

HEDEFLENMİŞ RADYONÜKLİT TEDAVİLERDE ÇALIŞAN RADYASYON GÖREVLİLERİNİN UZUN DÖNEM ABSORBE RADYASYON DOZLARININ BELİRLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

DETERMINATION AND EVALUATION OF LONG-TERM ABSORBED RADIATION DOSES OF RADIATION WORKERS WORKING IN TARGETED RADIONUCLIDE THERAPIES

Nazenin İPEK IŞIKCI¹ , Mustafa DEMİR² 

¹Nişantaşı Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

²İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

ORCID ID: N.İ.İ 0000-0003-2337-2598; M.D. 0000-0002-9813-1628

Atf/Citation: Ipek Isicki N, Demir M. Hedeflenmiş radyonüklit tedavilerde çalışan radyasyon görevlilerinin uzun dönem absorbe radyasyon dozlarının belirlenmesi ve değerlendirilmesi. Journal of Advanced Research in Health Sciences 2023;6(1):17-22. <https://doi.org/10.26650/JARHS2023-1170216>

ÖZ

Amaç: Nükleer tıpta radyonüklit tedavilerde çalışan radyasyon görevlilerinin uzun dönemde maruz kaldığı radyasyon dozlarının belirlenmesi ve rutin olarak yapılan her bir tedavi prosedürünün bu dozlara katkısının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: 6 yıl boyunca rutin olarak İyot-131 (131I) tedavisi, (Lutesyum-177 (177Lu) tedavisi, Yitrium-90 (90Y) mikrosfer tedavisi ve 131I MIBG (Meta-İyodobenzilguanidin) tedavisi uygulayan doktor, hemşire, sağlık fizikçisi, radyofarmasist ve temizlik personelinin kişisel dozimetri kayıtları geriye dönük olarak incelendi. Aynı dönemde gerçekleştirilmiş olan tedavi sayıları ve bu tedavilerde görevli olanlar belirlendi. Bu bilgilerden radyasyon görevlilerinin tedavilerdeki absorbe radyasyon dozları ile prosedür başına doz değerleri çıkarıldı.

Bulgular: Yıllık ortalama radyasyon dozları en yüksek radyofarmasistlerde 2185±1839 µSv bulundu. Hemşirelerde 786±943 µSv, sağlık fizikçilerinde 753±706 µSv, doktorlarda 626±741 µSv ve temizlik görevlisi personellerde 961±1099 µSv olarak hesaplandı. Prosedür başına hesaplanan ortalama doz değerleri en yüksek doktorlarda 129±208 µSv olarak bulundu. Hemşirelerde 122±187 µSv, sağlık fizikçilerinde 76±122 µSv, radyofarmasistlerde 76±52 µSv, temizlik görevlisi personellerde 42±64 µSv bulundu.

Sonuç: Radyofarmasötiklerin hazırlanması sırasında, hastaya uygulanması sırasında ve hastanın tedavi servisinde yattığı süre boyunca doz aşımı olmamış, belirlenen radyasyon dozlarının izin verilen güvenli değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Absorbe doz, personel dozları, radyonüklit tedavi, 131I tedavisi, 177Lu tedavisi

ABSTRACT

Objective: It is aimed to determine the radiation doses to which radiation workers working in radionuclide treatments in nuclear medicine are exposed in the long term and to determine the contribution of each routine treatment procedure to these doses.

Materials and Methods: The personal dosimetry records of doctors, nurses, health physicists, radiopharmacists, and cleaning staff, who routinely applied 131I treatment, 177Lu treatment, 90Y microsphere treatment, and 131I MIBG treatments were retrospectively analyzed for 6 years. The number of treatments performed in the same period and the persons assigned to these treatments were determined. Absorbed radiation doses of radiation workers in treatments and dose values per procedure were deduced from this information.

Results: The highest average annual radiation dose was found to be 2185±1839 µSv in radiopharmacists. It was calculated as 786±943 µSv in nurses, 753±706 µSv in health physicists, 626±741 µSv in doctors and 961±1099 µSv in cleaning staff. The mean dose values calculated per procedure were found to be 129±208 µSv in the highest physicians. It was found 122±187 µSv in nurses, 76±122 µSv in health physicists, 76±52 µSv in radiopharmacists, and 42±64 µSv in cleaning staff.

Conclusion: It was demonstrated that the annual radiation doses were within the permissible safe values and there was no excessive radiation exposure during radiopharmaceuticals preparation, administration to patients, and during the patients' stay in the therapy unit.

