



doi <http://dx.doi.org/10.26450/jshsr.2011>

Özge ULU

İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Ana Bilim Dalı, İstanbul / TÜRKİYE

Prof. Dr. Mustafa DEMİR

İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Ana Bilim Dalı, İstanbul / TÜRKİYE

Dr. Öğr. Görevlisi Mohammed ABUQBEİTAH

İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Ana Bilim Dalı, İstanbul / TÜRKİYE

Citation: Ulu, Ö., Demir, M. & Abuqbeith, M. (2020). PET/MR kritik organ dozimetrisi. *Journal of Social and Humanities Sciences Research*, 7(58), 2236-2242.

PET/MR KRİTİK ORGAN DOZİMETRİSİ

ÖZET

Amaç: Farklı kanser türleri tanısıyla kliniğe gelen hastaların F-18 FDG tüm vücut PET/MR çekimlerinde F-18 radyonüklidinin tutulduğu organların (mesane, beyin, karaciğer, böbrekler ve dalak) ve tüm vücut absorbe radyasyon dozlarının hesaplanması ve PET/BT dozları ile karşılaştırılmasıdır.

Materyal Metod: Bu çalışmada, primer tümör tanısı, metastatik odakların belirlenmesi ya da tedaviye yanıtın değerlendirilmesi için PET/MR çekimine gelen F-18 FDG enjeksiyonu yapılmış 10 hastaya radyonüklid dozimetrisi yapılmıştır. Hastalara, 185-259 MBq aktivite miktarında F-18 FDG IV uygulanmıştır. Radyofarmasötik enjeksiyonundan sonra 20., 40., 60. ve 240. dakikalarda PET/MR görüntüleri alınmıştır. Görüntüler üzerinden ROI çizilerek ve zaman-aktivite değişimleri çıkarıldı. OLINDA/EXM yazılımı kullanılarak MIRD yöntemine göre organ dozları hesaplanmıştır.

Bulgular: Hastalara ortalama 182 ± 32.5 MBq F-18 FDG radyofarmasötüğü uygulandı. Organlarda 20., 40., 60. ve 240. dakikalardaki tutulum yüzdeleri sırasıyla beyin için 8.89, 8.94, 8.55, 2.27, böbrekler için 1.59, 1.22, 0.91, 0.12, dalak için 0.73, 0.65, 0.60, 0.095, karaciğer için 7.02, 5.57, 4.18, 0.99, mesane duvarı için 4.92, 5.37, 3.25, 0.18 olarak bulunmuştur. Efektif dozlar (Ortalama \pm SD) beyin için 5.74 ± 1.90 mSv, böbrekler için 3.37 ± 1.34 mSv, dalak için 2.64 ± 1.51 mSv, karaciğer için 3.29 ± 1.67 mSv, mesane duvarı için 8.21 ± 2.13 mSv olarak bulunmuştur.

Sonuç: PET/MR görüntülemeye dozimetrisi yapılan organlardan en yüksek absorbe doz mesane duvarında, en düşük absorbe doz dalakta hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: PET/MR, Radyonüklid dozimetrisi, Efektif Doz, F-18 FDG

PET/ MR CRITICAL ORGAN DOSIMETRY

ABSTRACT

Aim: Comparison of calculated radiation doses, obtained from different imaging methods, (whole body PET/MR and PET/CT) of the organs (bladder, brain, liver, kidneys and spleen) and the whole body of the patients coming to the clinic with different types of a cancer diagnosis.

Material and Method: In this study, radionuclide dosimetry was performed in 10 patients who underwent F-18 FDG injection for PET / MR imaging for the diagnosis of the primary tumour, determination of metastatic foci or response to treatment. F-18 FDG IV was administered to patients in the amount of 185-259 MBq activity. PET / MR images were taken at the 20th, 40th, 60th and 240th minutes after radiopharmaceutical injection. Time-activity changes were obtained by drawing ROIs over the images Organ doses were calculated according to the MIRD method by using OLINDA / EXM software.

