

MIRD Teknikleri ve Dozimetri

(MIRD- Medical Internal Radiation Dose Committee)

Prof.Dr. Mustafa Demir

İÜ Cerrahpaşa Tıp Fakültesi
Nükleer Tıp Anabilim Dalı

Radyasyonun biyolojik etkilerini nereden öğreniyoruz?



6th August 1945

Hiroshima



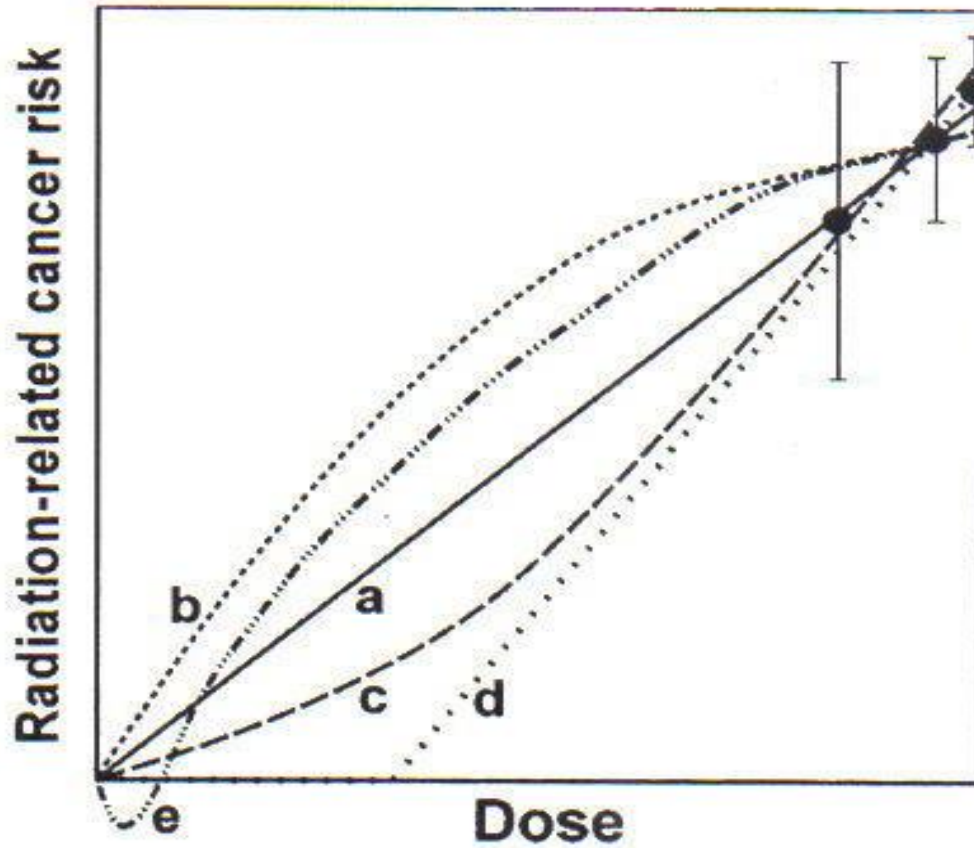
25th-26th April 1986

Chernobyl

Horosima dan 60 yıl sonra

- Ağustos 1945 bomba atıldı – toplumdaki etkisi kısmen radyasyona bağlandı.
- Eylül 1945 US bilim adamlarınca –kısa sureli etkilerin gözlemlendiği bildirildi.
- Mayıs 1946 uzun sureli etkiler gözlenmeye başlandı.
- 1948: genetik çalışmalar başladı.
- 1949: radyasyon kataraktı gözlemlendi
- 1953: lösemi bulguları ↑
- 1958: Yetişkin insan çalışmaları başladı – bu sonuçlardan epidemiyoloji gelişti.
- 1970' lerde çocukların gelişimi çalışmaları tamamlandı.
- **1986 yaşayanlarda dozimetri çalışmaları yapıldı.**
- 2002-2006 yaşayanlardaki hastalık tipleri belirlendi.

Doz-etki teorileri



MIRD 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 ve Marinelli 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_{β^-} = 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.

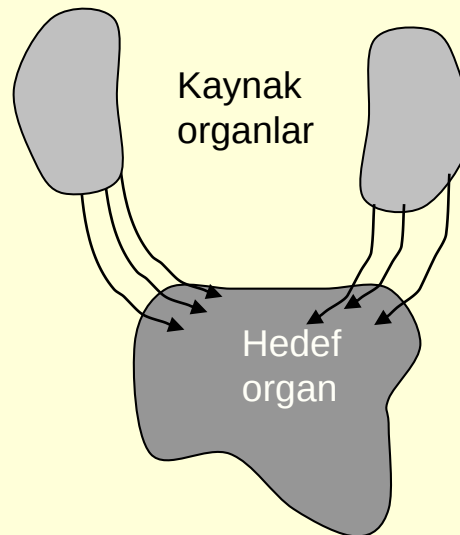
MIRD Metodu

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.

Kaynak organ → hedef organ

- MIRD metodu, vücutta bir veya daha fazla kaynak organ ve hedef organdan yayılan radyasyon dozunu hesaplamada kullanılır. Bazen kaynak organ ile hedef organ aynı olabilir.



Kaynak organ → hedef organ

- Kaynak organdan hedef organa radyasyon dozunu hesaplarken üç önemli kriter vardır.
- 1. Radyoaktivitenin toplam miktarı ve kaynak organda radyoaktivitenin toplanma süresi. (Daha çok aktivite ve daha uzun süre daha çok radyasyon dozuna sebep olur).
- 2. Kaynak organda biriken radyasyon enerjisinin toplam miktarı. (Radyoizotopun bilinen fiziksel özellikleri)
- 3. Kaynak organdan yayılan radyasyonun, hedef organ tarafından absorbe edilen miktarı. (Organların anatomik yerleşimi ile ilgili geometrik faktörler).