Keywords: Absorbed dose, staff doses, radionuclide therapy, 131I therapy, 177Lu therapy

Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Nazenin İPEK IŞIKCI E-mail: nazenin.ipek@nisantasi.edu.tr

Başvuru/Submitted: 02.09.2022 • **Revizyon Talebi/Revision Requested:** 29.11.2022 • **Son Revizyon/Last Revision Received:** 30.11.2022 •

Kabul/Accepted: 01.12.2022 • **Online Yayın/Published Online:** 14.02.2023



This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

GİRİŞ

Nükleer Tıpta uygulanan ve önemi giderek artan Hedeflenmiş Radyonüklit Tedavi (HRT) bazı kanser hastalarında yüz güldürücü sonuçlar doğurmaktadır. Bu uygulamalardan birisi tiroit hastalıklarında radyoiyot (¹³¹I) uygulamasıdır. Tiroit kanserlerinin ve hipertiroidin tedavisinde kurumumuzun yaklaşık 60 yıllık başarılı bir geçmişi vardır. 1311 20. yüzyılın ortalarında ilk defa hipertiroidi tedavisi amacıyla kullanılmış, o günden sonra da hipertiroidi ve diferansiye tiroit kanseri hastalarında teranostik olarak kullanılmaktadır (1). ¹³¹I radyoizotopunun maksimum beta enerjisi 606 keV, gama enerjisi 364 keV olup tiroit hastalıklarında iyi bir teranostiktir. Son yıllarda kullanımı giderek yaygınlaşan Yttrium 90 (⁹⁰Y) radyomikroküre tedavisi (radyoembolizasyon, selektif intraarteriyel radyomikroküre tedavisi) karaciğer tümörlerinin lokal tedavisinde önemli bir adım olmuştur. ⁹⁰Y radyonükliti ortalama enerjisi 930 keV maksimum enerjisi 2284 keV olan monoenerjistik beta salınımı yapar. İleri evre primer ve metastatik karaciğer tümörlerinin tedavisindeki palyatif etkisi klinik çalışmalarda tanımlanmış olan bu tedavinin, kişiselleştirilmiş güncel uygulamaları özellikle primer karaciğer tümörlerinin erken ve intermediate evrede tedavisine de alternatif oluşturmaktadır (2,3). Kastrasyona dirençli prostat kanserlerinin tedavisinde Lutetium-177 prostat spesifik membran antijeni (¹⁷⁷Lu PSMA) kullanımı günden güne artmaktadır. ¹⁷⁷Lu radyoizotopunun maksimum beta enerjisi 497 keV, gama enerjileri 113 ve 208 keV olup iyi bir teranostiktir. ¹⁷⁷Lu PSMA tedavisi sistemik bir internal tedavi uygulaması olmasının avantajıyla belirgin ağrı palyasyonu da sağlamaktadır (4). ¹⁷⁷Lu radyonüklitin bir başka başarılı uygulama alanı da nöroendokrin tümör tedavisidir. Peptid radyonüklit reseptör tedavisi (PRRT) 20 yılı aşan bir süredir ileri evre nöroendokrin tümörlerin sistemik tedavisinde kullanılmaktadır. Bu radyofarmasötikte hedef olarak somatostatin reseptörleri, taşıyıcı olarak ise somatostatin analogları kullanılır. En yaygın kullanılan radyoaktif ajanlardan birisi Octreotate (DOTA-0-Tyr3-Octreotate, DOTATATE)'dir.

HRT'de radyofarmasötikler üç ana başlık altında gösterilmektedir. Birincisi: radyonüklitin uygun fiziksel özellikleri, ikincisi: radyasyonla etkileşen hücre duyarlılığı, üçüncüsü: herhangi bir radyonükliti tümöre taşıyan molekül, yani biyolojik ajandır. Dolayısıyla günümüz modern nükleer tıbbi, bu üç özelliği birleştiren multidisipliner bir bilimdir. Dozimetriye dayalı tedavi, radyonüklit tedavisi ve terapötik aktivite belirlemede daha fazla doğruluk ve özgünlük için genellikle sağlık fizikçisi tarafından gerçekleştirilir. Hücrelerin radyosensitivitesi ile ilgili aktivite yönetiminden hekimler ve hemşireler sorumludur. Biyoaktif ajanların özelliklerinin belirlenmesi ve etiketlenmesi radyofarmasötik departmanına özeldir (5).

Radyasyon ile yapılan uygulamalarda çalışanların güvenliği için kişisel doz ölçümünün yapılması gerekmektedir. Uluslararası Radyasyon Korunması Komisyonu tarafından radyasyon ile çalışan personellerin yıllık efektif doz limitleri için ardışık 5 yılın ortalamasının 20 mSv'den fazla olamayacağı, parmak dozlarının ise en fazla 500 mSv olabileceği bildirilmiştir. Ayrıca radyasyon görevlilerinin çalışma alanlarındaki doz hızı 10 μ Sv⁻¹ değerini geçmemelidir (6).

