMA IŞINLARININ KEMİK MİNERAL YOĞUNLUĞU ÖLÇÜLERİNE ETKİSİ: FANTOM ÇALIŞMASI

THE EFFECT OF GAMMA RAYS EMITTED FROM HIGH ENERGY RADIONUCLIDES ON BONE MINERAL DENSITY MEASUREMENTS IN DEXA: THE PHANTOM STUDY

Nazenin İpek Işıkcı^{1*}, Mustafa Demir²

¹Nişantaşı Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ²İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

ORCID iD: Nazenin İpek Işıkcı: 0000-0003-2337-2598; Mustafa Demir: 0000-0002-9813-1628

***Sorumlu Yazar / Corresponding Author:** Nazenin İpek Işıkcı, e-posta / e-mail: nazeninipek@hotmail.com

Geliş Tarihi / Received: 25.02.2020

Kabul Tarihi / Accepted: 28.09.2020

Yayın Tarihi / Published: 02.10.2020

Öz

Amaç: Bu çalışmanın amacı Nükleer Tıpta tanı ve tedavi amacıyla kullanılan İyot-131 (I-131) ve Flor-18 (F-18) radyonüklidlerinden salınan yüksek enerjili gama ışınlarının DEXA çekimlerinde kemik mineral yoğunluğu (BMD) üzerine etkisinin araştırılmasıdır.

Yöntem: DEXA yöntemi ile kalite kontrol fantomunda L1-L4 vertebralardan kemik mineral yoğunluğu ölçümleri yapılarak referans BMD değerleri belirlendi. Bir su tankı içine önce 0,5-5 mCi (18,5-185 MBq) arasında değişen miktarlarda I-131 konularak homojen karışım sağlandı. Sonra tankın üstüne vertebra fantomu konuldu. Deney düzeneğinde sadece radyonüklid aktivitesi değiştirilip diğer geometrik koşullar sabit tutularak toplam 6 kez çekim yapıldı. Daha sonra aynı işlemler F-18 radyonüklidi kullanılarak tekrarlandı.

Bulgular: Referans BMD $1,00 \pm 0,05$ gr/cm², I-131 için tüm aktivitelerin ortalamasına göre BMD değeri $1,012 \pm 0,034$ gr/cm² F-18 için tüm aktivitelerin ortalamasına göre BMD değeri $1,016 \pm 0,047$ gr/cm² bulundu.

Sonuç: Sonuçlarımıza göre, tanı amaçlı I-131 (<6 mCi) ve F-18 radyonüklidlerine ait radyofarmasötik uygulamalarında aynı gün içinde DEXA çekimlerinin yapılabileceği, yüksek doz I-131 tedavi uygulamalarında ise radyasyon güvenliği yönünden 1 hafta sonra DEXA çekimlerinin yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: DEXA, kemik mineral yoğunluğu ölçümü, F-18, I-131

Abstract

Objective: The aim of this study was to investigate the effect of high energy gamma rays released from radionuclides used in Nuclear Medicine Iodine-131 (I-131) and Flour-18 (F-18) on bone mineral density (BMD) in DEXA scan.

Methods: Bone mineral density measurements were made by DEXA from L1-L4 vertebrae using dedicated quality control phantom and the corresponding BMD values. A homogeneous mixture was prepared by diluting different I-131 activity ranged from 0.5-5 mCi (18.5-185 MBq) into a water tank. Then, the vertebra phantom was placed on the tank. In the experimental setup, only the radionuclide activity was changing and the other geometric conditions were kept fixed along the acquired 6 scans. The same steps were repeated using F-18 radionuclide.

Results: For reference BMD 1.00 ± 0.05 gr / cm², I-131 BMD value according to the average of all activities 1.012 ± 0.034 gr / cm². For F-18 BMD value according to the average of all activities 1.016 ± 0.047 gr/cm².

Conclusion: According to our results, it was determined that DEXA shots could be performed on the same day in diagnostic I-131 (<6 mCi) and F-18 FDG radiopharmaceutical applications. In high-dose I-131 treatments, DEXA is recommended to be applied one week after the treatment in terms of radiation safety.