Results: Patients received an average of 182 ± 32.5 MBq of F-18 FDG radiopharmaceuticals. Percentages of involvement at the 20th, 40th, 60th and 240th minutes in the organs are 8.89, 8.94, 8.55, 2.27 for the brain, 1.59, 1.22, 0.91, 0.12 for the kidney, 0.73, 0.65, 0.60, 0.095 for the spleen, 7.02 for the liver, 5.57, 4.18, 0.99, 4.92, 5.37, 3.25, 0.18 for bladder wall, respectively. Effective doses (Mean \pm SD) 5.7 ± 1.90 mSv for the brain, 3.37 ± 1.34 mSv for kidney, 2.64 ± 1.51 mSv for kidney, liver 3.29 ± 1.67 mSv was found to be 8.21 ± 2.13 mSv for the bladder wall.

Conclusion: In PET / MR imaging, the highest calculated absorbed organ dose from was in the bladder wall and the lowest calculated absorbed organ dose was in the spleen.

Keywords: PET / MR, Radionuclid dosimetry, Effective Dose, F-18 FDG

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Pozitron Emisyon Tomografisi/Manyetik Rezonans (PET/MR) son yıllarda rutin klinik kullanıma giren en ileri görüntüleme teknolojilerinden biridir. PET/MR görüntülerinde, MR'ın yüksek doku kontrast çözümü özelliğine dayalı anatomik bilgi ile PET'in moleküler/hücre düzeyindeki görüntüleme yeteneği birleştirilmiştir. Bu teknoloji, PET/BT füzyon görüntülemesinden farklı olarak daha az radyonüklid aktivitesi kullanmakta, ayrıca MR'ın non iyonizan görüntüleme teknolojisi olması nedeniyle hastaya daha az radyasyon dozu verilmesiyle PET/BT görüntülemeye göre avantaj sağlamaktadır (Hahn ve Pfluger, 2006:966-968; Stauss ve ark., 2008:1581-1588). Flor-18 Fluorodeoksiglüköz PET (F-18FDG PET) çalışması kanser tanısında, tedavinin değerlendirilmesinde, metastatik odakların görüntülenmesinde ve kanser evrelemesinde son yıllarda kabul görmüş modern bir görüntüleme yöntemidir.

Konvansiyonel PET/BT cihazlarında sintilasyon kristalinden gelen sinyaller foton çoğaltıcı tüpler (PMT) tarafından elektrik sinyallerine dönüştürülürken, PET/MR cihazlarında metalik özellikteki PMT'ler kullanılmayıp bunların yerine silikon bazlı detektörler kullanılır. Silikon detektörlerin sinyal verimi daha yüksek olup PET/MR teknolojisindeki üstünlüğün temelini oluşturur (Schaart ve ark.,2010;179-189). Buna ek olarak, PET/MR sistemlerinde, görüntüler üzerinde yapılan saçılım düzeltmesi, atenüasyon düzeltmesi gibi çeşitli düzeltme algoritmalar klinik açıdan kolaylık sağlamıştır (Barbosa, Schulthess ve Veit-Haibach, 2015:332-344; Martinez-Moller ve ark., 2012:1415-1426; Schlemmer ve ark., 2008:1028- 1035).