Kaynak organ → hedef organ

Radyasyon Dozu (D)

- Organların anatomik yapısı ve geometrik yerleşimleri hastadan hastaya değişiklik gösterir. Bu nedenle standart modeller üzerinde çalışılarak radyasyon dozları (D) belirlenir.

Limitations of the Standard MIRD Schema

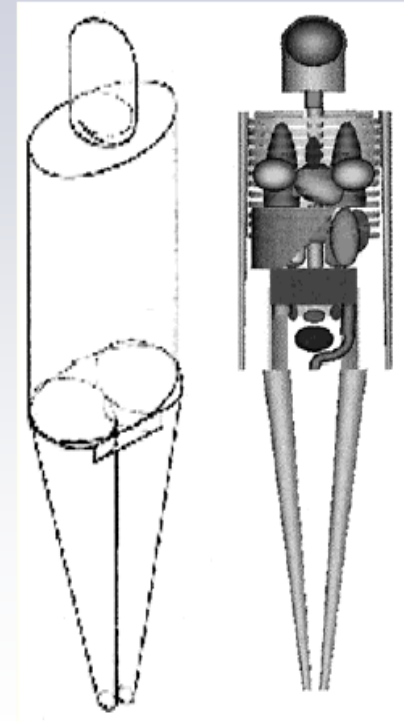
S-factors are defined for "standard" antropomorphic phantoms.

Assumes distribution in organs are uniform

Does not allow for "patient specific" characteristics

S-factors not tabulated for distributions other than organs

Large uncertainties for specific patients



MIRD Metodu

Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$)

- Hedef organın maruz kaldığı radyasyon dozu, kaynak organda biriken aktivitenin **miktarına ve süresine** bağlıdır.
- Miktar ve süre kavramları birlikte kaynak organda **birikmiş aktivite** ($\tilde{A}$) olarak bilinir.
- Birimi : $\mu\text{Ci} \times \text{sa}$

MIRD Metodu

Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$)

Simple exponential decay

$$\lambda = \ln(2) / T_{1/2} \quad (\text{physical half-life})$$

$$\lambda_h = \ln(2) / T_h \quad (\text{biological half-life})$$

$$\begin{aligned} \tilde{A}_h &= \int_0^{\infty} A_h e^{-(\lambda + \lambda_h)t} dt \\ &= A_h / (\lambda + \lambda_h) \\ &= 1.443 (T_h)_{\text{eff}} A_h \end{aligned}$$

$$\frac{1}{T_{\text{eff}}} = \frac{1}{T_{1/2}} + \frac{1}{T_h}$$

$$(\lambda_h)_{\text{eff}} = \lambda + \lambda_h$$

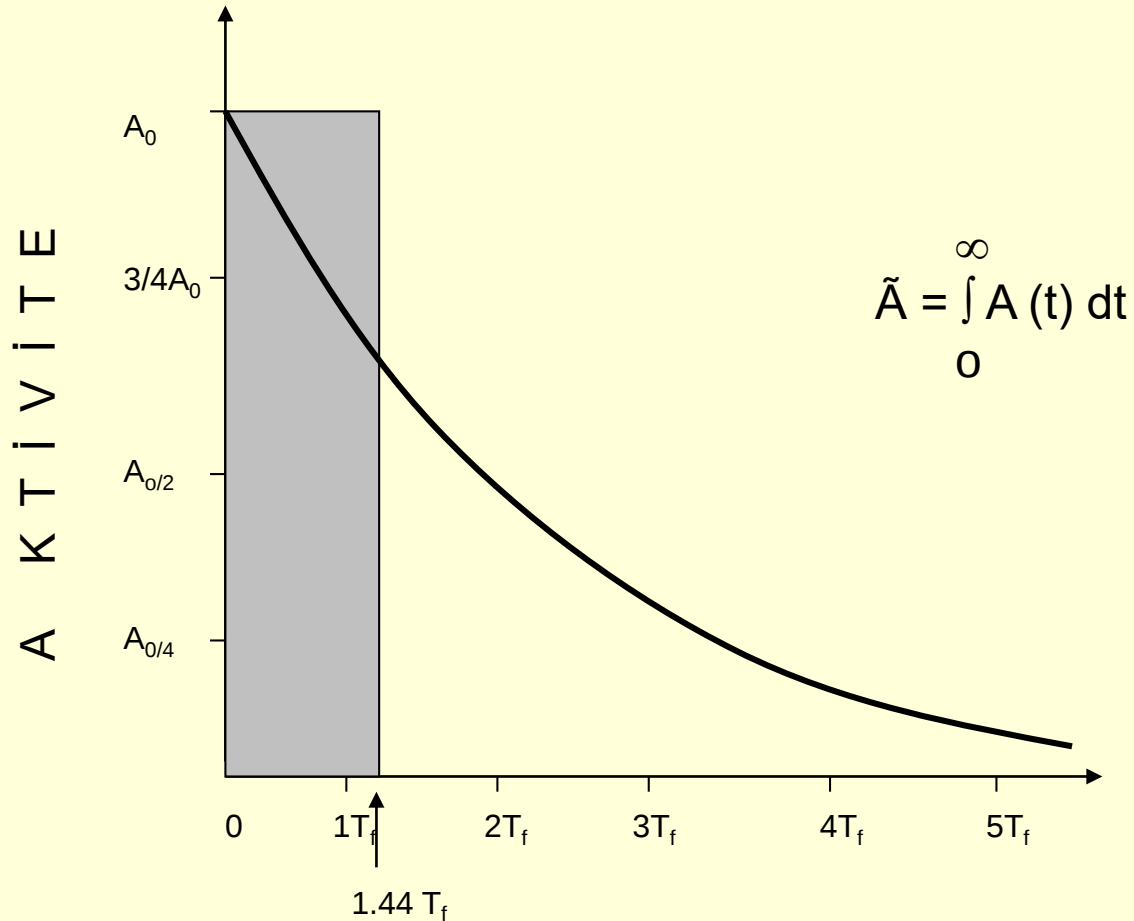
$$(\lambda_h)_{\text{eff}} = \frac{\ln(2)}{(T_h)_{\text{eff}}} = \frac{1}{1.443 (T_h)_{\text{eff}}}$$

