

Nükleer Tıpta Doz Azaltım Yöntemleri

İ.Ü. İstanbul Tıp Fakültesi

Nükleer Tıp Anabilim Dalı

Yük. Fizik Müh. Leyla Poyraz

Karar Vericiler

- Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA)
- Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (ICRP)
- Uluslararası Radyoloji Birimleri ve Ölçümleri Komisyonu (ICRU)
- Ulusal Radyasyondan Korunma ve Ölçüm Komisyonu (NCRP)
- Nükleer Düzenleme Komisyonu (NRC)
- Radyasyon Kontrol Programı Direktörleri Konferansı (CRCPD)
- Birleşik Devletler Atomik Etkiler Bilimsel Komitesi (UNSCEAR)
- ABD Ulusal Bilimler Akademisi İyonlaştırıcı Radyasyonun Biyolojik Etkileri Komitesi (BEIR)
- Dünya Sağlık Örgütü (WHO)
- Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO)
- Avrupa Radyoloji Derneği (ESR)
- Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK)
- Sağlık Bakanlığı

Nereden Radyasyon Alırız?

Kaynak	Yaklaşık etkin doz (mSv)
Doğal radyasyon	3mSv/yıl
6 saatlik uçak yolculuğu.....	0.04 mSv
Akciğer filmi (tek yönlü)	0.01mSv'e kadar
Akciğer filmi (çift yönlü)	0.1mSv'e kadar
Beyin BT	2 mSv'e kadar
Toraks BT.....	3 mSv'e kadar
Batın BT	5 mSv'e kadar

Genel Doz Artış Sebepleri

- Ülkeye göre değişen doz sınırları (20, 50, 100 mSv/y)
- Denetim eksikliği
- Kalitenin sağlanmasında yetersizlik
- Aygıt iyileşmesinde yetersizlik
- Aygıt yazılımlarında çeşitlilik
- Bilgi ve deneyim eksikliği
- Hasta yoğunluğundan kaynaklanan, çoğu zaman istemsiz göz ardı etme ve özensizlik
- Gereksiz istemler
- İletişim sorunları

Müsaade Edilen Maksimum Doz

- Radyasyona karşı korunmada amaç tolere edilebilen dozları bilmek ve radyasyon çalışanları ile çevre halkının bunun üstünde doz almasını önlemektir.
- Radyasyon korunmasının hedefi
 - Deterministik etkileri önlemek,
 - Stokastik etkilerin meydana gelme olasılıklarını kabul edilebilir düzeyde sınırlamaktır.

Uluslararası Radyolojik Korunma Komisyonu (ICRP) tarafından

Müsaade Edilebilir Maksimum Doz (MEMD);

“ Bir insanda ömür boyunca hiçbir önemli vücut arazı ve bir genetik etki meydana getirmesi beklenmeyen iyonlaştırıcı radyasyon dozu ” olarak tarif edilir.

Doz Sınırlaması; Bireylerin normal ışınlanmaları, izin verilen tüm ışınlanmaların neden olduğu ilgili organ veya dokudaki için eşdeğer doz ve tüm vücut için etkin dozları yasalarda verilen sınırları geçemez.

ETKİNİN TİPİ	ICRP (1990)	NCRP
A. Radyasyon çalışanları için MPD değerleri		
Stokastik etki (kanser ve kalıtsal etki) için yıllık efektif doz	Ardışık 5 yıllık ortalama 2 rem (20 mSv)/ yıl, bir yılda 50 mSv aşmamalıdır	5 rem (50 mSv)
Stokastik etki için kümülatif efektif doz		1 rem x yaş yıl 10 mSv x yaş yıl
Doku için yıllık efektif doz (non-stokastik etki) Lens Diğer tüm organlar (deri, eller vb)	15 rem (150 mSv) 50 rem (500 mSv)	15 rem (150 mSv) 50 rem (500 mSv)
<i>*18 yaşından küçükler radyasyon işlerinde çalışamaz</i> <i>*Gebe radyasyon elemanı batın yüzeyine gebelik süresince 1 mSv radyasyon alabilir. Gözetimli alanlarda çalışmalıdır.</i>		