PET/BT sistemlerinde atenüasyon düzeltmesi BT'den türetilen Hounsfield Fantom (HU) verilerinden yararlanılarak yapılır (Carney, Townsend, Rappoport ve Bendriem, 2006:976–83; Kinahan, Townsend, Beyer ve Sashin, 1998:2046–53). MR sistemlerinde, H⁺ proton yoğunluğu, doku yoğunluk bilgisini vermediği ve doku dansitelerini ayırt edebilecek sistemler eklenemediği için PET/MR sistemlerinde gerçek bir atenüasyon düzeltmesi yapılamamaktadır (Vandenberghe, Mikhaylova, D'Hoe, Mollet ve Karp, 2016). PET/MR sistemlerinde bu sorunu çözmek için atenüasyon düzeltmesinde farklı metodlar geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlileri Atlas temelli atenüasyon düzeltmesi ve Dixon temelli atenüasyon düzeltmesidir. Atlas temelli atenüasyon düzeltmesi, ekstremit ve beyin için geliştirilen algoritma, MR sinyal yoğunluk değeri ve BT görüntülerinden gelen atenüasyon katsayısı belirlenerek bir μ değeri oluşturur ve μ değerini kullanarak voksel bazında atenüasyon düzeltmelerini yapar. Dixon temelli atenüasyon düzeltmesi ise BT'den gelen atenüasyon katsayıları (μ), tüm vücudu hava, akciğer, yumuşak doku ve yağ dokusu olmak üzere 4 segmentasyonda gruplandırmıştır (Demir, 2017)

Tüm vücut FDG PET/MR görüntülemesinde maruz kalınan radyasyon dozunun PET/BT'ye göre yaklaşık olarak %80 oranında azdır (Akdemir ve Karabacak, 2017). PET/MR uygulamalarında aktivite miktarı azaltılmış olsa bile radyofarmasötikğin böbreklerden süzülerek atılması nedeniyle böbreklerin radyasyon dozuna maruz kalması kaçınılmazdır. Benzer şekilde mesane de radyasyon dozuna maruz kalmaktadır. Bu organlardan böbreklerin 23 Gy (Edeani ve Cohen, 2016), mesanenin doz toleransı 80 Gy'dir (Zhu ve ark., 2018). Bu çalışmanın amacı tüm vücut PET/MR çekimi için gelen kanser hastalarının kritik organ absorbe radyasyon dozlarının belirlenmesi ve PET/BT dozları ile karşılaştırılmasıdır.

2. MATERYAL-METOD

Bu çalışmaya İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Etik Kurulu'nun 22/05/2019 tarihli 64235 numaralı onayı alınarak başlanmıştır. Haziran 2019-Temmuz 2020 tarihleri arasında Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı'na PET/MR tetkiki için başvuranlar arasından rastgele seçilen 10 gönüllü kadın hasta bu çalışmaya dahil edilmiştir. Hastalardan 6'sına meme kanseri, 2'sine over kanseri, 1 hastaya kolon kanseri, 1 hastaya ise lenfoma tanısı konmuştur.

Hastalara rutin protokole uygun olarak bir kez radyofarmasötik uygulanmış olup, 20., 40., 60. ve 240. dakikalarda 4 kez sintigrafi çekimi yapılmıştır. Çekimi yapılan hastaların sintigrafik görüntüleri üzerinden ilgi alanları (ROI) çizilerek ilgi alanındaki sayım miktarı belirlendi. Sayım-aktivite dönüşümü yapılarak her ROI sayımına karşılık olan aktivite miktarı belirlenmiştir. Daha sonra zaman-aktivite değişimleri çizilmiş, zaman-aktivite eğrisinin altındaki alan hesaplanarak kümülatif aktivite değeri belirlenmiştir. Bu değer S tablo değerleriyle çarpılarak absorbe dozlar hesaplanmıştır.

Hastaların MR çekimleri, 3T Signa PET/MR GE Healthcare marka cihaz ile alındı. PET/MR’da bölgesel MR uyumlu koiller kullanıldı. Tüm olgularda, PET emisyon görüntüleme kısmı çekim parametreleri; Matrix boyutları 192x192, DFOV: 60 cm, kesit kalınlığı 2.78 mm olarak, MR görüntüleme kısmı için çekim parametreleri; Aksiyal görüntüler TE:1.98, TR:4.702, DFOV: 48 cm, matrix boyutları 512x512, kesit kalınlığı 7 mm olarak alındı. PET görüntülerin işlemlenmesinde OSEM iterativrekonstrüksiyon algoritması, Subset 28, iterasyon 2 alındı.