Keywords: DEXA, bone mineral density measurement, F-18, I-131

Giriş

Kemik mineral yoğunluğunu ölçen modern yöntemlerden biri DEXA (Dual Enerji X-ışını Absorbsiyometrisi) dir. Bu yöntem hızlı ve güvenilir olup aynı zamanda etkinliği birçok çalışma ile kanıtlanmış ve altın standart olarak kabul edilmiştir. DEXA ile genel olarak kalça ve lomber vertebra ölçümleri yapılır. Hasta takiplerinde T ya da Z skoru (istatistiksel bilgiler) yerine BMD (g/cm^2) ölçümleri kıyaslanmaktadır. Kemik mineral yoğunluğu, DEXA yöntemi ile alansal (2 boyutlu) ölçülerek birim alandaki (g/cm^2) mineral miktarını gram olarak ifade eder.¹⁻⁴

DEXA sistemleri, 140 keV (yüksek enerjili) ve 90 keV (düşük enerjili) olmak üzere iki ayrı enerji seviyesinde X-ışınları yaymaktadır. Düşük enerjiye sahip ışınlar özellikle yumuşak dokuları, yüksek enerjiye sahip ışınlar ise kemik dokuları bilgi sağlamaktadır. Bu enerji seviyelerindeki X-ışınlarına ait foton atenüasyon oranlarının belirlenmesine dayanarak kemik ve yağ dokusunun ayrı ayrı kitleleri de hesaplanabilmektedir.⁵

Nükleer tıpta tanı ve tedavi amacıyla radyofarmasötikler kullanılır. Tanısal amaçlı kullanılan radyonüklidlerin enerjileri; düşük enerjili <150 keV, orta enerjili 150-300 keV ve yüksek enerjili >300 keV arasındadır. I-131 radyonüklidi (radyoiyod) Nükleer Tıpta tiroid hastalıklarının tanı ve tedavisinde kullanılmaktadır. Bu radyonüklidin 364 keV enerjili gama ışınları tanısal amaçlı kullanılırken, tedavide 606 keV enerjili beta ışınları kullanılır. Tanıda <5mCi (185 MBq), benign tiroid hastalıklarının (hipertiroidi) tedavisinde 6-30 mCi (222-1110 MBq) aktivite miktarlarında I-131 kullanılmaktadır.⁶

Tanısal amaçlı uygulamalardan; tiroid uptake ve tiroid sintigrafisi ile tüm vücut sintigrafilerinde hastalara oral yolla ayaktan radyoiyod uygulaması yapılır. Hipertiroidi tedavisinde uygulama oral yolla ve ayaktan yapılır. Uygulamadan sonra hastaların vücutlarında radyoiyod bulunacağından, hastaların radyasyon korunması yönünden uymaları gereken radyasyon korunması kuralları yazılı ve sözlü olarak hastaya bildirilir. Tiroid kanseri tedavisinde 30-300mCi (1110-11110 MBq) aktivite miktarlarında radyoiyod oral yolla hastalara uygulanmaktadır. Uygulamadan sonra hastalar nükleer tıp kliniklerindeki kurşun izolasyonlu odalarda yatırılmaktadır. Tiroid kanserli hastalarda radyoiyod uygulaması total tiroidektomi sonrası yapıldığından hastanın radyoiyod tutan metastazı yoksa radyoiyodun % 66 miktarı idrar ile 24 saate atılmaktadır.⁷ Hasta vücudunda 600 MBq radyoiyod aktivitesi veya buna karşılık olan hastanın batın hizasından 1 metre mesafeden ölçülen doz hızı <30 μ Sv/saat ise hasta taburcu edilmektedir.

Flor-18 (F-18) radyonüklidi genellikle onkolojik hastalıkların tanısında kullanılır. Bu radyonüklidin klinik kullanımında çeşitli formları olmakla birlikte florodeoksiglukoz (FDG) en yaygın kullanılan farmasötiktir. F-18 radyonüklidinin 110 dakika fiziksel yarılanma süresi, 511 keV enerjili anihilasyon fotonları vardır. PET görüntüleme bu enerjideki fotonların deteksiyonuna dayanır. Bu radyofarmasötik kanserin primer odağının belirlenmesinde, metastatik odakların belirlenmesinde, tedaviye yanıtın değerlendirmesinde, evrelemede, radyoterapi planlamada rutin olarak kullanılmaktadır.⁸