ETKİNİN TİPİ	ICRP (1990)	NCRP
B. Toplumdaki kişiler için MPD değerleri		
Stokastik etki için yıllık efektif doz Sürekli veya sık Nadir maruziyet	0.1 rem (1 mSv)	0.1 rem (1 mSv) 0.5 rem (5 mSv)
Eğitim sırasında		0.1 rem (1 mSv)
Doku için yıllık efektif doz (non-stokastik etki) Lens Ekstremiteler	1.5 rem (15 mSv) 5 rem (50 mSv)	5 rem (50 mSv) 5 rem (50 mSv)
C. Fötüs için MPD değerleri		
Total etki Stokastik etki için doz Bir aylık efektif doz	0.2 rem (2 mSv)	0.5 rem (5 mSv) 0.5 rem (5 mSv)

Nükleer Tıp görüntülemesinde organların aldığı dozlar

Görüntülenen organ	Etkin Doz (mSv)
Beyin	7
Kemik	4
Tiroit, Akciğer	1
Karaciğer, Böbrek	1

Radyoloji Dozları†

	Efektif Doz (mSv)	Yaşam Boyu Kanser Riski
Akciğer grafisi Diş röntgeni	0,01	
Kafatası	5	Minimal
Mamografi Beyin BT Nükleer Tıp Akciğer	1	1/100,000-1/10,000
Kolon, Lumber spine Bilgisayarlı Tomografi Göğüs	10-30 0,4	1/1000

Tanısal Amaçlı X-Işını Tetkikleri ile Alınan Etkin Doz Değerleri

Tetkik	Konvansiyonel X ışını, Doz, (mSv)	Bilgisayarlı Tomografi, Doz (mSv)
KAFA	0,07	2,3
AKCİĞER	0,14	13,3
KARIN	0,53	13,3
KALÇA	0,83	13,3
OMURLAR	2	8,8
BARSAK	6	

Girişimsel radyoloji hasta dozunun en yüksek olduğu uygulama çeşididir.
Bu yöntemde hasta dozu 10-100 mSv arasındadır.

TIBBİ UYGULAMALAR

Radyasyon Dozları

Nükleer Tıp

- Kemik 4.5 mSv
- AC perfüzyon 2 mSv
- AC ventilasyon 1 mSv
- Tiroid uptake 10 mSv
- Böbrek 3 mSv
- KC dalak 2 mSv
- Beyin 6.99 mSv

Radyoloji

- BT ... mSv
- Anjiyografi 12 mSv
- Cerrahi Skopi 20 mSv
- Diş röntgen 0.1 mSv
- Vertebra 2 mSv
- AC röntgen 0.2 mSv

RADYASYON DAN KORUNMA

TEMEL PRENSİPLER

a)Gereklilik: (JUSTIFICATION) Net fayda sağlamayan hiçbir radyasyon uygulamasına izin verilmemelidir.

- Her Radyasyon Uygulamasında Zararlı Etkiyi Dengeleyecek Tıbbi Yarar Olmalıdır
- Hastalar ve Radyasyon Çalışanları Gereksiz ve Sonuç Vermeyecek Şekilde Işınlanmamalıdır
- Etik Kurul Kararı
- Personel Tıbbi Radyasyon Uygulamada Hastayı Tutmamalıdır, Koruyucu Önlük Giymiş Ebeveyni Veya Yakını Yapmalıdır
- Bu İlke Özellikle ÇOCUKlar için Önemli

TEMEL PRENSİPLER

b)Etkinlik:(OPTIMIZASYON) As Low As Reasonably Achievable (ALARA)

Maruz kalınacak dozlar mümkün oldukça düşük tutulmalıdır. Tedavi amaçlı tıbbi ışınlamalar hariç radyasyon ışınlaması gerektiren durumlarda bireysel dozların büyüklüğü ışınlanacak kişilerin sayısı, olası tüm ışınlamalar için ekonomik ve sosyal faktörler göz önünde

TEMEL PRENSİPLER

c) Kişisel Doz-Risk Sınırları: Alınmasına izin verilen dozlar sınırlandırılmalıdır.

Bireylerin normal ışınlamaları, izin verilen tüm ışınlamaların neden olduğu ilgili organ ya da dokudaki eşdeğer doz ile etkin doz değerleri Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği'nin 10 ve 12. maddesinde aşağıda belirtilen yıllık doz sınırlarını aşmamalıdır.