Radyofarmösitiğin enjeksiyonundan sonra hastaların 20., 40., 60. ve 240. dakikalarda PET/MR çekimleri alındı. Çekimlerde yatak pozisyonu başına 1 dakika olmak üzere 5 yatak pozisyonunda, 60. dakikada ise rutin çekim kullanılarak yatak pozisyonu başına 3.5 dakika olmak üzere 5 yatak pozisyonunda PET emisyon görüntüleri alındı. Hastanın 20. dakikasındaki ilk görüntüsü alındıktan sonra idrar miksiyonu sağlandı. Dozimetri hesaplamaları için görüntülerden beyin, karaciğer, dalak, böbrekler, mesane duvarı ve tüm vücut seçildi. Seçilen her bir organ ve tüm vücut için PET emisyon görüntüsünde Horos yazılımı üzerinden çizilen ROI’ler, T1 ağırlıklı MR görüntüleri takip edilerek manuel çizim yapıldı. Buna ek olarak, organ hacimleri de T1 ağırlıklı MR görüntüleri üzerinden alındı.

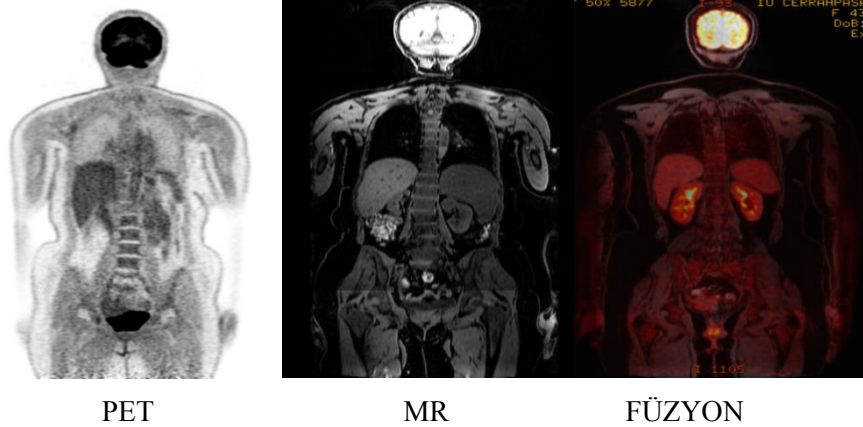
Tüm vücut görüntülemeleri baş kısmından başlayıp orta uyluklara kadar çekime alınmıştır. Orta uyluktan ayaklara kadar olan kısmın aktivitesi hesaplanarak tüm vücut aktivitesine eklendi. Tüm vücut ve organ tutulum yüzdeleri ve organ/tüm vücut absorbe radyasyon dozları OLINDA/EXMyazılımı kullanılarak belirlendi.

3. BULGULAR

Hastalar çekime en az 6 saat aç kalarak alınmış olup her bir hastanın yaş, kilo, şeker düzeyleri ve hastaya verilen aktivite (MBq) Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. PET/MR Çekimine Alınan Hastalar Bilgileri, Açlık Kan Şekeri Düzeyi ve RF Miktarları

Hasta No	Kilo (Kg)	Yaş	Boy (cm)	Şeker Düzeyi (mg/dl)	Verilen aktivite (MBq)
1	52	52	161	110	172
2	70	60	160	145	195
3	72	34	160	99	119
4	82	53	172	98	235
5	78	55	159	86	188
6	60	59	165	113	168
7	73	60	160	115	179
8	87	54	157	96	197
9	73	60	160	105	152
10	80	50	169	122	215
Ortalama±SD	72.7±10.4	53.7±7.84	162.3±4.80	109±16.5	182±32.5