Tiroid kanser tedavisi gören hastalar total tiroidektomiden sonra yaşam boyu levothyroxine kullanılmaktadırlar. Eksojen olarak supressif dozlarda bu ilacın osteoporozu yol açtığı bilinmektedir. Menopoz sonrası kadınlar, erkekler ve TSH-supresyon tedavisi alan aile öyküsü olan hastalarda

osteoporoz gelişme eğilimi olduğu bildirilmiştir.⁹ Nüks şüphesi ile gelen tiroid kanseri hastalarında F-18 FDG çekimleri de yapılmaktadır.¹⁰

Bu çalışmanın amacı, I-131 ve F-18 radyonüklidleri ile tanısal tetkik yaptıran veya tedavi olan hastalarda kemik mineral yoğunluğu ölçümü yapmak için uygun çekim zamanının belirlenmesi, I-131 ve F-18 radyonüklidlerinin gama radyasyonlarının BMD değerleri üzerine etkisinin araştırılmasıdır.

Yöntem

Deney Düzenegi

Çalışmamızda kullandığımız DEXA kalite kontrol fantomu normal kemik yoğunluğuna ($1,00 g/cm^2$) sahip olup L1-L4 vertebralardan oluşmaktadır. Normal yumuşak dokuyu temsil etmek üzere fantomda fiberglas malzeme kullanılmıştır. Vücuttaki radyoaktiviteyi taklit etmek üzere I-131 ve F-18 aktivitelerinin konulacağı $25 \times 35 \times 15$ cm ölçülerinde plastik malzemeden yapılmış su tankı düzenegi kullanıldı. Fantom DEXA ölçümleri Hologic QDR 4500 Elite sisteminde yapıldı (Çizim 1).



Çizim 1. BMD ölçümleri için hazırlanan Standart DEXA fantom düzeneginin çekim için hazırlanmış görüntüsü. Altta su tankı, üstte DEXA kalite kontrol fantomu görünmektedir.

Gama Kamerada Sayım-Aktivite Dönüşümü

Nükleer Tıp Anabilim Dalında tiroid kanseri tedavisi nedeniyle 30-200 mCi (1110-7400 MBq) radyoiyod uygulanmış rastgele seçilen 10 hastanın Siemens marka Symbia T16 SPECT/BT cihazında çekilen tüm vücut sintigrafileri üzerinden alt batın-pelvis bölgesi retrospektif olarak seçildi. Seçilen görüntüler gama kameranın iş istasyonuna taşınarak ilgi alanları (ROI) çizildi. Böylece ROI'ler içindeki sayımlar bulundu. Dönüşüm dataları kullanılarak sayım-aktivite dönüşümü yapıldı. Dönüşüm değerlerine göre belirlenen ve böylece su tankına konulacak I-131 aktivite miktarının alt ve üst limitleri belirlenmiş oldu. ROI içindeki sayımların karşılığı olan aktivite miktarı μ Ci (MBq) cinsinden bulundu. Daha sonra aynı işlemler F-18 FDG çekimi yapılan 10 hasta üzerinde uygulandı. Bu hastaların da altbatın/pelvis bölgeleri üzerinden ROI'ler çizildi. ROI içindeki sayımların karşılığı olan aktivite miktarı μ Ci (MBq) cinsinden bulundu.

DEXA Görüntüleme

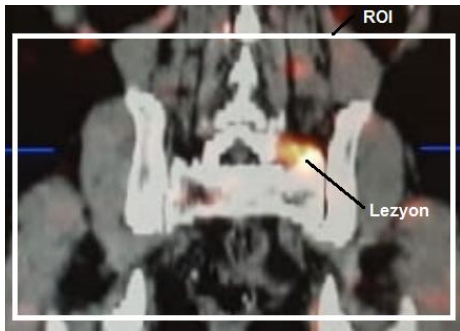
DEXA fantomunun rutin klinik kullanımdaki yöntem ile çekimi yapıldı. L1-L4 vertebraların BMD değerleri belirlendi. Bu değerler referans değerler olarak alındı. Sonra su tankı içine sırayla 0,5 mCi (18,5 MBq), 1 mCi (37 MBq), 2 mCi (74 MBq), 3 mCi (111 MBq), 4 mCi (148 MBq) ve 5

mCi (185 MBq) aktivite miktarlarında I-131 konularak homojen karışım sağlandı. Daha sonra tankın üstüne vertebra fantomu konuldu. Deney düzeneğinde sadece radyonüklid aktivitesi değiştirilip diğer geometrik koşullar sabit tutularak toplam 6 kez çekim yapıldı. Her çekim sonucunda L1-L4 vertebraların I-131 etkisinde BMD değerleri çıkarıldı. I-131 için yapılan işlemlerin aynı F-18 radyonüklidi kullanılarak tekrarlandı.