- Mesleksel, Diğer Çalışanlar ve Halk Doz Sınırları Radyasyonun Deterministik ve Stokastik Etkileri için Belirlenir,
- Peryodik Kan Kontrolleri,
- Kişisel Dozimetreler,
- Radyasyon Alanları (Denetimli / Gözetimli),
- Ruhsatlandırma,
- Kayıtların Tutulması,
- Gebe Çalışanlar,
- Bölütif Yaşam Kaybı (LIFE)

PET Radyoizotopları

PET'de Yaygın Olarak Kullanılan Bazı Radyoizotoplar ve Özellikleri
(Ga-68, Cu-64, Rb-82 Yeni PET Ajanları)

Radyoizotop	Yarı Ömür	Maksimum Pozitron Enerjisi MeV	Dokudaki Erişim Mesafesi	Nükleer Reaksiyon
Oksijen-15	124 saniye	0.97	7.3 mm	$^{14}\text{N}(\text{d},\text{n})^{15}\text{O}$
Nitrojen-13	9. 97 dakika	1.19	5.1 mm	$^{16}\text{O}(\text{p}, \alpha)^{13}\text{N}$
Karbon-11	20.3 dakika	1.73	4.1 mm	$^{14}\text{N}(\text{p}, \alpha)^{11}\text{C}$
Flor-18	110 dakika	0.64	2.4 mm	$^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$

TEDAVİ RADYONÜKLİDLERİ

Radyonüklid	simge	Partikül	Yarıömür	Part En. MeV	Dokudaki menzili
Yttrium-90	^{90}Y	beta	2,67 gün	2,28	12 mm
Renyum-188	^{188}Re	beta	17saat	2,1	10,8mm
Fosfor-32	^{32}P	beta	14,3 gün	1,71	8,7mm
Stronsiyum-89	^{89}Sr	beta	50,50 gün	1,49	8 mm
Disprosiyum-165	^{165}Dy	beta	2,33 saat	1,29	6,4 mm
Renyum-186	^{186}Re	beta	3,77 gün	10,8	5 mm
Altın-198	^{198}Au	beta	2.7 gün	0,96	4,4 mm
Samaryum-153	^{153}Sm	beta	1.95 gün	0,81	3 mm
İyot-131	^{131}I	beta	8.04 gün	0,61	204 mm
Terbiyum-161	^{161}Tb	beta	6,9 gün	0,59	202 mm
Lutesyum-177	^{177}Lu	beta	6,7 gün	0,5	108 mm
Erbiyum-169	^{169}Er	beta	9,4 gün	0,34	1 mm
İndiyum-111	^{111}In	İç dönüşüm	2,83 gün	0,25	0,6 mm
Kalay-117m	$^{117\text{m}}\text{Sn}$	İç dönüşüm	13,6 gün	0,16	0,3 mm
İyot-125	^{125}I	Auger	60,3 gün	30 keV	17 μm
Bizmut-212	^{212}Bi	Alfa	1 saat	8,8	87 μm
Astatin-211	^{211}At	Alfa	7,2 saat	6,8	65 μm
Terbiyum,149	^{149}Tb	alfa	4 saat	4	28 μm

Yetişkin radyofarmasötik dozlar							
						Max Doz	
No	Sintigrafi	tracer	Standart doz MBq		mCi	MBq	mCi
1	Skeleton	Tc-HDP	740		20	1110	30
		BRAİN					
2	Brain	Tc-ECD	740		20	1110	30
3	Brain	Tc-HMPAO	740		20	1110	30
4	BBB Perfusion	Tc-DTPA	555		15	555	15
5	CSF Leak,Shunt patency	In-111 DTPA	370		10	555	15
6	CSF Leak,Shunt patency	Tc-DTPA	370		10	555	15
			CARDİAC				
7	MP,1 day protocol	Tc-MIBI Rest	370		10	370	10
		Tc-MIBI Stress	1110		30	1110	30
8	MP,2 day protocol	Tc-MIBI Rest	900		25	1110	30
		Tc-MIBI Stress	900		25	1110	30
9	Firs Pass-Cardiac	Tc-DTPA	740	(0,5 ml) 20		900	25
10	Myocardiac perfusion	TL-201 Viability	111		3	111	3
		TL-201 reiniection	80		2	80	2
11	Firt Pass-EF	Tc- PYP-RBC	740		20	740	20
			900		25	900	25
12	LV EF ,protein loosing	Tc-HSA	900		20	900	25
13	Venography	Tc-PYP-RBC	370+370		10+10	370	10
			RESPIRATORY				
14	Lung ventilation	Tc-DTPA	1110		30	1110	30
15	Lung perfusyon	Tc-MAA	200		5	260-370	7-10
			RENAL				
16	Renal dynamic	Tc-DTPA	555		15	555	15
17	Renal dynamic	Tc-MAG3	370		10	370	10
18	Renal dynamic	Tc-EC	200		5	200	5
19	Renal static	Tc-DMSA	200		5	200	5
20	Cystogram	Tc-NNC	74		2	111	3