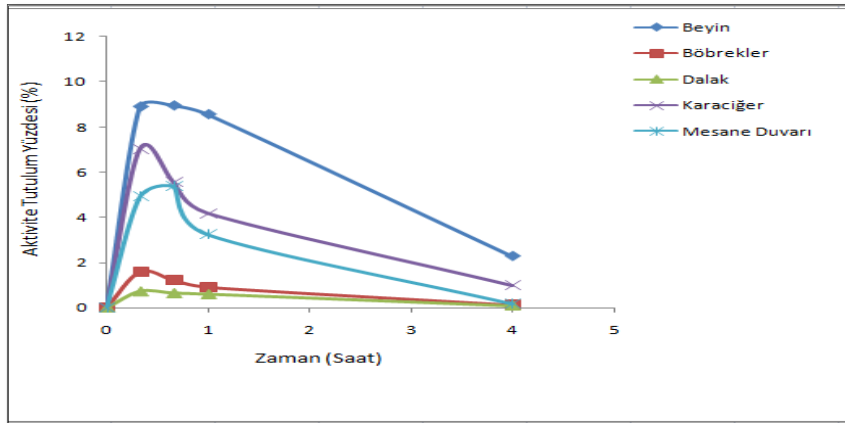
Şekil 1. Çalışmaya Dahil Edilen Bir Hastanın PET, MR ve PET/MR (füzyon) Görüntüsü

Çalışmamızda, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalına PET/MR çekimi için başvuran 1 kolon kanseri, 1 lenfoma, 2 over kanseri ve 6 meme kanseri tanılı 10 kadın hasta alındı. Hastaların 20., 40., 60. ve 240. dakikalarda alınan PET/MR görüntüleri kullanılarak dozimetrisi yapıldı. Çalışmaya dahil edilen hastaların ortalama kiloları 72.7 ± 10.4 kg, ortalama yaşları 53.7 ± 7.84 , ortalama boyları 162.3 ± 4.8 cm, ortalama şeker düzeyleri 109 ± 16.5 mg/dl, hastalara enjekte edilen ortalama aktivite miktarı 182 ± 32.5 MBq 'dir. Hastaların MR görüntülerinden organ hacimleri belirlendi. Bir hastanın MR görüntüsünde mesane konturları net olarak seçilemediğinden bunun yerine 70 kg ağırlıktaki MIRD kadın fantomundaki organ hacmi kullanıldı (Tablo 2).

Tablo 2. Dozimetrisi Yapılan Organ Hacimleri

ORGANLAR	MR'da belirlenen organ hacimleri (cm ³)	OLINDA/MIRD Fantomundaki organ hacimleri (cm ³)
Beyin	1290±82.4	1200
Böbrekler	271±75	275
Dalak	186.6±64.3	150
Karaciğer	1546.2±248.3	1400
Mesane Duvarı	45.2±7.13	35.9

F-18 FDG tutulumu olan beyin, böbrekler, dalak, karaciğer ve mesane duvarı olarak seçilen beş kritik organ için zaman-aktivite grafiği Şekil 2'de verildi. 20., 40., 60. ve 240. dakikalardaki tutulum yüzdeleri sırasıyla beyin için 8.89, 8.94, 8.55, 2.27, böbrekler için 1.59, 1.22, 0.91, 0.12, dalak için 0.73, 0.65, 0.60, 0.095, karaciğer için 7.02, 5.57, 4.18, 0.99, mesane duvarı için 4.92, 5.37, 3.25, 0.18 olarak bulunmuştur.



Şekil 2. Zaman-Aktivite Değişimleri

Her bir hasta için ayrı ayrı radyofarmasötüğün organlardaki rezidens (kalış) süresi hesaplandı, ortalama ve standart sapmaları, literatürdeki çalışmayla karşılaştırıldı (Tablo 3).