Radyasyondan korunmada en yaygın optimizasyon kuralı ALARA (As Low As Reasonably Achievable) ilkesidir. Nükleer tıp için de uygulanması gereken bu ilke radyasyon ile yapılan çalışmalarda mümkün olan en az dozun alınmasını önermektedir.

Çalışmamızda, HRT uygulamalarında çalışan radyasyon görevlilerinin maruz kaldığı radyasyon dozlarının ve rutin olarak yapılan her bir işlemin bu dozlara ne kadar katkısının olduğunu belirlemek amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Etik Kurul izni alındıktan sonra retrospektif olarak Nükleer Tıp Anabilim Dalında yapıldı. (Etik Kurul Tarihi: 22.02.2022, No: 32). Çalışmada İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalında rutin olarak yapılmakta olan ¹³¹I ile tiroit kanseri ve hipertiroidi tedavisi, ¹⁷⁷Lu DOTATATE ile nöroendokrin tümör tedavisi, ¹⁷⁷Lu PSMA ile prostat tümör tedavisi, ⁹⁰Y mikroküre karaciğer tümör tedavisi ve ¹³¹I MIBG tedavilerinde Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) dozimetreler ile kaydedilen absorbe radyasyon dozları retrospektif olarak incelendi. Çalışmanın yapıldığı denetimli alanlarda 13 doktor, 5 hemşire, 4 sağlık fizikçisi, 3 radyofarmasist ve 3 temizlik görevlisi olmak üzere toplam 28 sağlık çalışanı görev yaptı. Hipertiroidi tedavilerinde sağlık fizikçileri ve doktorlar görev aldı. Tiroit kanseri tedavilerinde doktorlar, hemşireler, sağlık fizikçileri görev aldı. ¹⁷⁷Lu tedavilerinde doktorlar, hemşireler, radyofarmasistler ve sağlık fizikçileri görev aldı. ⁹⁰Y tedavilerinde doktorlar, hemşireler, radyofarmasistler ve sağlık fizikçileri görev aldı. ¹³¹I MIBG tedavilerinde doktorlar, hemşireler, sağlık fizikçileri görev aldı. Radyofarmasistler radyofarmasötiklerin hazırlanmasından ve kalite kontrolünden, doktor ve hemşireler radyofarmasötiklerin uygulamasından, sağlık fizikçileri radyasyon korunmasından ve doz hızlarının ölçülmesinden sorumlu oldular. Temizlik personelleri gerekli durumlarda hastanın nakledilmesi ve radyoaktif atıkların temizlenmesinden sorumlu oldular. 2016-2021 dönemlerini kapsayan 6 yıllık süreçte personel dozimetre kayıtları retrospektif olarak değerlendirildi.

2017-2021 yıllarına ait rutin HRT uygulanan tetkik sayıları ayrı ayrı belirlendi. Belirlenen tetkikler tedavi çeşidine göre gruplandırıldı. Bu çalışmaya dâhil edilen toplam 4864 olan tetkik sayısının 2906 tanesi radyoiyot (tiroid c.a) tedavisine, 637'si hipertiroidi tedavisine, 945'i nöroendokrin tümör tedavisine, 327'si karaciğer tümör tedavisine ve 49 tedavi ise ¹³¹I MIBG tedavisine aittir. Tedavilerde kullanılan aktivite miktarları; ¹³¹I tiroit kanseri tedavisi için 30-300 mCi (1110-11100 MBq); hipertiroidi tedavisi için 6-25 mCi (222-925 MBq); ⁹⁰Y mikroküre karaciğer kanser tedavisi için 35-80 mCi (1295-2960 MBq) ve ¹⁷⁷Lu DOTATATE Nöroendokrin tümör tedavisi ve ¹⁷⁷Lu PSMA Prostat kanseri tedavisi için 100-200 mCi (3700-7400 MBq) olarak belirlendi.

İstatistiksel Yöntem: Radyonüklit tedavilerde görevli beş meslek grubu üyelerine 6 yıl içinde ikişer aylık periyotlar ile toplam 642 kez dozimetre okuması yapıldı. Dozimetre okuma değerleri arasındaki istatistiksel anlamlılık Mann-Whitney U testi ile belirlendi.

BULGULAR

İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalında görev yapan radyasyon görevlisi personeller için (13 doktor, 5 hemşire, 4 sağlık fizikçisi, 3 radyofarmasist, 3 temizlik görevlisi personeli) OSL dozimetreler ile ölçülen ve retrospektif olarak hesaplanan 5 yıllık radyasyon dozları Tablo 1'de verildi. Radyonüklit tedavi alanlarında rutin işlemler sırasında çalışanların aldığı yıllık ortalama radyasyon dozları en yüksek radyofarmasistlerde $2185 \pm 1839 \mu\text{Sv}$ olarak bulundu. Diğer görevlilerden hemşirelerde $786 \pm 943 \mu\text{Sv}$, sağlık fizikçilerinde $753 \pm 706 \mu\text{Sv}$, doktorlarda $626 \pm 741 \mu\text{Sv}$ ve temizlik görevlisi personellerde $961 \pm 1099 \mu\text{Sv}$ olarak hesaplandı (Şekil 1).