$$\tau_h = \tilde{A}_h / A_0$$

$$= 1.443 (T_h)_{\text{eff}} \frac{A_h}{A_0}$$

MIRD Metodu

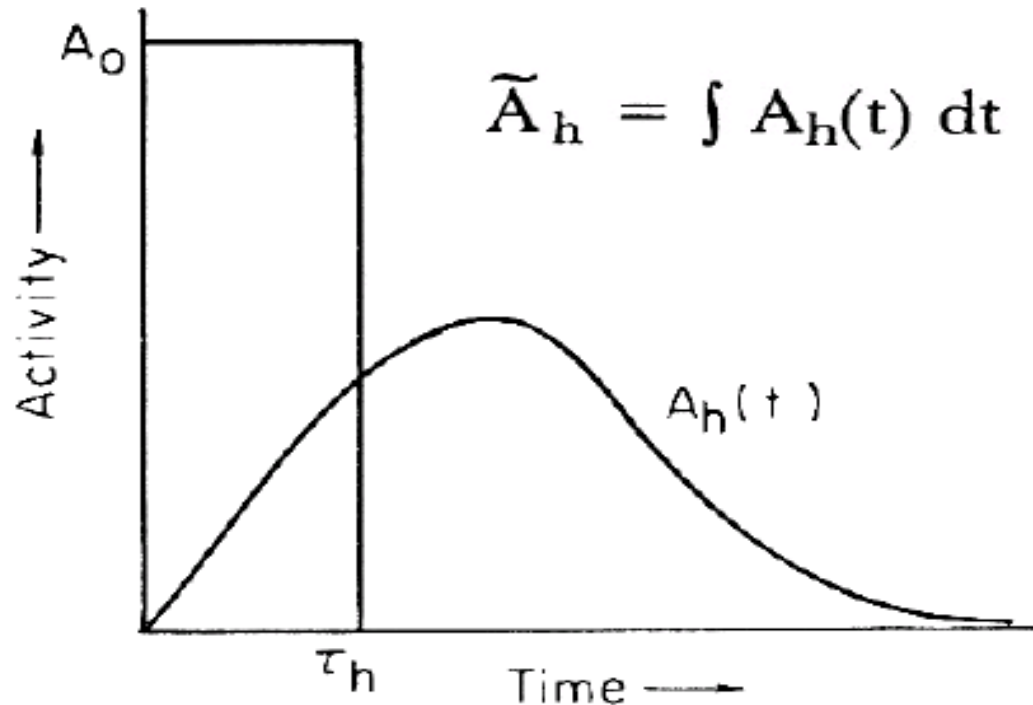
Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$) ve Fiziksel Yarılanma



Z A M A N (yarılanma süresi)

MIRD Metodu

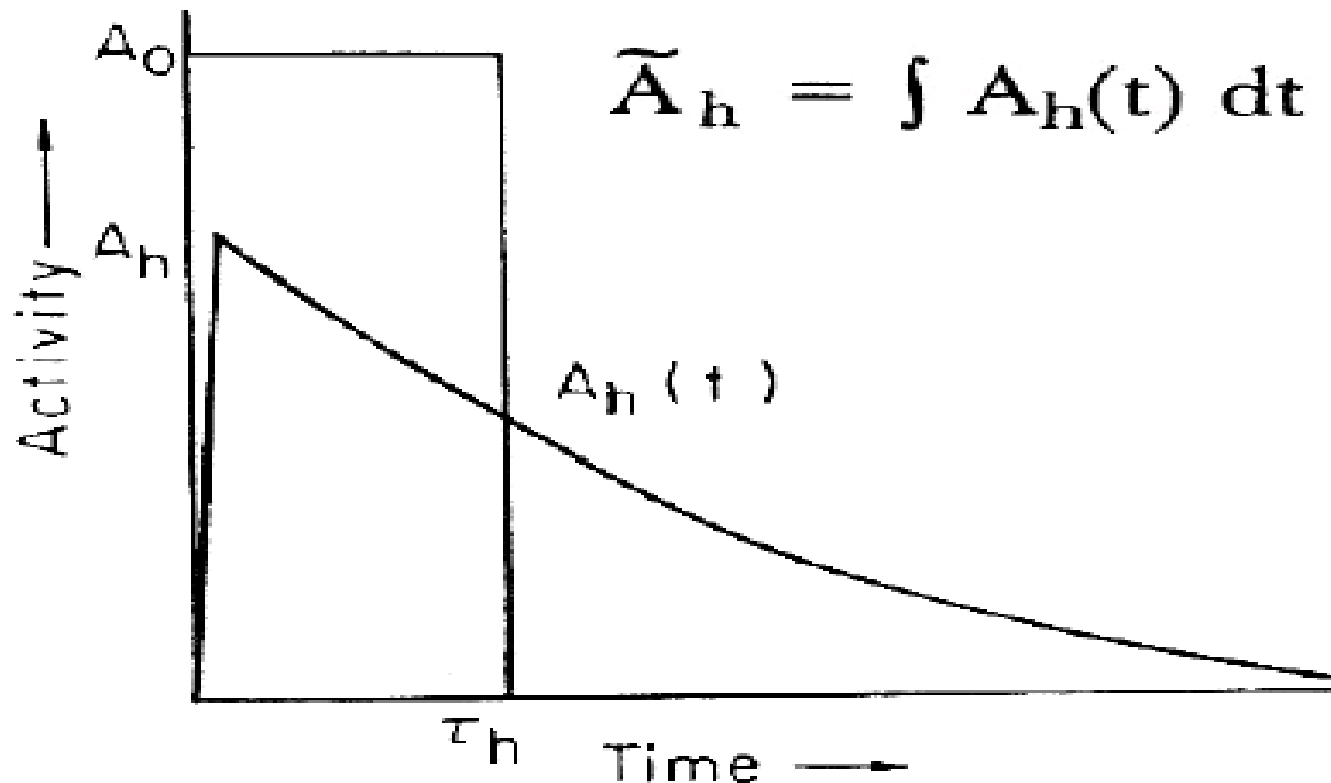
Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$)