Bu çalışma için İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 03.03.2020 tarihli A-32 numaralı etik kurul onayı alındı.

Bulgular

I-131 aktivite dönüşüm değerlerinden; ROI sayımlarına karşılık gelen I-131 aktivitelerinin 0,45-5,12 mCi (16,65-189,44 MBq) arasında F-18 aktivitelerinin; 0,49-4,68 mCi (18,13-173,16 MBq) arasında olduğu belirlendi. Pelvis bölgesindeki metastaz nedeniyle metastatik tiroid kanseri tedavisi gören bir hastanın I-131 SPECT/BT sintigrafisinde metastaz yeri görülmektedir (Çizim 2). Bu data'lara dayanarak fantomdaki su tankının içine konulacak I-131 ve F-18 aktivite miktarları sırayla 0,5 mCi (18,5 MBq), 1,0 mCi (37 MBq), 2,00 mCi (74 MBq), 3,00 mCi (111 MBq), 4,00 mCi (148 MBq) ve 5 mCi (185 MBq) olarak seçildi ve uygulandı.



Çizim 2. I-131 uygulanmış bir hastanın pelvis bölgesindeki metastaz (lezyon) ve ROI görüntüsü

DEXA çekimlerinde ilk olarak saçılmasız (hava) ortamda sadece fantom görüntüsü alındı. Görüntü analizinden DEXA kalite kontrol fantomunun BMD değerlerinin $1,00 \pm 0,05$ olduğu belirlendi. Bunlar BMD referans değeri olarak seçildi.

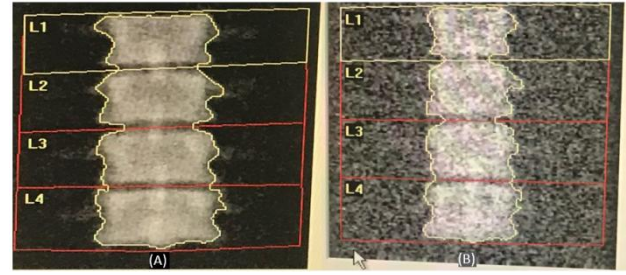
I-131'in BMD değerlerine etkisini belirlemek için; 0,5 mCi (18,5 MBq) I-131 miktarı ile başlanıp sonraki çekimlerde aktivite miktarı 1'er mCi (37 MBq) artırılarak 5 mCi (185 MBq) değerine kadar toplam 6 kez çekim yapıldı. DEXA çekimlerinde lomber vertebra (L1-L4) görüntüleri cihazın iş istasyonunda işlenerek vertebraların kemik mineral yoğunluğu (BMD) değerleri belirlendi (Çizelge 1).

Çizelge 1. Fantom DEXA çekimlerinde farklı I-131 aktivitelerinde L1-L4 vertebraların BMD (g/cm^2) değerleri

	Aktivite I-131, mCi (MBq)					
	0,5(18,5)	1(37)	2(74)	3(111)	4(148)	5(185)
L1	0,975	1,00	0,969	0,966	1,027	0,999
L2	0,983	0,989	0,977	0,997	0,959	0,997
L3	1,066	1,036	1,024	0,981	1,027	1,02
L4	1,040	1,043	1,058	1,055	1,047	1,036

Referans görüntü ile aktivite etkisinde alınan görüntüler karşılaştırıldığında; su ile karıştırılan I-131 aktivitesinin

görüntü netliğini azalttığı, özellikle L1-L4 vertebra etrafında çözünürlüğü önemli oranda değiştirdiği görülmektedir (Çizim 3).