Yıllık tedavi sayıları incelendiğinde en fazla tedavi edilen grupta 131 tiroit kanseri hastaları, en düşük hasta sayısı ise 131 MIBG tedavisi grubuna aittir (Tablo 2). Prosedür başına hesaplanan ortalama doz değerleri en yüksek doktorlarda $129 \pm 208 \mu\text{Sv}$ ola-

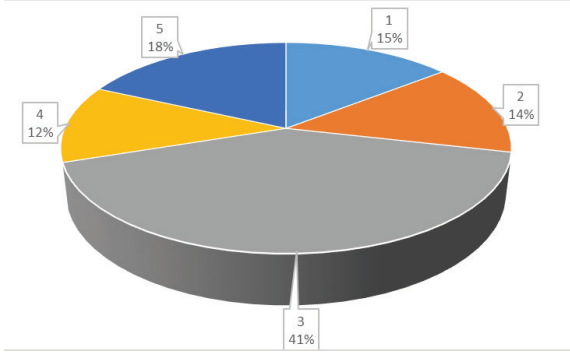
rak bulundu. Hemşirelerde $122 \pm 187 \mu\text{Sv}$, sağlık fizikçilerinde $76 \pm 122 \mu\text{Sv}$, radyofarmasistlerde $76 \pm 52 \mu\text{Sv}$, temizlik görevlisi personellerinde $42 \pm 64 \mu\text{Sv}$ bulundu (Tablo 3).

Çalışmamızın son kısmında radyofarmasistlerin, radyofarmasötiklerin hazırlanması sırasında kullandıkları termoluminesans (TLD) yüzük dozimetre kayıtlarından son 6 yıllık süreçteki parmak dozları hesaplandı (Tablo 4). 3 kişilik radyofarmasist grubu için bulunan ortalama parmak dozu $63,487 \pm 2$ olarak belirlendi.

Gruplar arasındaki istatistik değerlendirme Mann-Whitney U testi ile yapıldı. Beş grup ikiyeşerli şekilde karşılaştırıldığında sadece Hemşireler ile Doktorlar arasında anlamlı fark bulunmadı ($p=0,1$). Benzer şekilde Sağlık Fizikçileri ile Radyofarmasistler arasında anlamlı fark bulunmadı ($p=0,067$). Diğer gruplar ikiyeşerli eşleştirildiğinde; Hemşireler ile Sağlık Fizikçileri arasında $p=0,0001$, Hemşireler ile Temizlik Görevlileri arasında $p=0,00001$, Hemşireler ile Radyofarmasistler arasında

Tablo 1: Radyonüklit tedavilerde çalışan radyasyon görevlilerinin yıllık absorbe radyasyon dozları

Görevli no. Görevi	Ortalama yıllık dozlar (μSv)						Ort. \pm SD
	2021	2020	2019	2018	2017	2016	
1 Hemşire	20	1390	1720	143	151	180	600 \pm 748
2 Hemşire	130	1390	1910	41	566	110	691 \pm 783
3 Hemşire	-	1360	1510	156	48	80	631 \pm 737
4 Hemşire	500	1520	2040	75	3	130	711 \pm 861
5 Hemşire	-	-	-	-	656	3810	2233 \pm 2230
6 Sağlık fizikçisi	-	1610	2050	505	26	140	866 \pm 911
7 Sağlık fizikçisi	50	1540	760	-	-	-	783 \pm 745
8 Sağlık fizikçisi	-	1480	1750	162	320	770	896 \pm 699
9 Sağlık fizikçisi	210	1100	1570	70	75	120	524 \pm 647
10 Radyofarmasist	70	3210	6360	4053	1290	1420	2730 \pm 2281
11 Radyofarmasist	340	2550	3960	990	207	-	1610 \pm 1604
12 Radyofarmasist	210	2950	4870	2320	1701	620	2110 \pm 1695
13 Doktor	20	500	-	-	-	-	260 \pm 346
14 Doktor	100	1980	600	-	-	-	890 \pm 974
15 Doktor	70	570	-	-	-	-	320 \pm 361
16 Doktor	-	-	-	147	190	-	169 \pm 30
17 Doktor	-	-	-	-	240	70	155 \pm 120
18 Doktor	-	380	2520	570	133	70	735 \pm 1018
19 Doktor	80	1200	-	-	-	-	640 \pm 792
20 Doktor	-	-	1130	332	100	130	423 \pm 482
21 Doktor	150	1680	80	-	-	-	636 \pm 904
22 Doktor	-	-	-	-	240	60	155 \pm 120
23 Doktor	60	1180	1980	155	-	-	844 \pm 912
24 Doktor	130	1900	1300	-	-	-	1117 \pm 909
25 Doktor	120	1740	2170	38	250	-	864 \pm 1011
26 Temizlik personeli	-	-	-	-	56	210	138 \pm 116
27 Temizlik personeli	-	-	-	-	-	900	900 \pm -
28 Temizlik personeli	430	1780	3070	270	-	-	1388 \pm 1310