Yetişkin radyofarmasötik dozlar							
						Max Doz	
No	Sintigrafi	tracer	Standart doz MBq		mCi	MBq	mCi
			GIT				
21	GIT Bleeding	Tc-RBC(Ultra Tag)	900		25	900	25
22	GIT Bleeding	Tc-Colloid	370		10	370	10
23	Milk Scan	Tc-NNC	80		2	80	2
24	GIT reflux&transit time	Tc-colloids	20		0,5 fluid	20	0,5
			37		0,5 solid	37	1
26	Liver/spleen	TC-Tin or sulfur colloid	200		5	200	5
27	Liver hemangioma	Tc-RBC	900		25	900	25
28	Spleen	Denaturated RBC	555		15	555	15
29	Meckle's	TcO ₄	260		7	260	7
		TcO ₄ scans and others					
30	Thyroid	Tc-Pertechnetate	190		5	190	5
	Thyroid	Tc-MiBi	370		10	370	10
31	Testicular	Tc-Pertechnetate	900		25	900	25
32	Salivary	Tc-Pertechnetate	370		10	370	10
33	Dacryo Scintigraphy	Tc-Pertechnetate	15		0,4 each eye	15	0,5
34	Joints-bone marrow	Tc-NNC	700		20	700	20
35	Lymphogram	Tc-NNC	74+74		2+2	74+74	2+2
36	Varicocele	Tc-PYP-RBC	900		25	900	25
37	Joints-bone marrow	Tc-NNC	700		20	700	20
		Infection,inflammation&tumor markers					
38	Infection	Tc-Leukoscan	740-1110		20-30	1110	30
39	Spleen	Denaturated RBC	555		15	555	15

		Pediatrik Minimum Doz			
		Minumum Doz		Minunmum Doz	
Scan		mCi		MBq	
Tc-99m HDP Bone		1.10/2/2		40	
Tc-99m HSA Cardiac (E.F.)		2.20/2/300 MicroCi		80	
Tc-99m LyoMAA		0.30/1		10	
Tc-99m Cystogram		0.30/1		10	
Tc-99m First Pass		2.20/2		80	
Tc-99m Thyroid		0.30/1/1		10	
Tc-99m PYP Blood Pool		0.80		30	
Tc-99m RBC		1.6		60	
Tc-99m PYP DTPA /EC Renal		0.54/2/2		20	
Tc-99m DTPA Gastric Reflux		0.30		10	
Tc-99m DMSA		0.40/1/0.5		15	
Tc-99m DTPA Aresol (Lung Vent.)		0.54/30		20	
Tc-99m Dacryogram		2x0.20			
Tc-99m PYP		2			
Tc-99m Meckel's Disease		2/2			

Tanı ve tedavi amaçlı radyasyonun ne tür riskleri olabilir?

- Tanı amaçlı radyasyonun kansere neden olduğuna dair kesin bir kanıt bulunmamaktadır. Ancak bazı büyük çaplı araştırmalar düşük doz radyasyonun bile kanser riskini çok az da olsa arttırdığını göstermiştir.
- Radyasyon güvenliğinden sorumlu ulusal ve uluslararası kuruluşlar şu noktada aynı görüştedirler:
- Kansere yol açtığı bilinen bir eşik radyasyon dozu yoktur; bu nedenle en düşük dozda radyasyonun bile zarar verebileceğini düşünerek davranmak, özellikle gebe ve çocuk hastaları korumak için en güvenli yaklaşımdır

Teknolojik Gelişmeler

- Nükleer Tıp enstrümantasyon çalışmaları artmış görüntü kalitesi ve azalmış görüntüleme zamanı üzerine yoğunlaşmıştır.
- Amaç; en iyi klinik cevabı veren görüntü kalitesi elde etmek için parametreleri optimize etmektir.
- Zorluk; Parametrelerin bağımsız olmasıdır.
- Prosedürde bir parametre değiştirmek, diğerlerini etkileyecektir. Tek bir parametre değiştirirken meydana gelen tüm değişiklikleri anlamak çok önemlidir.