Tablo 3. Rezidens (kalış) Süreleri

Anatomik Bölge	Aktivitenin organda kalış süresi (saat)	Kaushik ve ark. hesaplamış olduğu organda kalış süresi (saat)
Beyin	0.17±0.06	0.189
Böbrekler	0.019±0.005	0.02
Dalak	0.01±0.007	0.01
Karaciğer	0.1±0.05	0.11
Mesane Duvarı	0.06±0.02	-

Ortalama 182 ± 32.5 MBq uygulanan F-18FDG aktivitesi için, efektif doz 2.60 ± 0.91 mSv olarak bulunmuştur. Bu açılımda hesaplanan efektif dozlar literatür verileri ile karşılaştırmalı olarak Tablo 3 ve Tablo 4.'de verilmiştir.

Tablo 4. PET/MR ve PET/BT

Anatomik Bölge	PET/MR ortalama organ dozları (mSv)	PET/BT ortalama organ dozları Quinn ve ark.	
		Standart BT (mSv)	DiagnostikBT (mSv)
Beyin	5.74 ± 1.90	22.6 ± 2.9	32.8 ± 5.5
Böbrekler	3.37 ± 1.34	10.3 ± 0.9	19.9 ± 5.5
Dalak	2.64 ± 1.51	9.9 ± 0.9	18.5 ± 4.9
Karaciğer	3.29 ± 1.67	15.8 ± 1.7	24.5 ± 4.7
Mesane Duvarı	8.21 ± 2.13	84.3 ± 6.4	93.1 ± 10.2
Efektif Doz	2.60 ± 0.91	14.7 ± 1.2	23.4 ± 4.9

Tablo 5. Birim Aktivite Başına Absorbe Dozlar

Anatomik Bölge	PET/MR Ortalama Efektif Doz (mSv/MBq)	Deloar ve ark. (mGy/MBq)	ICRP 106 Absorbe Doz (mGy/MBq)
Beyin	0.031 ± 0.0095	0.037 ± 0.003	0.038
Böbrekler	0.018 ± 0.0072	0.028 ± 0.0089	0.017
Dalak	0.014 ± 0.0080	0.014 ± 0.0021	0.011
Karaciğer	0.018 ± 0.0084	0.018 ± 0.0045	0.021
Mesane Duvarı	0.045 ± 0.0094	0.31 ± 0.18	-
Efektif Doz	0.014 ± 0.0045	0.029 ± 0.0092	0.019

4. TARTIŞMA

PET/MR görüntülemesi ve dozimetrisi yapılan organlarda absorbe radyasyon dozları, aynı organların PET/BT görüntülenmesine dayalı absorbe radyasyon dozlarından daha düşük bulundu. Bunun başlıca sebeplerinden biri PET/MR görüntülemesinde sadece PET görüntüsünden gelen F-18 FDG aktivitesinin radyasyon dozu maruziyeti olduğu ve MR görüntülemesinde iyonizan radyasyon kullanılmamasıdır. Bununla birlikte silikon bazlı detektörlerin hassasiyetinin çok yüksek olması nedeniyle 5-6 mCi F-18 FDG ile çekim yapılabilirken, PET/BT görüntülemesinde hastaya verilen aktivite miktarı iki kat kadar artmaktadır. Bu çalışmada doğal fizyolojik yollar ile yoğun F-18 FDG tutulumu gösteren beyin, böbrekler, dalak, karaciğer ve mesane duvarı olmak üzere beş organ seçilmiştir. Bu organlardan en yüksek doz mesane duvarında, en düşük doz ise dalakta hesaplanmıştır. Buna ek olarak, beyindeki tutulumun diğer organlara göre daha uzun süre kaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 2'de gösterilen, OLINDA/EXM yazılımıyla hesaplanan organ hacimleriyle, MR görüntülemesinden aldığımız ortalama organ hacimleri birbiri ile paralellik göstermektedir. Buna ek olarak Kaushik ve ark. (2015)'nin yapmış olduğu çalışmada ortalama rezidens süreleri beyin dışındaki organlar için bu çalışmayla benzerlik göstermektedir (Tablo 3). Çalışmamızda beyin absorbe dozunun düşük olmasının sebebi, çalışmaya dahil edilen hasta grubunda beyin için herhangi bir lezyon saptanmaması olabilir.