Şekil 1: Meslek gruplarının yıllık ortalama doz dağılımları. 1. Hemşire, 2. Sağlık Fizikçisi, 3. Radyofarmasist, 4. Doktor, 5. Temizlik Görevlisi

$p=0,0001$, Sağlık Fizikçileri ile Doktorlar arasında $p=0,0001$, Sağlık Fizikçileri ile Temizlik Personelleri arasında $p=0,001$, Doktorlar ile Temizlik görevlileri arasında $p=0,00001$, Doktorlar ile Temizlik Görevlileri arasında $p=0,00001$, Temizlik Görevlileri ile Radyofarmasistler arasında $p=0,001$ düzeyinde anlamlı fark bulundu.

Tablo 3: Tedavi başına ortalama absorbe dozlar (μSv)

Tetkik Adı	Prosedür başına doz (μSv)				
	Hemşire	Sağlık fizikçisi	Doktor	Temizlik görevlisi	Radyofarmasist
Radyoiyod(131I) (Tiroid C.a)	6,75	4,92	8,4	2,31	-
Radyoiyot (131I) Hipertiroidi	-	22,4	38,3	-	-
Nöroendokrin tümör, prostat tümör 177Lu DOTATATE ve PSMA	20,7	15,1	25,8	7,11	39,3
Karaciğer Tümör 90Y mikroküre	60,05	43,7	74,6	20,56	113,6
MIBG Tedavisi 131I MIBG	400,7	292	498	137,2	-
Ort. \pm SD	122 \pm 187	76 \pm 122	129 \pm 208	42 \pm 64	76 \pm 52

PSMA: Prostat spesifik membran antijeni, DOTATATE: DOTA(0),Tyr(3)]-octreotate, MIBG: Meta-iyodobenzylguanidinev

Tablo 4: Radyonüklit tedavilerde çalışan radyofarmasistlerin parmak dozları

Radyofarmasist No	Ortalama yıllık dozlar (mSv)						Ort. \pm SD
	2021	2020	2019	2018	2017	2016	
1	1,44	26,710	146,110	165,286	16,756	10,690	61,165 \pm 74
2	-	54,930	100,540	44,089	-	-	66,520 \pm 30
3	5,660	41,040	141,960	101,536	66,167	20,290	62,776 \pm 52

TARTIŞMA

Uluslararası Radyasyon Korunması Komisyonu (ICRP) radyasyon çalışanlarının ardışık 5 yılda toplam 100 mSv, ortalama yılda en fazla 20 mSv radyasyon dozuna maruz kalabileceklerini bildirmiştir (7). Bununla birlikte Uluslararası Atom Enerjisi

Tablo 2: Tedavi sayılarının yıllık dağılımı

Tetkik Adı	2021	2020	2019	2018	2017	2016
Radyoiyod (131I) (Tiroid C.a)	150	390	562	568	751	485
Radyoiyot (131I) Hipertiroidi	48	76	150	139	119	105
Nöroendokrin tümör, prostat tümör 177Lu DOTATATE ve PSMA	64	132	122	225	244	158
Karaciğer Tümör 90Y mikroküre	33	78	57	45	59	55
MIBG Tedavisi 131I MIBG	1	4	2	12	22	8

L-177 DOTATATE: (177)Lu DOTA(0),Tyr(3)]-octreotate, L-177PSMA: Prostat spesifik membran antijeni, MIBG: Meta-iyodobenzylguanidin, PSMA: Prostat spesifik membran antijeni

Ajansı (IAEA) bir nükleer tıp merkezinde radyasyon çalışanları için ortalama yıllık dozun 3 ile 5 mSv arasında olmasını tavsiye etmektedir (8).

HRT de kullanılan radyonüklitlerin bozunumu sırasında salınan beta radyasyonunun doku içindeki penetrasyon mesafesi enerji-

sine göre değişmekle birlikte genellikle 1-3 mm kadardır. Vücut dışından ölçülen doz hızları 90Y için Frenleme Radyasyonundan (X-ışını) kaynaklanır. 131I ve 177Lu radyonüklitlerinde ise genellikle gama ışınlarından kaynaklanır.