The concept of residence time (τ_h) for an organ that has no activity at time $t = 0$. The area under $A_h(t)$ equals the area of the rectangle.

MIRD Metodu

Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$)



The concept of residence time (τ_h) for an organ that has no activity at time $t = 0$, with an uptake that is rapid compared to decay and removal rates. The area under $A_h(t)$ equals the area of the rectangle.

Radyofarmasötiklerin Biyolojik Davranışı

- Hastaya uygulanan radyofarmasötiğin aktivitesinin zamana göre değişimi başlıca dört farklı durumda irdelenir.

MIRD Metodu

Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$)

- **Durum 1:** Organ uptake ani (radyonüklidin yarılanması çok hızlı) ve biyolojik atılım yoktur.

Zaman-aktivite eğrisi radyoaktivinin bilinen bozunumu gibi tartışılır. Radyoaktivitenin fiziksel bozunum yasası.

- $A(t) = A_0 e^{-0,693t/T_f}$
- Burada T_f radyonüklidin fiziksel yarılanma süresi, A_0 organda mevcut ilk aktivitedir. Böylece,
- $$\tilde{A} = A_0 \int_0^{\infty} e^{-0.693t/T_f} dt$$
- $$= 1,44T_f A_0$$
- 1,44 T_f değeri radyonüklidin ortalama ömrüdür.

MIRD Metodu

Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$)

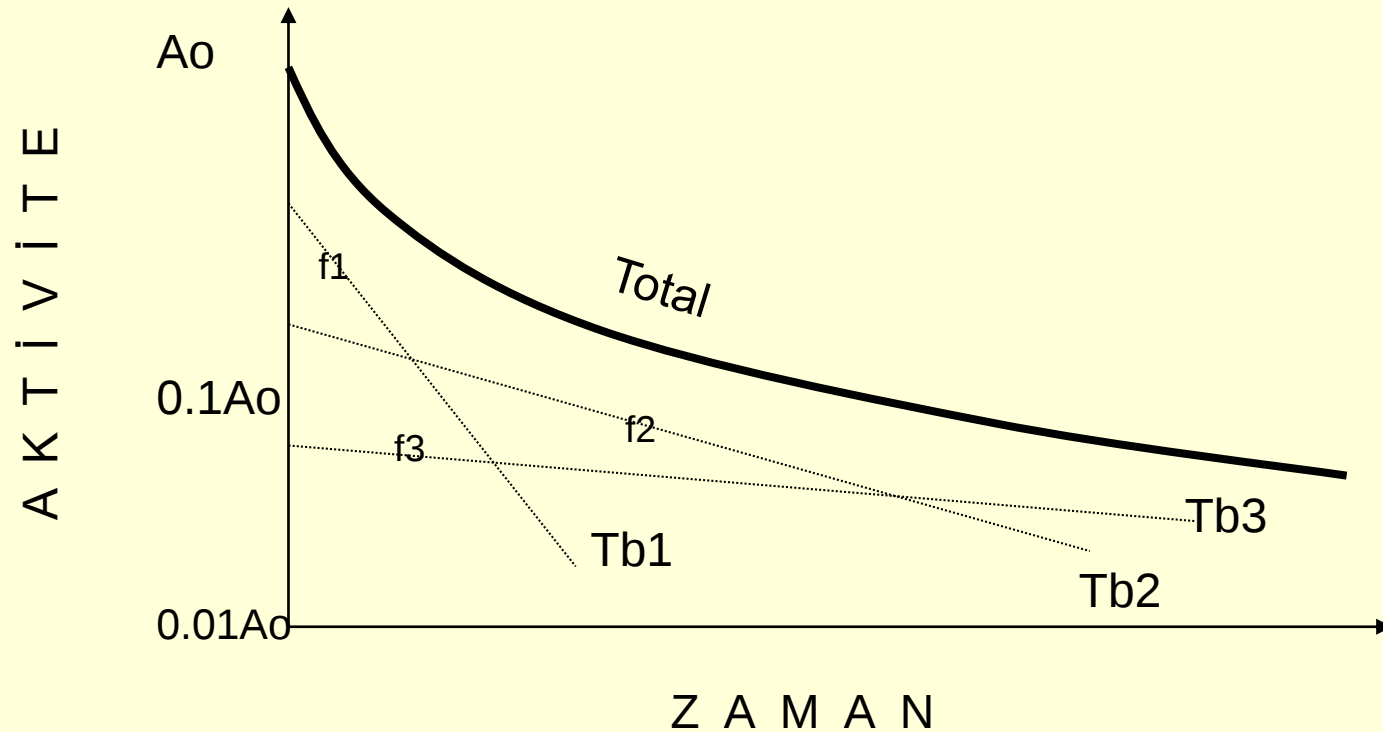
- **Örnek problem:** Karaciğer sintigrafisi için bir hastaya 3 mCi ^{99m}Tc ile işaretli sülfürkolloid enjekte edilmiş olsun. Enjekte edilen kolloidin %60'nın karaciğerde tutulduğu varsayımına göre, karaciğerdeki birikmiş aktiviteyi hesaplayalım.
- **Çözüm:**
$$\tilde{A} = 1,44 \times 3,0 \text{ mCi} \times 0,60 \times 6,0 \text{ sa.}$$
$$= 15,6 \text{ mCi.sa}$$
$$= 15\,600 \mu\text{Ci.sa}$$