Quinn, Dauer, Pandit-Taskar, Schoder ve Dauer (2016)'in yapmış olduğu çalışmada ortalama enjekte edilen F-18 FDG aktivitesi 450 ± 32 MBq ve efektif doz 9.0 ± 1.6 mSv'dir. PET/BT hibrid görüntülemesinde standart BT için 5.0 ± 1.0 mSv ve toplam efektif doz 14 ± 1.3 mSv, diagnostik BT için efektif doz 15.4 ± 5.0 mSv ve toplam efektif doz 24.4 ± 4.3 mSv olarak hesaplanılmış olup, bu çalışmada hastaya verilen ortalama F-18 FDG aktivitesi 182 ± 32.5 MBq ve ortalama efektif doz 2.60 ± 0.91 mSv olarak hesaplanılmıştır. Bu iki çalışma arasında radyasyon dozunun PET/BT de 3.64 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Yine aynı çalışmadaki organ dozları aradaki fark yüzde olarak standart BT ile yapılan PET/BT çekimi için beyin %53, böbrekler %53, dalak %61, karaciğer %64, mesane duvarı % 87 daha düşük iken, diagnostik BT ile yapılan PET/BT çekimi için organ dozları beyin %75, böbrekler %80, dalak %83, karaciğer %81, mesane duvarı %81 daha düşük olduğu görülmektedir.