Misdaq ve arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada, Hiper-tiroidi tedavisi için 370-476 MBq 131I uygulanan hastalardan 1 m uzaklıkta doz hızlarının 15,87 ila 21 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ arasında değiştiği gösterilmiştir (9). Lemoine ve ark. nükleer tıp bölümünde hiper-tiroidi tedavisinde uygulanan 397,7 \pm 170 MBq ortalama aktivite alan hastalardan 1 m mesafede ölçülen doz hızı 13,9 \pm 5,9 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ olarak bildirilmiştir (10). Al-Mohammed ve ark. tiroit kanser tedavisi için 131I uygulanan 206 hastanın hastanede yattığı süre içinde personellere verilen ortalama radyasyon dozunun 1.2 mSv/yıl olduğunu bildirmişlerdir (11). Bilska HP ve ark. 19 yıllık retrospektif bir çalışmada 131I tedavilerinde çalışan hemşirelerin 4,2 mSv/yıl, radioiyot uygulayan doktorların 0,4 mSv/yıl radyasyon dozuna maruz kaldıklarını bildirmişlerdir (12).

Willegaignon ve ark. tüm vücut 131I-MIBG tedavi uygulamasında sağlık personeli tarafından alınan radyasyon dozlarını değerlendirmişlerdir (13). Değerlendirme sonucu 19 hekim tarafından alınan ortalama doz 43 \pm 51 μSv (aralık, 4-207 μSv) olarak belirtilmiştir. Damle ve ark çalışmalarında, 177Lu etiketli bileşiklerin [DOTATATE/DOTANOC, PSMA617 ve EDTMP (ethylenediaminetetramethylene phosphonate)] manuel sentezi sırasında personele verilen radyasyon dozu seviyelerini izlemişlerdir (14). 177Lu-DOTATATE/NOC etiketlemesinin 0,023 \pm 0,01 mSv'lik en yüksek ortalama radyasyon dozunu, 177Lu-PSMA-617 0,01 \pm 0,002 mSv'yi ve 177Lu-EDTMP etiketlemesinden gelen dozun en düşük 0,002 \pm 0,0006 mSv olduğunu gözlemlemişlerdir. Üç 177Lu bileşiği için genel ortalama radyasyon dozu 0,014 mSv olarak elde edilmiştir.

Lancelot ve arkadaşlarının yapmış oldukları 12 aylık prospektif çalışmada rutin olarak yapılan 50 adet 131I işaretli Lipiodol tedavisi, 10 adet radyosinovektomi seansı ve beş adet 153Sm etiketli EDTMP uygulamasında iki radyofarmasist, iki radyolog, iki romatolog, üç hemşire ve radyokoruma (CPR) konusunda yetkin bir kişi yer almıştır (15). 90Y radyosinovektomi seanslarında alınan dozları radyofarmasistler için 10,2 \pm 15,8 μSv , hemşireler için 4,91 \pm 3,7 μSv ve romatologlar için 21,6 \pm 33,5 μSv olarak hesaplamışlardır. Lipiodol tedavisinde ise radyofarmasistler için 3,11 \pm 2,9 μSv , hemşireler için 4,95 \pm 6,0 μSv bulmuşlardır.

Bizim çalışmamızda 6 yıllık süreçteki ortalama dozlar; hemşirelerde 786 \pm 942 μSv , sağlık fizikçilerinde 753 \pm 706 μSv , doktorlarda 626 \pm 741 μSv , radyofarmasistlerde 2185 \pm 1839 μSv ve temizlik personellerinde 960 \pm 1099 μSv bulundu. Bu çalışmada Doktorların tedavi başına 129 \pm 208 μSv olarak hesaplanan absorbe ortalama doz değerinin diğer çalışanlara göre daha yüksek olduğu görüldü. Alınan dozun büyük çoğunluğunun MIBG 131I ve Y90 mikroküre tedavisi sırasında oluştuğu belirlendi.

Hemşirelere, doktorlar ve temizlik görevlilerinde yıllık ortalama radyasyon dozlarının standart sapmaları oldukça yüksek bulunmuştur. Bunun nedeni, bu görevlilerin tedavi servisinde aynı işi yapmalarından kaynaklanabilir. Şöyleki; 177Lu PSMA

tedavisinde görevli bir doktor ve hemşire başka bir zaman 90Y karaciğer tedavisinde çalışmakta olup hastadan gama ışını radyasyonuna maruz kalmamaktadır. Karaciğerdeki 90Y radyonüklidinin sadece beta radyasyonu olup bunlar da tümörden dışarı çıkamadığı için çalışan görevlilere nispeten düşük düzeylerde radyasyon dozu maruziyeti yapmaktadır. Bu durum görevlilerin sağlığının korunması açısından faydalı olmakla birlikte, bazı gruplarda heterojen doz dağılımına neden olmaktadır.