MIRD Metodu

Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$)

- **Durum 2:** Uptake ani ve klirens sadece biyolojik atılım yoluyla meydana gelir (fiziksel yarılanma biyolojik eliminasyon ile karşılaştırıldığında oldukça uzundur). Bu durumda biyolojik eliminasyon dikkatli analiz edilmelidir. Genellikle eksponansiyel komponentlerin birarada ifadesini gösteren bir durum ortaya çıkar. Yani aktivitenin farklı biyolojik yollardan atılımı söz konusudur.
- $$\tilde{A} = A_0 \int_0^{\infty} f_1 e^{-0,693t/Tb1} dt + A_0 \int_0^{\infty} f_2 e^{-0,693t/Tb2} dt + \dots$$
- $$= 1,44Tb1f_1A_0 + 1,44Tb2f_2A_0 + \dots$$

Çok bileşenli eksponansiyel azalım eğrisi



MIRD Metodu

Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$)

- **Örnek problem:** Akciğer inhalasyon sintigrafisi için 3 mCi ^{99m}Tc -mikrospheres bir hastaya enjekte ediliyor. Enjeksiyondan hemen sonra akciğerlerde ani uptake gözleniyor. Aktivitenin akciğerlerden 15 dakikada %60'ı, ve 30 dakikada %40'nın biyolojik yoldan atıldığı bilindiğine göre, akciğerlerdeki birikmiş aktiviteyi hesaplayınız.
- **Çözüm:** Burada ^{99m}Tc 'nin fiziksel yarılanması, biyolojik eliminasyon süresi ile karşılaştırıldığında oldukça yavaştır. Bu durumda fiziksel yarılanma ihmal edilebilir. Birikmiş aktivite,
 - $A_0 = 1,44Tb_1f_1A_0 + 1,44Tb_2f_2A_0 + \dots$
 - $A_0 = (1,44 \times 1/4 \text{ sa} \times 0,60 \times 3,0 \text{ mCi}) + (1,44 \times 1/2 \text{ sa} \times 0,40 \times 3,0 \text{ mCi})$
 - $= (0,65 + 0,86) \text{ mCi.sa}$
 - $= 1510 \mu\text{Ci sa}$

MIRD Metodu

Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$)

- **Durum 3: Uptake anidir. Klirens hem fiziksel parçalanma hem de biyolojik atılım ile meydana gelir.** Bu durumda total klirens tek bir kompanent ile tartışılır, o da efektif yarı ömürdür. Effektif yarı ömür (T_{ef}),
 - $1/T_{ef} = 1/T_f + 1/T_b$
 -
 - $T_f \times T_b$
 - $T_{ef} = \frac{\quad}{\quad}$
 - $T_f + T_b$
 - Birikmiş aktivite, $\tilde{A} = 1,44 T_{ef} A_0$ ile verilir.

MIRD Metodu

Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$)

- **Örnek problem.** 3 mCi ^{99m}Tc microspheres bir hastaya enjekte ediliyor. Radyofarmasötüğün metabolik davranışı üçüncü duruma uyuyor olsun. (uptake ani, fiziksel ve biyolojik yarılanmalar ihmal edilemeyecek durumda). Metabolik yoldan aktivitenin %60'ı 2 saatte, ve %40'ı 3 saatte akciğerlerden atıldığına göre, bu hasta için 3 mCi'lik enjeksiyondan sonra akciğerlerde birikmiş aktiviteyi hesaplayınız.
-
- **Çözüm:** Burada efektif yarılanma biyolojik atılımın iki komponentine bağlıdır.
 - $T_{\text{ef1}} = 6 \times 2 / 6 + 2 = 1,5$ saat
 - $T_{\text{ef2}} = 6 \times 3 / 6 + 3 = 2$ saat
 - $\tilde{A} = (1,44 \times 1,5 \text{ sa} \times 0,60 \times 3,0 \text{ mCi}) + (1,44 \times 2 \times 0,40 \times 3,0 \text{ mCi})$
 - $= 3,89 + 3,46$
 - $= 7,35 \text{ mCi} \cdot \text{sa}$
 - $= 7350 \mu\text{Ci} \cdot \text{Sa}$

MIRD Metodu

Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$)

- **Durum 4:** Ani uptake yoktur. Kaynak organ uptake hızlı olmayan fiziksel parçalanma ile karşılaştırıldığında uzun sürede verilen radyasyon dozunun önemli miktarı fiziksel parçalanma sırasında meydana gelir
- Bu durumda matematiksel ifade,
- $$A(t) = A_0 (1 - e^{-0,693t/T_u})$$
- T_u : Biyolojik uptake yarı ömür
-
- T_e : Efektif yarı ömür
- $\tilde{A} = 1,44A_0T_e (T_{ue}/T_u)$
- $$T_{ue} = T_uT_f/T_u + T_f$$

MIRD Metodu

Birikmiş Aktivite ($\tilde{A}$)