Teknolojik Gelişmeler

Sintilasyon Kristali;

Optimum dedektör performansı için sintilatör özellikleri

1.İyi durdurma gücü,

2.Kısa dikey time,

3.İyi ışık verimi,

4.İntrinsik enerji rezolüsyonu

- Durdurma gücü, yoğunluğu ve efektif atom numarası bağlı

Teknolojik Gelişmeler

CdZnTe Dedektörler

- Görüntüleme zamanı 3 dakika azalır. (JNM 2010)
- Hastaya kullanılan aktivite %50 azalır. (JNM 2011)
- Sayım verimi %100 olur.

Dozu Etkileyen Faktörler

- Verilen aktivite miktarı

Toplam sayımlar ve görüntüleme süresi

- Kamera seçimi

Dedektör kalınlığı ve malzeme nitelikleri

2D ve 3D

Aksiyel görüş alanı (FOV)

- Kolimatör seçimi

- Görüntü işleme ve rekonstrüksiyon işlemleri

Hasta Efektif Doz (mSv)

	1 yaş	5 yaş	10 yaş	15 yaş	yetişkin
Ağırlık (kg)	9,7	19,8	33,2	58,8	70
Tc-MDP(20mCi)	2,8	2,9	3,9	4,2	4,2
Tc-ECD(20mCi)	4,1	4,6	5,3	5,9	5,7
Tc-MAG3(10mCi)	1,2	1,3	2,2	2,8	2,7
Tc-MIBI Rest(10mCi)	2,7	2,0	3,2	3,6	3,3
Tc-MIBI(30mCi)	6,9	7,2	8,4	9,0	8,8
Tc-Tetrofosmin Rest(10mCi)	2,2	2,3	2,3	2,9	2,8
Tc-Tetrofosmin Rest(30mCi)	5,3	5,6	6,3	7,3	7,7
Tl-201(3mCi)	20,0	24,8	29,5	18	15,5

CT'de Hasta Dozu ve Azaltma Yöntemleri

BT incelemelerinde ARTIŞ

Doz ilişkili BT ölçütleri

- Aygıt geometrisi (fokalspot-hasta mesafesi)
- mA, kVp
- Aygıt tipi (konvansiyonel, tek kesitli helikal, ÇKBT)
- İncelenen bölgenin uzunluğu
- Kolimasyon, masa hızı, pitch
- Gantryrotasyon süresi
- Hasta boyutu/kalınlığı
- Koruma (gonadlar, lens, tiroid) (Bitemelli)

Hasta Dozlarının Kontrolü

Hastaların radyasyonla tedavisinin tedavi planlaması ve simülasyona uygun şekilde gerçekleştirilmesi ve verilen dozların doğruluğu için Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalında, Radyasyon Fizikçileri tarafından aşağıdaki ölçüm ve kontroller yapılmaktadır:

- Cihazların Mekanik Kontrolleri: Dozimetrik parametrelerin doğru ölçüm koşullarında belirlenmesi ve hastaların doğru tedavi edilmesi için cihazın mekanik hareketlerinin belirlenmiş tolerans değerleri içinde olduğuna ilişkin kontroller haftalık, aylık ve 6 aylık dönemlerde yapılmakta ve kayıtları tutulmaktadır. Bu kontroller içerisinde gantri, kolimatör ve masanın dönüşüyle izomerkezin değişimi, dijital ve analog olarak gözlenen değerlerin karşılaştırılması, kolimasyon sistemiyle oluşturulan alanların ve ışınlanan alanın doğruluğu yer almaktadır. Brakiterapi cihazının mekanik kontrolleri kapsamında kaynağın hareketinin doğruluğuna bakılır.