Bazı çalışmalarda, doz maruziyetlerinin genellikle, radyofarmasötik hazırlama ve enjeksiyon sırasında oluştuğu gösterilmiştir (16,17). Tedavi başına ortalama absorbe dozlar en yüksek MIBG tedavisinde (131I MIBG) 332 \pm 134 μSv ve en düşük radyoiyod tedavisinde (tiroid c.a) 5,59 \pm 2,26 μSv olarak belirlendi. Bu uygulamalardaki doz yüksekliği radyofarmasötiklerin manuel hazırlanmasına ve yakın mesafeden hastaya uygulamasına bağlı olmaktadır.

7,8 GBq 177Lu oktrotit peptitleri tedavisinin yapıldığı bir çalışmada; personelin yıllık ortalama doz maruziyeti araştırılmış hemşirenin 1480 μSv , doktorun 740 μSv , sağlık fizikçisinin 380 μSv , radyofarmasistin 2140 μSv doz aldıkları bildirilmiştir. Bizim çalışmamızda ise 177Lu DOTATATE ve PSMA tedavisinde ortalama yıllık tüm mesleki maruziyet hemşirelerin 3250 μSv , doktorların 4051 μSv , sağlık fizikçilerinin 2371 μSv , radyofarmasistlerin 6170 μSv doz olarak hesaplanmıştır (18).

Bu çalışmada efektif dozlar incelendiğinde en düşük dozların radyoiyot tiroit kanseri tedavisi ve 177Lu DOTATATE nöroendokrin tümör tedavisi ile 177Lu PSMA prostat kanseri tedavisi uygulamalarında alındığı belirlenmiştir. Burada kullanılan mevcut radyoizotoplar saf β -emitteri olmayıp, bozunumda aynı zamanda gama radyasyonu salınımı da gerçekleşmektedir. 131I ve 177Lu radyonüklitlerinde kaynaktan ve hastadan çevreye salınan gama ışınlarının doz maruziyetini yükselttiği düşünülmektedir. Çalışanlar tarafından absorbe edilen ortalama dozlardan en yüksek dozların MIBG Tedavisi (131I MIBG) sırasında alındığı görülmektedir. 131I MIBG tedavisi sırasında hasta ile yakın temasta olunması doz maruziyetinin yüksek olmasına neden olabilmektedir.

90Y mikroküre tedavisi sırasında çalışanlar tarafından absorbe edilen radyasyon dozlarının oluşmasına beta (β) ışınlarının hasta vücudundaki elementler ile etkileşmesi sonucu salınan ve enerjisi 55-285 keV olan Bremsstrahlung ışınları neden olmaktadır.

Pant ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, radyofarmasistlerin her iki el için 1 haftada biriken ortalama parmak dozunu hesaplamışlar ve bu değeri 6,5 \pm 1,7 mSv olarak bulmuşlardır (19). Bizim çalışmamızda ise radyofarmasistler için haftalık kümülatif ortalama parmak dozu 1,3 mSv olarak elde edilmiştir.

Radyonüklit tedavide görevli meslek grupları arasındaki radyasyon dozu maruziyetinin anlamlılık değerlendirmesi sonucunda; hemşireler ile doktorların ve sağlık fizikçileri ile radyofarmasistlerin efektif dozları arasında anlamlı fark bulunmadı ($p>0,5$). Bununla birlikte diğer gruplar ikiye ayrılarak karşılaştırıldığına

hepsinde anlamlı fark bulundu. Daha fazla doz maruziyeti olan meslek gruplarından hemşireler ile doktorların diğer meslek grupları ile aralarında anlamlı düzeyde doz maruziyeti farkı olduğu görülmüştür.

SONUÇ

Sonuç olarak, bu çalışmada hedeflenmiş radyonüklit tedavilerde çalışan radyasyon görevlileri meslek gruplarına göre sınıflandırılmış, radyasyon dozları 6 yıllık süreçte incelenmiş olup yıllık ortalama ve prosedür başına ortalama dozlar hesaplanmıştır. Radyofarmasötiklerin hazırlanması sırasında, hastaya uygulanması sırasında ve hastanın tedavi servisinde yattığı süre boyunca doz aşımı olmadığı, radyasyon dozlarının IAEA tarafından önerilen güvenli değerlerde kaldığı tespit edilmiştir.

Etik Komite Onayı: Bu çalışma için etik komite onayı İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan alınmıştır (Tarih: 22.02.2022, No: 32).

Yazar Katkıları: Çalışma Konsepti/Tasarım- N.İ.İ.; Veri Toplama- N.İ.İ., M.D.; Veri Analizi/Yorumlama- N.İ.İ., M.D.; Yazı Taslağı- N.İ.İ., M.D.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi- M.D.; Son Onay ve Sorumluluk- N.İ.İ., M.D.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemişlerdir

Finansal Destek: Yazarlar finansal destek beyan etmemişlerdir.