- **Örnek problem:** 20 sn yarılanma süresi olan bir gaz intravenöz olarak enjekte ediliyor. Akciğerlerdeki uptake 30 sn olarak gözleniyor ve inhalasyonla dışarı atılıyor. Biyolojik yarı ömür 10 sn olarak belirleniyor. 10 mCi aktivite için akciğerlerdeki birikmiş aktivite nedir?
- $T_{ue} = 20 \times 30 / (20 + 30) = 12 \text{ sn}$
- ve efektif atılımın yarı ömrü
- $T_e = 20 \times 10 / (20 + 10) = 6,7 \text{ sn}$
- Buradan birikmiş aktivite,
- $\tilde{A} = 1,44 \times 10 \text{ mCi} \times 6,7 \text{ sn} \times (12 \text{ sn} / 30 \text{ sn})$
- $= 38,6 \text{ mCi.sn}$
- $= 38\,600 \mu\text{Ci.sn} = 10,7 \mu\text{Ci.sa}$

S-Tabloları ile Radyasyon Dozu Hesaplamaları

- İç radyasyon dozu hesaplamalarındaki matematik işlemler oldukça karmaşıktır
- Hesaplamaları kolaylaştırmak için MIRD tarafından **S-tabloları** yapılmıştır. Bu tablolarda kaynak organın hedef organa etkisi belirli katsayılarla belirlenmiştir. Buna göre absorbe doz (D) ,
- $D = \tilde{A} \times S$ eşitliği ile verilir.
- $\tilde{A} : 1,44 T_f A_0$
- $S: \sum_i D_i \Phi_i (r_h \leftarrow r_k)$
- Bu eşitlikteki S değeri kaynak organdan hedef organa ($h \leftarrow k$) standart tablolardan alınan değerdir.

S-Tabloları

S, Absorbed Dose per Unit Cumulative Activity (rad/μCi · hr) for ¹³¹I

Target Organs	Source Organs									
	<i>Intestinal Tract</i>						<i>Kidneys</i>	<i>Liver</i>	<i>Lungs</i>	<i>Other Tissue (Muscle)</i>
	<i>Adrenals</i>	<i>Bladder Contents</i>	<i>Stomach Contents</i>	<i>SI Contents</i>	<i>ULI Contents</i>	<i>LLI Contents</i>				
Adrenals	3.1E-02	6.1E-07	6.3E-06	3.9E-06	2.7E-06	1.4E-06	3.2E-05	1.4E-05	6.9E-06	4.2E-06
Bladder wall	3.3E-07	1.2E-03	1.0E-06	8.5E-06	5.6E-06	1.7E-05	1.0E-06	7.4E-07	1.8E-07	5.0E-06
Bone (total)	4.1E-06	1.8E-06	1.8E-06	2.5E-06	2.2E-06	3.2E-06	3.0E-06	2.3E-06	3.0E-06	3.0E-06
GI (Stom. wall)	8.2E-06	8.8E-07	9.7E-04	9.9E-06	1.0E-05	5.0E-06	9.4E-06	5.4E-06	5.2E-06	3.9E-06
GI (SI)	2.6E-06	7.6E-06	7.3E-06	6.0E-04	4.6E-05	2.6E-05	7.8E-06	4.6E-06	6.9E-07	4.4E-06
GI (ULI wall)	2.8E-06	6.6E-06	9.5E-06	6.5E-05	1.1E-03	1.2E-05	8.1E-06	7.0E-06	9.1E-07	4.6E-06
GI (LLI wall)	8.4E-07	2.0E-05	3.6E-06	1.9E-05	8.4E-06	1.7E-03	2.4E-06	8.1E-07	2.6E-07	4.8E-06
Kidneys	3.2E-05	9.6E-07	9.5E-06	8.7E-06	7.7E-06	2.5E-06	1.5E-03	1.1E-05	2.7E-06	4.0E-06
Liver	1.4E-05	7.2E-07	5.6E-06	5.1E-06	7.1E-06	9.0E-07	1.1E-05	3.0E-04	6.8E-06	3.1E-06
Lungs	6.7E-06	1.1E-07	5.0E-06	8.5E-07	8.9E-07	2.8E-07	2.5E-06	6.8E-06	4.5E-04	3.7E-06
Marrow (red)	7.5E-06	4.1E-06	3.2E-06	7.9E-06	6.9E-06	9.7E-06	7.6E-06	3.3E-06	3.8E-06	4.1E-06
Other tissue (muscle)	4.2E-06	5.0E-06	3.9E-06	4.4E-06	4.1E-06	4.8E-06	4.0E-06	3.1E-06	3.7E-06	1.9E-05
Ovaries	1.6E-06	1.9E-05	1.4E-06	2.7E-05	3.4E-05	5.0E-05	3.4E-06	9.6E-07	4.0E-07	5.6E-06
Pancreas	2.4E-05	7.9E-07	5.0E-05	5.8E-06	5.8E-06	2.0E-06	1.8E-05	1.2E-05	7.5E-06	5.0E-06
Skin	1.8E-06	1.7E-06	1.5E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.6E-06	1.8E-06	1.6E-06	1.8E-06	2.4E-06
Spleen	1.8E-05	5.6E-07	2.7E-05	4.4E-06	3.7E-06	2.5E-06	2.4E-05	2.7E-06	6.2E-06	4.1E-06
Testes	1.7E-07	1.4E-05	1.3E-07	1.0E-06	1.2E-06	5.7E-06	3.9E-07	3.0E-07	5.7E-08	3.4E-06
Thyroid	5.2E-07	2.1E-08	3.9E-07	9.5E-08	1.0E-07	4.1E-08	2.4E-07	5.7E-07	3.0E-06	3.8E-06
Uterus (nongravid)	3.4E-06	4.3E-05	2.4E-06	2.5E-05	1.3E-05	1.7E-05	2.6E-06	1.2E-06	2.7E-07	5.9E-06
Total body	1.1E-05	5.9E-06	6.7E-06	1.0E-05	8.2E-06	8.8E-06	1.1E-05	1.1E-05	9.9E-06	9.8E-06