- Cihazların Dozimetrik Kontrolleri: Lineer Hızlandırıcı cihazı için kullanılan radyasyon enerjileri (elektron, foton) literatürde gösterilmiş protokoller ile kalibre edilir. Haftalık ölçümlerle cihazın verdiği radyasyonun doğruluğu kontrol edilmektedir. Brakiterapi cihazı için kaynak değişimlerinde kalibrasyon yapıp aktivitenin doğruluğu ölçümlerle

- Radyolojik Kontroller: Tedavi planlamasına aktarılan BT'lerdeki doku yoğunluğu değerlerinin tedavi planlamasına uygun olmasına ilişkin kontrolleri içerir.
- Ölçüm yapılan iyon odalarının ve elektrometrenin kalibrasyonunun periyodik olarak yapılması sağlanır.
- Hastaların tedavisinin tedavi

HAMİLELİK VE TIBBİ İŞINLAMA

- (Bu bölüm "ICRP publication 84 (www.icrp.org) " temel alınarak hazırlanmıştır.)
- Dünyada her yıl binlerce kadın iyonlaştırıcı radyasyondan etkilenmektedir. Bu etkilenim yeterli bilgi sahibi olunmadığında gereksiz yere büyük anksiyetelere ve gebeliklerin sonlandırılmasına neden olmaktadır.

Radyasyon etkilenimi OLMAYAN gebelerde potansiyel riskler

- Spontan düşük %15
- Genetik bozukluk %4-10
- İntrauterin gelişme geriliği %4
- Majör malformasyon %2-4

Kaynak: Pregnancy and Medical Radiation (www.icrp.org/ICRP_84_Pregnancy_s.pps)

SANTRAL SİNİR SİSTEMİNE AİT MALFORMASYONLAR

- SSS özellikle döllenme sonrası 8-25. Haftalarda radyasyona duyarlıdır.
- 100 mGy üzerindeki fetal dozlarda mental fonksiyonlarda (IQ) azalmaya yol açabilir.
- 1000 mGy dozlarında ise ciddi mental retardasyon ve mikrosefali gelişebilir.

LÖSEMI VE DİĞER KANSERLER

- Radyasyonun, erişkin ve çocuklarda, lösemi ve diğer bazı kanserlerin gelişim riskini arttırdığı gösterilmiştir. Gebelikte de fetus benzer riski taşımaktadır.
- 10 mGy'lik fatal dozda relatif risk 1.4'tür bu normal insidanstan %40 artışa işaret eder.

Alınan radyasyon dozuna göre SAĞLIKLI çocuk doğurma olasılığı

Doz	Malformasyon olmama olasılığı	Kanser olmama olasılığı (0-19 yaş)
0 mGy	%97	%99.7
1 mGy	%97	%99.7
5 mGy	%97	%99.7
10 mGy	%97	%99.6
50 mGy	%97	%99.4
100 mGy	%97	%99.1
>100 mGy	Olası	Yüksek

CT uygulamalarında maruz kalınan tahmini fetal dozlar

Uygulama	Ortalama Doz (mGy)	Maksimum Doz (mGy)
Baryum (üst GIS)	1.1	5.8
Baryum enema	6.8	24
Kranial CT	<0.005	

CT'DE DOZ DÜŞÜRME YAKLAŞIMLARI

- mA'in düşürülmesi
- Sürenin düşürülmesi
- Pitch arttırılması
- kVp düşürülmesi

Tedavilerde Dozimetrik Yaklaşım

Y-90 Microküre Tedavisi;

I. Empiric Model

II. Body Surface Area Model

III. MIRD Model

IV. Partition Model

V. Voxel Model

Tedavilerde Dozimetrik Yaklaşım

Peptid Reseptör Radyonüklid Tedavisi

- MIRD Yöntemi
- Organ Dozimetrisi
- Kemik İliği Dozimetrisi
- Lezyon / Tümör Dozimetrisi

Peptid Reseptör Radyonüklid Tedavisi (PRRT)

- ^{90}Y -[DOTA⁰,Tyr³]-octreotide (DOTATOC) ve
- ^{177}Lu -[DOTA⁰,Tyr³]-octreotate (DOTATATE)

gibi beta yayıcı radyoizotoplarla işaretli somatostatin analogları ile gerçekleştirilmektedir.