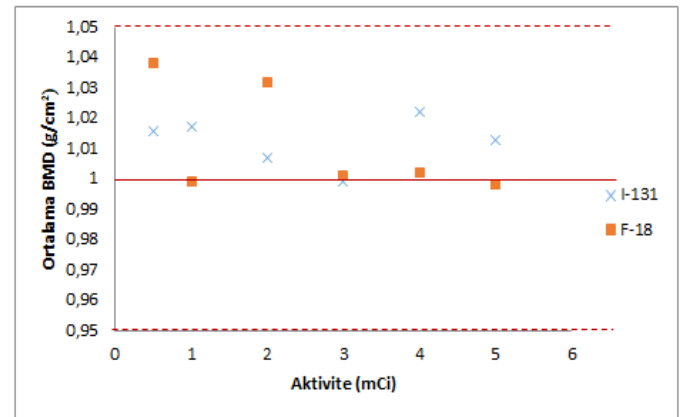
Çizim 3. Fantomun referans DEXA görüntüsü (A), 5 mCi I-131 aktivite değerlerinde alınan L1-L4 vertebra DEXA görüntüsü.

F-18'in BMD değerlerine etkisini belirlemek için; I-131'de yapılan işlemler aynı deney geometrilerinde tekrarlandı. Elde edilen BMD değerleri Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2. Fantom DEXA çekimlerinde farklı F-18 aktivitelerinde L1-L4 vertebraların BMD (g/cm^2) değerleri

	Aktivite F-18, mCi (MBq)					
	0,5(18,5)	1(37)	2(74)	3(111)	4(148)	5(185)
L1	1,015	0,967	0,945	0,987	0,965	0,975
L2	0,989	1,022	0,995	1,011	0,962	0,959
L3	0,985	1,059	0,996	1,022	1,034	1,018
L4	1,104	1,105	1,061	1,108	1,045	1,056

Su tankı içinde I-131 ve F-18 aktiviteleri ile 6'şar adet görüntü alındı. Her I-131 ve F-18 aktivitesi etkisinde alınan DEXA çekimlerinden elde edilen L1, L2, L3 ve L4 vertebralara ait ortalama BMD Çizim 4'te verildi. DEXA fantomunun $1,00 \pm 0,05$ referans limit değerleri göz önüne alındığında lomber vertebraların ortalama BMD değerlerinin tüm çekimlerde limitlerin içinde olduğu sonucuna varıldı.



Çizim 4. 0,5-5 mCi I-131 ve F-18 aktivitelerine karşılık L1-L4 vertebra ortalama BMD değerleri değişimleri (Kesikli çizgiler: Limit sınır referans BMD değerleridir.)

Tartışma

Meuller ve ark.¹¹ I-131; Teknesyum-99m (Tc-99m); Talyum 201 (Tl-201); Galyum 67 (Ga-67) izotoplarının BMD ölçümlerine etkilerini araştırmışlar ve DEXA çekimleri için iki farklı tarayıcı sistem kullanmışlardır. Kullandıkları Lunar Prodigy sistemindeki taramalarında; radyoizotop aktivitesinin BMD üzerindeki etkisinin kaynak yerine, gücüne ve radyoizotopa bağlı olduğunu bulmuşlardır. Ancak Hologic QDR 4500 sisteminde anlamlı fark bulamamışlar,

radioaktivitenin DEXA ölçümleri üzerindeki etkisinin sisteme bağlı olduğunu saptamışlardır. Liang-Jun Xie ve arkadaşları¹² kemik mineral yoğunluğunun gama ışınlarından etkilenme durumlarını araştırdıkları çalışma sonucunda DEXA cihazında (Hologic/Discovery A) alınmış BMD ölçümlerinin I-131 ve Tc-99m radyonüklidlerinden yayılan gama ışınlarından etkilenmediğini gözlemlemişlerdir. İlçe HT'nin yapmış olduğu tez çalışmasında radyoaktif iyot tedavisi öncesi ve sonrasında DEXA çekimleri ile BMD değerleri karşılaştırılmış, total vertebra BMD değerlerini sırasıyla 0,99 ve 1,03 olarak bulmuşlardır.¹³