$$S(r_k \leftarrow r_h) = \sum_i \Delta_i \Phi_i(r_k \leftarrow r_h)$$

S-Tabloları

	Kaynak	Hedef	S-Değeri
•	Karaciğer	Karaciğer	4.6×10^{-7}
•	Karaciğer	Böbrekler	3.9×10^{-6}
•	Karaciğer	Tüm vücut	2.2×10^{-6}
•	Karaciğer	Kemik iliği	1.6×10^{-6}
•	Karaciğer	Dalak	9.2×10^{-7}
•	Dalak	Dalak	3.3×10^{-4}
•	Dalak	Pankreas	1.9×10^{-5}
•	Dalak	Mide	1.0×10^{-5}
•	Dalak	Tüm vücut	2.2×10^{-6}
•	Dalak	Kemik iliği	1.7×10^{-6}
•	Dalak	Karaciğer	9.8×10^{-7}
•	Kemik iliği	Kemik iliği	3.1×10^{-5}
•	Kemik iliği	Tüm vücut	2.2×10^{-6}
•	Kemik iliği	Karaciğer	9.2×10^{-7}

MIRD Dozimetrisi

Radyasyon Dozu Hesabı

- **Örnek problem:** 3 mCi ^{99m}Tc - sülfür kolloid enjeksiyonundan sonra karaciğerdeki radyasyon dozu hesaplanmak isteniyor. Farzedelim ki, aktivitenin %60'ı karaciğerde (KÇ), %30'u dalakta(DL) ve %10'u da kemik iliğinde(Kİ) tutulmuş olsun. Uptakenin ani, biyolojik atılımın *olmadığı* (1. Durum) için radyasyon dozlarını bulalım.
- **Çözüm:**
 - Her üç organda birikmiş aktivite
 - $\tilde{A} = 1,44 \times T_f \times A_0$ formülüne göre hesaplanır.
 - $\tilde{A}_{\text{KÇ}} = 1,44 \times 6,0 \text{ sa} \times 0,60 \times 3,0 \text{ mCi} = 15600 \mu\text{Ci.sa}$
 - $\tilde{A}_{\text{DL}} = 1,44 \times 6,0 \text{ sa} \times 0,30 \times 3,0 \text{ mCi} = 7780 \mu\text{Ci.sa}$
 - $\tilde{A}_{\text{KI}} = 1,44 \times 6,0 \text{ sa} \times 0,10 \times 3,0 \text{ mCi} = 2590 \mu\text{Ci.sa}$

MIRD Dozimetrisi

Radyasyon Dozu Hesabı

- **Çözüm:**
- **S-Tablo değerleri**
- **$S (K\check{C} \longleftarrow K\check{C}) = 4,6 \times 10^{-5} \text{ rad/ } \mu\text{Ci.sa}$**
- **$S (K\check{C} \longleftarrow DL) = 9,8 \times 10^{-7} \text{ rad/ } \mu\text{Ci.sa}$**
- **$S (K\check{C} \longleftarrow Ki) = 9,2 \times 10^{-7} \text{ rad/ } \mu\text{Ci.sa}$**

MIRD Dozimetrisi

Radyasyon Dozu Hesabı

- Buradan absorbe dozlar hesaplanabilir.
- $$D(\overleftarrow{\text{KÇ}} \text{ KÇ}) = 15600 \mu\text{Ci.sa} \times 4,6 \times 10^{-5} \text{ rad}/\mu\text{Ci.sa} = 0,718 \text{ rad}$$
- $$D(\overleftarrow{\text{KÇ}} \text{ DL}) = 7780 \mu\text{Ci.sa} \times 9,8 \times 10^{-7} \text{ rad}/\mu\text{Ci.sa} = 0,0076 \text{ rad}$$
- $$D(\overleftarrow{\text{KÇ}} \text{ Kİ}) = 2590 \mu\text{Ci.sa} \times 9,2 \times 10^{-7} \text{ rad}/\mu\text{Ci.sa} = 0,0024 \text{ rad}$$
- Karaciğere verilen toplam doz,
- $$D = 0,718 + 0,0076 + 0,0024 \text{ rad} = 0,728 \text{ rad veya}$$
- SI biriminde $7,28 \times 10^{-3} \text{ Gy'dir.}$

MIRD Dozimetrisi

Radyasyon Dozu Hesabı

- **Örnek problem:** Hipertiroidi tedavisi için bir hastaya ^{131}I verildiği, hastanın uptake değerinin %60 olduğu, tiroid bezinde radyoiodun biyolojik yarılanmasının 2 gün olduğu varsayılarak radyasyon dozu hesaplanmak isteniyor. ^{131}I 'in fiziksel yarılanma süresinin 8 gün olduğu bilindiğine göre, 1 mCi ^{131}I başına tiroidin(TİR) maruz kaldığı radyasyon dozunu hesaplayalım.

Örnek problem: Hipertiroidi tedavisi için bir hastaya ^{131}I verildiği, hastanın uptake değerinin %60 olduğu, tiroid bezinde radyoiodun biyolojik yarılanmasının 2 gün olduğu varsayılarak radyasyon dozu hesaplanmak isteniyor. ^{131}I in fiziksel yarılanma süresinin 8 gün olduğu bilindiğine göre, 1 mCi ^{131}I başına tiroidin(TİR) maruz kaldığı radyasyon dozunu hesaplayalım.

- **Çözüm:** Fiziksel ve biyolojik yarılanma süreleri birbirine yakındır. Bu nedenle radyoiodun yarılanması hem fiziksel, hem de biyolojik yoldan hesaba katılarak efektif yarılanma bulunur.