MIRD (Medical Internal Radiation Dose) Teknikleri ve Dozimetri

- İyonlayıcı radyasyonun canlı dokuya zarar verdiği bilinen bir gerçektir.
- Bu durum hastalıkların tedavisinde avantaj olarak değerlendirilebilir.
- Ancak radyonüklidlerin tedavi amaçlı uygulamalarında uluslar arası kriterler ölçüsünde kesin sınırlamalar vardır.
- İşte bu sınırlamalar dahilinde radyonüklidlerin, radyobiyolojik etkileri belirlenmiştir.
- Rutin olarak kullanılan radyofarmasötiklerin vücut içindeki dağılımlarına göre, radyasyon dozları MIRD tarafından belirlenerek yayınlanmıştır.

MIRD Metodu

İç radyasyon dozlarının hesaplanmasında iki metod vardır.

Birincisi Klasik metod (Marinelli Formülü),
ikincisi MIRD Metodu (Absorbe Fraksiyon Metodu)'dur.

Klasik metod hesaplamalara genel çerçevede yaklaşır, oldukça kaba sonuçlar verir.

MIRD metodu ise daha kesin ve doğru sonuçlar verir.

İki metodun sonuçları arasında önemli farklar vardır.

Klasik Metod

(Marinelli Formülü)

- $D_{\beta} = 73.8 \times C \times E_{\beta-} \times T_e$
- $D_{\gamma} = 0.0346 \times C \times \Gamma \times g \times T_e$
- D_{β} = beta radyasyonunun rad cinsinden dozu,
- D_{γ} = gama radyasyonunun rad cinsinden dozu,
- C = radyonüklidin ilk konsantrasyonu ($\mu\text{Ci/g.m}$),
- $E_{\beta-}$ = beta radyasyonunun MeV cinsinden ortalama enerjisi,
- Γ = 1 cm mesafede R/mCi / sa cinsinden doz sabiti,
- g = geometrik faktör
- T_e = gün cinsinden efektif yarılanma süresi.

MIRD Metodu (Absorbe Fraksiyon Metodu)

- MIRD metodu kullanılarak yapılan radyasyon dozu hesaplamalarından nükleer tıpta sıklıkla yararlanılmaktadır.
- MIRD metodu ile radyasyon dozu hesaplamalarına geçmeden önce bu metod içinde geçen bazı terim ve kavramların açıklamasını vermekte yarar vardır.

MIRD Metodu

Absorbe Radyasyon Dozu

- **Radyasyon dozu (D)** : Absorplayıcı materyalin gramı başına depo ettiği radyasyon enerjisinin miktarıdır.
- Radyasyon dozunun temel birimi **rad**' tır.
- SI biriminde, **rad** yerine **Gray** (Gy) kullanılır.
- $1\text{Gy} = 100\text{ rad}$ eşitliği vardır.

MIRD Yöntemi

$$D_{\text{hedef} \rightarrow \text{kaynak}} = \frac{k \tilde{A}_{\text{kaynak}} \sum_i n_i E_{ij}}{m_{\text{hedef}}}$$

- D : Hedef organda soğurulan doz (Gy)
 $\tilde{A}$: Bir kaynak organdaki kümülatif aktivite (MBq-s)
 n : Nükleer bozunma başına E enerjisinde salınan radyasyon oranı
 E : Radyasyon başına enerji (MeV)
 $\square$: Kaynaktan salınan radyasyon enerjisinin hedefte soğurulma oranı
 m : Hedef organın kütlesi (kg)
 k : Orantı sabiti (Gy-kg/MBq-s-MeV)

MIRD Yöntemi

$$S_{\text{hedef} \leftarrow \text{kaynak}} = \frac{k \sum_i n_i E_i \phi_i}{m_{\text{hedef}}}$$

$$D_{\text{hedef} \leftarrow \text{kaynak}} = \frac{k \tilde{A}_{\text{kaynak}} \sum_i n_i E_i \phi_i}{m_{\text{hedef}}}$$

$$\begin{aligned} D_{\text{hedef} \leftarrow \text{kaynak}} &= \tilde{A}_{\text{kaynak}} \times S_{\text{hedef} \leftarrow \text{kaynak}} \\ &= A_0 \times \tau_{\text{kaynak}} \times S_{\text{hedef} \leftarrow \text{kaynak}} \end{aligned}$$