Ethics Committee Approval: This study was approved by Istanbul University-Cerrahpaşa Clinical Research Ethics Committee (Date: 22.02.2022, No: 32).

Peer Review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- N.İ.İ.; Data Acquisition- N.İ.İ., M.D.; Data Analysis/Interpretation- N.İ.İ., M.D.; Drafting Manuscript- N.İ.İ., M.D.; Critical Revision of Manuscript- M.D.; Final Approval and Accountability- N.İ.İ., M.D.

Conflict of Interest: Authors declared no conflict of interest.

Financial Disclosure: Authors declared no financial support.

KAYNAKLAR

1. Wyszomirska A. Iodine-131 for therapy of thyroid diseases. physical and biological basis. Nucl Med Rev Cent East Eur 2012;15(2):120-3.
2. Devcic Z, Rosenberg J, Braat AJ, Techasith T, Banerjee A, Sze DY et al. The efficacy of hepatic 90Y resin radioembolization for metastatic neuroendocrine tumors: a meta-analysis. J Nucl Med 2014;55(9):1404-10.
3. Edeline J, Toucheffeu Y, Guiu B, Farge O, Tougeron D, Baumgaertner I et al. Radioembolization plus chemotherapy for first-line treatment of locally advanced intrahepatic cholangiocarcinoma: a phase 2 clinical trial. JAMA Oncol 2020;6(1):51-9.
4. Zang J, Fan X, Wang H, Liu Q, Wang J, Li H. et al. First-in-human study of 177LuEB-PSMA-617 in patients with metastatic castration-resistant prostate cancer. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2018;46(1):148-58.
5. Bayram T, Yılmaz AH, Demir M, Sonmez B. Radiation dose to technologists per nuclear medicine examination and estimation of annual dose. J Nucl Med Technol 2011;39(1):55-9.
6. IAEA Safety Series No. 63-Release of patients after radionuclide therapy; 2015. Available from: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/pub1417_web.pdf
7. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
8. IAEA Training Material on Radiation Protection in Nuclear Medicine. Dec, Part 5, Version; 2004.
9. Misdaq MA, Harrass H, Saikouk H, Matrane A. Dose to medical personnel. Health Phys 2020;118(2):129-35.
10. Lemoine J, Bourre JC, Giraud JY. Dosimétrie environnementale des patients à la suite de leur examen d'imagerie médicale. Radioprotect 2011;46(4):533-45.
11. Al-Mohammed HI, Sulieman A, Mayhoub FH, Salah H, Lagarde C, Alkhorayef M, Aldhebaib A. et al. Occupational exposure and radiobiological risk from thyroid radioiodine therapy in Saudi Arabia. Nature Portfolio 2021;11(1):145-57.
12. Bilska HP, Birkenfeld B, Gwarys A, Supińska A, Listewnik MH, Elbl B, et al. Occupational exposure at the Department of Nuclear Medicine as a work environment: A 19-year follow-up. Pol J Radiol 2011;76(2):18-21.
13. Willegaignon J, Paola Crema K, Oliveira NC. Pediatric 131I-MIBG Therapy for Neuroblastoma Whole-Body 131I-MIBG Clearance, Radiation Doses to Patients, Family Caregivers, Medical Staff, and Radiation Safety Measures. Clin Nucl Med 2018;43(8):572-8.
14. Arora G, Mishra R, Kumar P, Yadav M, Ballal S, Bal C, Damle NA. Estimation of Whole Body Radiation Exposure to Nuclear Medicine Personnel During Synthesis of 177Lutetium-labeled Radiopharmaceuticals. Indian J Nucl Med 2017;32(2):89-92.
15. Lancelot S, Guillet B, Sigrist S, Bourrelly M, Waultier S, Mundler O and Pisanoa P. Exposure of medical personnel to radiation during radionuclide therapy practices. Nucl Med Commun 2008;29(4):405-10.
16. Harding LK. Radiation safety in the nuclear medicine department: impact of the UK Ionising Radiations Regulations. Br J Radiol 1987;60(717):915-18.
17. Ho WO, Wong KK, Leung YL, Cheng KC, Ho FTH. Radiation Doses to Staff in a Nuclear Medicine Department. J HK Coll Radiol 2002;5:24-8.
18. Calais PJ, Turner JH. Radiation safety of outpatient 177Lu-octreotate radiopeptide therapy of neuroendocrine tumors, n Ann Nucl Med 2014;28(6):531-9.
19. Pant GS, Sharma SK, and Rath GK. Finger doses for staff handling radiopharmaceuticals in nuclear medicine. J Nucl Med Technol 2006;34(3):169-73.