Osteoporoz, kemik rezorbsiyonunun ve kemik yapısındaki bozulmanın artması sonucu oluşur. Genetik ve edinsel etkiler de osteoporoz açısından risk faktörü olmaktadır. Edinsel faktörler arasında hipotiroidi tedavisinde kullanılan levotiroksin sodyum (LT4) önemli yer tutar. LT4 tedavisi ile kemik rezorbsiyonunu engelleyici özelliğe sahip olan Tiroid Stimüle Edici Hormon (TSH) baskılanır. Bu baskılama kemikte mineral kaybına neden olabilmektedir. Tiroid nodülleri nedeniyle parsiyel tiroidektomi olan hastalar ve tiroit kanseri nedeniyle total tiroidektomi olan hastalar ömür boyu LT4 kullanmaktadırlar.^{14,15} Bu bağlamda bu hastalar için DEXA çekimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Radyoyod tedavisi gören hastaların tedavi sürecindeyken aynı zamanda BMD ölçümlerinin de takibi için ihtiyaç duyulan DEXA çekimlerine I-131 radyonüklidinden yayılan gama ışınlarının önemli bir etkisinin olmadığı fantom çalışmamız ile tespit edilmiş olup sonuçlarımız literatür verileri ile uyumlu bulunmuştur.

I-131 radyonüklidinin farklı enerjilerde 19 ayrı gama radyasyonu ve 6 farklı enerjide beta (-) radyasyonları vardır. En yüksek verimli (% 81,25) gama radyasyonu 364 keV enerjili ve en yüksek verimli (% 89) beta radyasyonu 606 keV enerjilidir. Bunlardan başka 80,6 keV (%6,6) ve 163 keV (%1,87) enerjili gamaları olup bu foton enerjileri, DEXA'nın 90 kV ve 140 kV enerjili X-ışınları ile birbirine yakındır. F-18'in vücut içinden dışarı saçılan 170-225 keV enerji aralığında saçılmış fotonları vardır. Bu nedenle yüksek enerjili radyonüklidlerin saçılmış fotonları ile DEXA'nın X-ışınlarının aynı anda detekte edilmeleri durumunda çapraz etki (*crossstalk*) göstermeleri beklenebilir. Çizelge 1 ve Çizelge 2 incelendiğinde I-131 ve F-18 etkisinde saçılmalı ortamlarda alınan BMD değerlerinin normal değerlere yakın dağıldığı görülmektedir. I-131 için; L1, L2, L3 ve L4 vertebralarının ortalama BMD değerleri sırasıyla 0,989; 0,983; 1,025 ve 1,052 gr/cm² olarak belirlendi. F-18 için L1, L2, L3 ve L4 vertebralarının ortalama BMD değerleri sırasıyla 0,975; 0,989; 1,019 ve 1,064 gr/cm² dir.

Kim DW ve ark.¹⁶ dual-enerji X-ray absorpsiyometri (DXA) yöntemi ile F-18 FDG çekimi öncesi ve sonrası hastalarda BMD ölçmüşler, F-18 FDG enjeksiyonu sonrası değerlerde azalma gözlemlemişlerdir. Fakat bu azalmanın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ($p<0,05$) belirtmişlerdir. Bizim sonuçlarımız bu literatür verileri ile uyumlu bulunmuştur.

Sonuç

Çalışmamızın sonuçlarına göre, tanı amaçlı kullanılan I-131 ve F-18 radyonüklidlerinin yüksek enerjili gama ışınlarının DEXA çekimlerinde BMD değerlerini etkilemediği saptanmıştır. Sonuçlarımıza göre, tanı amaçlı I-131 (<6 mCi) ve F-18 radyonüklidlerine ait radyofarmasötik uygulamalarında aynı gün içinde DEXA çekimlerinin yapılabileceği, yüksek doz I-131 tedavi uygulamalarında radyasyon güvenliği yönünden tedavi bitiminden en erken 1

hafta sonra DEXA çekimlerinin yapılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması tarif eden herhangi bir kişi bulunmamaktadır.

Etik Onay/Hasta Onamı

Çalışmada gerçekleştirilen tüm prosedürler, kurumsal ve/veya ulusal araştırma komitesinin etik standartlarına ve 1964 Helsinki beyanına ve daha sonraki değişikliklere veya karşılaştırılabilir etik standartlara uygun olarak yapıldı. Çalışmamız için İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 03.03.2020 tarihli A-32 numaralı etik kurul onayı alındı.

Maddi Destek

Bu çalışmada herhangi bir fon veya destekten yararlanılmamıştır.