Deloar ve arkadaşlarının (1998) yapmış olduğu çalışmada ortalama enjekte edilen F-18 FDG aktivitesi 120 MBq'dir. Mesane duvarı için absorbe edilen doz 0.31 ± 0.18 mGy/MBq belirtilmiş olup bizim çalışmamızda mesane duvarı için hesaplanan efektif doz 0.045 ± 0.0094 mSv/MBq olarak bulunmuştur. Aradaki farkın fazla olmasının sebebi bizim çalışmamızda hastanın 20. dakikadan sonra idrar atılımına izin verilmesinden dolayı hastanın mesanesinin boş olması olabilir. Yine aynı çalışma için organ dozları (mGy/MBq için) beyin %16, böbrekler %36, dalak ve karaciğer çok küçük fark olduğu için uyumlu, mesane duvarı % 75 daha düşük olarak bulunmuştur. ICRP 106'nın PET/BT organ dozlarının yayınlandığı birim aktivite başına organ dozları (mGy/MBq) ile bizim çalışmamız karşılaştırıldığında; sonuçlarımız beyinde % 18 düşük, böbreklerde %6 yüksek, dalakta %27 yüksek, karaciğerde %16 daha düşük olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak; PET/MR görüntüleme dozimetrisi yapılan organlardan en yüksek absorbe doz mesane duvarında, en düşük absorbe doz dalakta hesaplanmıştır. Rutin klinik F-18 FDG uygulamalarında PET/MR ile PET/BT radyasyon dozları karşılaştırıldığında; PET/MR dozlarının anlamlı düzeyde düşük olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- AKDEMİR, Ü.Ö. ve KARABACAK, N. İ. (2017). Pozitron Emisyon Tomografi/Manyetik Rezonans Görüntüleme Kullanımında Günlük İş Akışı ve Protokol Optimizasyonu. *Nucl Med Semin*, 3(1),12-21
- BARBOSA, F. de G., VON SCHULTHESS, G., VEIT-HAIBACH, P. (2015). Workflow in Simultaneous PET/MRI. *Semin Nucl Med*, 45,332-344.
- CARNEY, J.P., TOWNSEND, D.W., RAPPOPORT, V. & BENDRIEM, B. (2006). Method for transforming CT images for attenuation correction in PET/CT imaging. *Med Phys*, 33,976-83.
- DELOAR, H.M., FUJIWARA, T., SHIDAHARA, M., NAKAMURA, T., WATABE, H., NARITA, Y... & WATANUKİ, S. (1998). Estimation of absorbed dose for 2-[F-18] fluoro-2-deoxy-D glucose using whole-body positron emission tomography and magnetic resonance imaging. *Eur J Nucl Med*, 25,565-574.
- DEMİR, M. (2017). Pozitron Emisyon Tomografisi / Manyetik Rezonans Görüntüleme ve Teknik Özellikleri. *Nucl Med Semin*, 1,5-11.
- EDEANI, A. & COHEN, E.P. (2016). American Society of Nephrology- Onco-Nephrology Curriculum. *Chapter*, 10,1-6
- HAHN, K. & PFLUGER, T. (2006). Is PET/CT necessary in pediatric oncology Against. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 33,966-968.
- KINAHAN, P.E., TOWNSEND, D.W., BEYER, T. & SASHIN, D. (1998). Attenuation correction for a combined 3D PET/CT scanner. *Med Phys*, (25),2046-53.
- MARTINEZ-MOLLER, A., EIBER, M., NEKOLLA, S.G., SOUVATZOGLOU, M., DRZEZGA, A., ZIEGLER, S., ...& BEER, A.J. (2012). Workflow and scan protocol considerations for integrated whole-body PET/MRI in oncology. *J Nucl Med*, (53),1415-1426.
- SCHAART, D.R., SEIFERT, S., VINKE, R., VAN DAM, H.T., DENDOOVEN, P., LOHNER, H. & BEEKMAN, F. J. (2010). LaBr (3): Ce and SiPMs for time-offlightPET: achieving 100 ps COINCIDENCE RESOLVING TIME. *PHYSMED BIOL*, (55),179-189.
- SCHLEMMER, H.P., PICHLER, B.J., SCHMAND, M., BURBAR, Z., MICHEL, C., LADEBECK, R. ... & CLAUSSEN, C.D. (2008). SIMULTANEOUS MR/PET IMAGING OF THE HUMAN BRAIN: FEASIBILITY STUDY. *RADIOLOGY*, (248),1028- 1035.
- STAUSS, J., FRANZIUS, C., PFLUGER, T., JUERGENS, K.U., BIASSONI, L., BEGENT, J., ... & HAHN, K. (2008). EUROPEAN ASSOCIATION OF NUCLEAR MEDICINE. GUIDELINES FOR 18F-FDG PET AND PET-CT IMAGING IN PAEDIATRIC ONCOLOGY. *EUR J NUCL MED MOL IMAGING*, (35),1581-1588.

- VANDENBERGHE, S., MIKHAYLOVA, E., D'HOE, E., MOLLET, P. & KARP, J. (2016). Recent developments in time-of-flight PET. *EJNMMI physics*, 3(1),3.
- KAUSHIK, A., JAIMINI, A., TRIPATHI, M., D'SOUZA, M., SHARMA, R., MONDAL, A., MISHRA, A.K. & DWARAKANATH, B.S. (2015). Estimation of radiation dose to patients from 18FDG whole body PET/CT investigations using dynamic PET scan protocol. *Indian J Med Res*, (142), 721-731.
- QUINN, B., DAUER, Z., PANDIT-TASKAR, N., SCHODER, H. & DAUER L.T. (2016). Radiation dosimetry of 18F-FDG PET/CT: incorporating exam-specific parameters in dose estimates. *BMC Medical Imaging*.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION [ICRP] (2008). Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals - Addendum 3 to ICRP Publication 53. ICRP Publication 106. Ann. *ICRP*, (38),1-2.
- ZHU, J., SIMON, A., HAIGRON, P., LAFOND, C., ACOSTA, O., SHU, H... & CREVOISIER, R. (2018). The benefit of using bladder sub-volume equivalent uniform dose constraints in prostate intensity-modulated radiotherapy planning. *Onco Targets and Therapy*.