A_0 : Hastaya enjekte edilen aktivite (MBq)

ϕ : Aktivitenin kaynakta kalış süresi (residence time) (s)

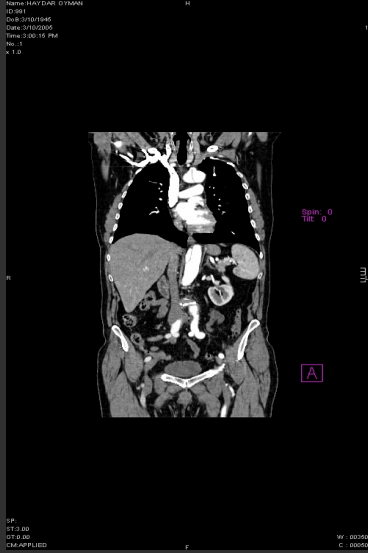
S : Doz dönüşüm faktörü (Gy/MBq-s)

Genel Radyasyon Dozunun Azaltma Yöntemleri

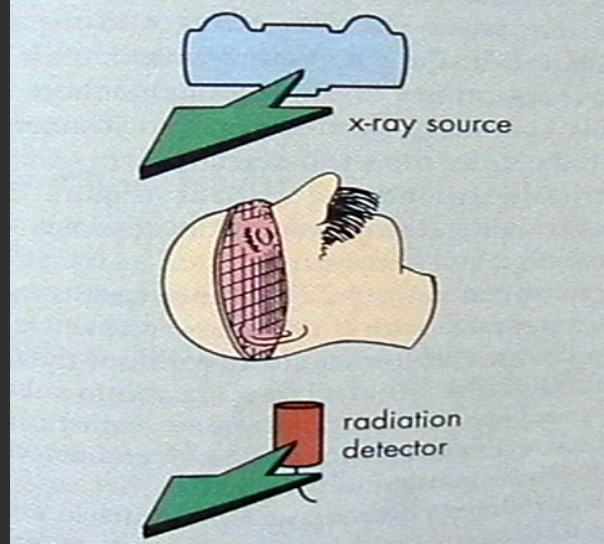
Görüntüleme tetkikleri ancak kesin bir tıbbi yarar varsa kullanılmalıdır.

- Radyasyon dozu çocuğun yaşı ve ağırlığı dikkate alınarak iyi görüntü verecek en düşük doza ayarlanmalıdır.
- Tetkik sadece incelenmesi gereken bölgeye sınırlandırılmalıdır. (BT ve Dansitometri)
- Birden fazla tetkik yapmaktan kaçınılmalıdır.
- Eğer mümkünse alternatif tanı yöntemleri (US, MRI) kullanılmalıdır.
- Erişkin hastalar ve çocuk hastalar için aynı dozlar kullanılmamalıdır.
- Teknolojik Gelişmeler Takip Edilmeli
- Hastaya Göre Doz Uygulamaları Yapılmalı

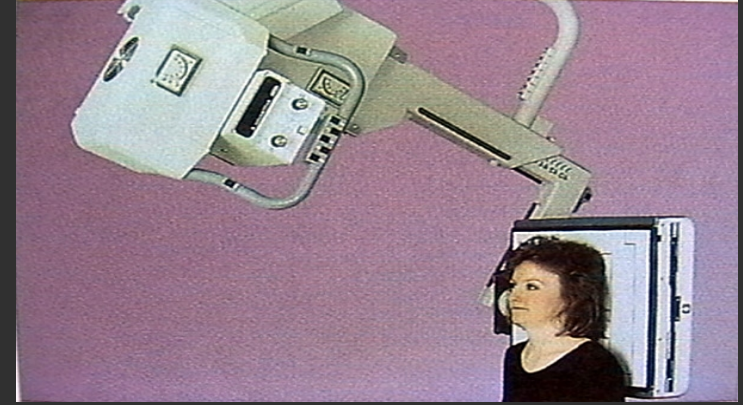
Gereksiz
Bölgelerin
Taranmaması



Fazla Kesit
Alınmaması



İşlemi Tekrarlamamak İçin
uygun Pozisyonda Çekim
yapmak



Uygun kw ve mAs (Doz) değerlerini seçmek