Yazar Katkıları

MD: Fikir; NİI, MD: Tasarım; NİI, MD: Veri toplama; NİI, MD: Kaynak Tarama; MD, NİI: Analiz ve/veya yorum; NİI, MD: Makale Yazımı; MD: Eleştirel İnceleme; NİI: Yayınlama süreci

Kaynaklar

1. Cosman F, de Beur SJ, Le Boff MS, et al. Clinician's Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis. *Osteoporos Int*. 2014; 25: 2359-2381.
2. Osteoporoz ve Diğer Metabolik Kemik Hastalıkları Çalışma Grubu- Türkiye Endokrinoloji ve Metabolizma Derneği *Osteoporoz ve Metabolik Kemik Hastalıkları Tanı ve Tedavi Kılavuzu*. 13. Baskı. Ankara: 2018: 11-23.
3. Ersalcan T, Özen A, Yüksel D, et al. Procedure Guideline for Bone Density Measurement. *Turk J Nucl Med* 2009; 18(1) : 31-40.
4. Sindel D, Gula G. Osteoporozda kemik mineral yoğunluğunun değerlendirilmesi. *Turk J Osteoporos* 2015; 21 (1):23-29.
5. Demir M. *Nükleer Tıp Fiziği ve Klinik Uygulamaları*. İstanbul:2014: 360-374.
6. Cherry S, Sorenson J, Phelps M. *Physics in Nuclear Medicine 4th Edition*. In *The gamma camera performance characteristics*. Saunders 2012: 227-250.
7. Demir M, Parlak Y, Çavdar I, et al. The evaluation of urine activity and eksternal dose rate from patients receiving radioiodine therapy for thyroid cancer *Radiat. Prot. Dosimetry* 2013; 156: 25-29.
8. Kerim Sönmezoğlu. Akciğer kanserlerinde FDG-PET uygulamaları. *Tüberküloz ve Toraks Dergisi* 2005; 53(1): 94-112.
9. Soydal Ç, Özkan E, Nak D, Elhan AH, Küçük NÖ, Kır M. Risk Factors for Predicting Osteoporosis in Patients Who Receive Thyrotropin Suppressive Levothyroxine Treatment for Differentiated Thyroid Carcinoma. *Mol Imaging Radionucl Ther*. 2019 Jun 24;28(2):69-75. doi: 10.4274/mirt.galenos.2019.89410.
10. Haslerud T, Brauckhoff K, Reisæter L, et al. F18-FDG-PET for recurrent differentiated thyroid cancer: a systematic meta-analysis. *Acta Radiol*. 2016; 57(10): 1193-1200.
11. Mueller B, O'Connor MK. Effects of radioisotopes on the accuracy of dual-energy X-ray absorptiometry for bone densitometry. *J Clin Densitom*. 2002 ;5(3):283-287.
12. Liang-Jun Xie, Jian-Fang Li, Feng-Wei Zeng, Hang Jiang, Mu-Hua Cheng and Yi Chen. Is Bone Mineral Density Measurement Using Dual-Energy X-Ray Absorptiometry Affected By Gamma Rays?. *Journal of Clinical*

Densitometry: Assesment & Management of Musculoskeletal Health 2013;16(3), 275-278.

13. İlçe HT, Radyoaktif iyot tedavisi uygulanan hipertiroidili hastalarda kemik mineral yoğunluğunun dansitometre ile değerlendirilmesi. [Tıpta Uzmanlık Tezi]. Düzce Türkiye. Düzce Üniversitesi; 2009:21.
14. Jameson JL, Weetman AP. Disorders of The Thyroid Gland. In: Longo DL, Kasper DL, Jameson JL, Fauci AS, Hauser SL, Loscalzo J, eds. *Harrison's Principles of Internal Medicine*. New York. Nobel Tıp Kitapevleri; 18th ed 2012: 2911-2939
15. Mazziotti G, Canalis E, Giustina A. Drug-induced osteoporosis: mechanisms and clinical implications. *Am J Med.* 2010 Oct;123(10):877-884.
16. Kim DW, Kim WH, Kim MH, et al. Effect of ¹⁸F-FDG administration on measurements of bone mineral density and body composition by dual-energy X-ray absorptiometry. *J Clin Densitom.* 2013 Jul-Sep;16(3):283-286.