- $T_e = 8 \times 2(8 + 2) = 16/10$ gün
- $= 38,4$ sa.
- mCi başına birikmiş aktivite
- $\tilde{A} = 1,44 \times 38,4 \text{ sa} \times 0,60 \times 1000 \mu\text{Ci}$
- $= 33200 \mu\text{Ci.sa/mCi}$
- S-değeri
- $S(\text{TİR} \longleftrightarrow \text{TİR}) = 2,2 \times 10^{-2} \text{ rad/ } \mu\text{Ci.sa}$
- Tiroid için absorbe doz
- $D(\text{TİR} \longleftrightarrow \text{TİR}) = 33200 \times 2,2 \times 10^{-2}$
 $= 730 \text{ rad/mCi, SI biriminde eşiti } D(\text{TİR} \longleftrightarrow \text{TİR}) = 1,97 \times 10^{-7} \text{ Gy/Bq olur.}$

CENİNİN GELİŞİMİNİN

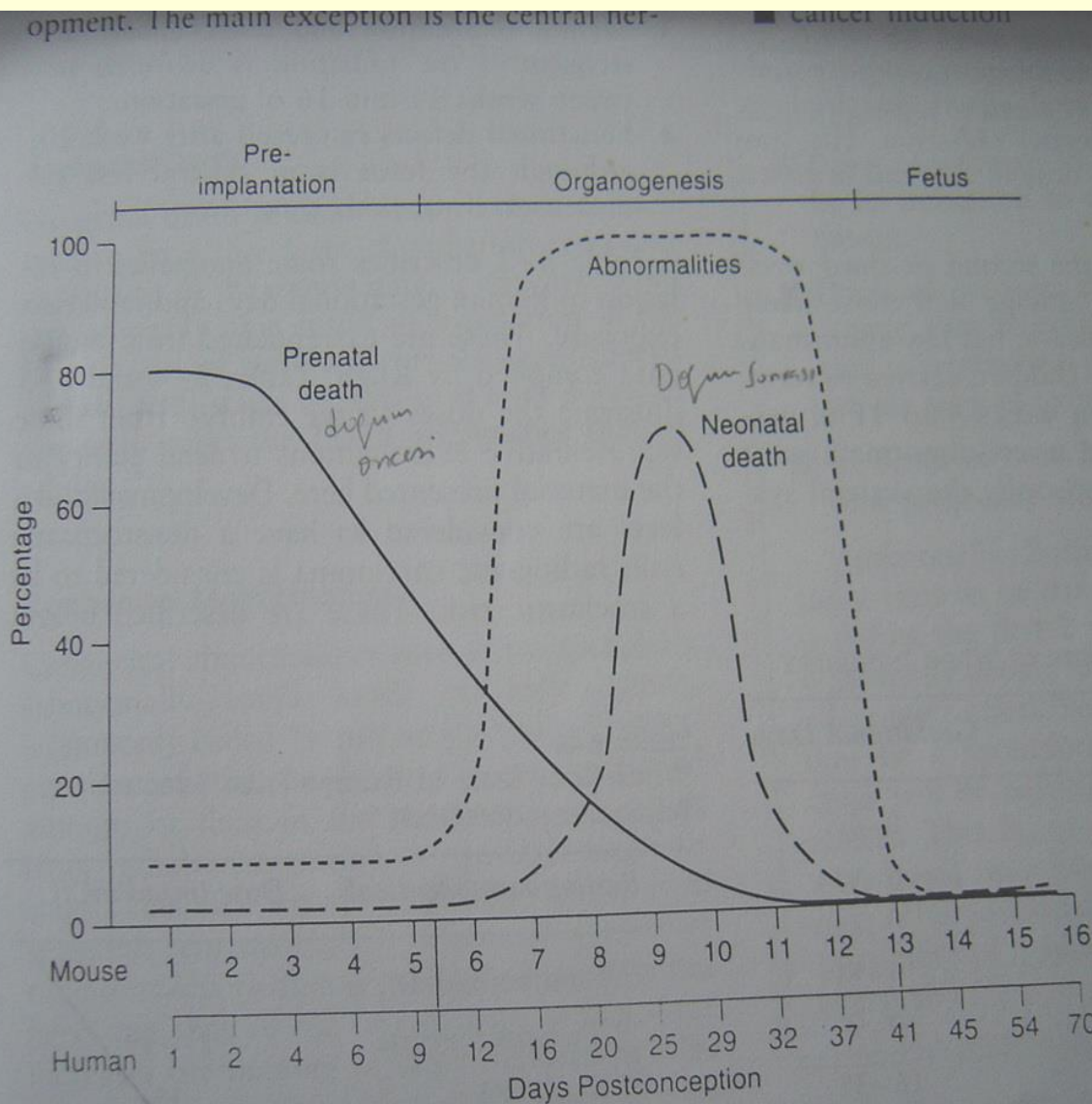


Figure 8-3
Stages of fetal development. (Reprinted with permission from Thompson MA: Principles of Radiation Protection for Nurses and Other Medical Facility Personnel, Birmingham, AL, 1984)

- Fetus gelişme döneminde 3 temel evreden geçer
- 1. preimplantasyon:** İnsanda konsepsiyondan sonraki 10 günlük evreyi kapsar. Bu evrede döllenmiş yumurta bölünür.
- 2. Organogenesis:** Hücrenin uterus duvarına imlamente olduğu evredir. Konsepsiyondan sonraki 6 haftalık süreci içerir. Bu evrede hücreler farklılaşarak organları oluşturmaya başlar.
- 3. Gelişme (ya da ölüm):** 6. haftada sonraki dönemi kapsar

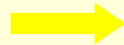
ICRP 84: Fetal radyasyon riski

- Gebelikte radyasyonun **riski** vardır. Bu riskin derecesi radyasyon **dozuna** ve gebeliğin **süresine** göre değişir.
- Radyasyon risklerinin çoğu organogenesis evresinde ve erken fetal evrededir. Daha sonra 2. üç aylık dönemde ve en son 3. üç aylık dönemde risk nispeten azalır.

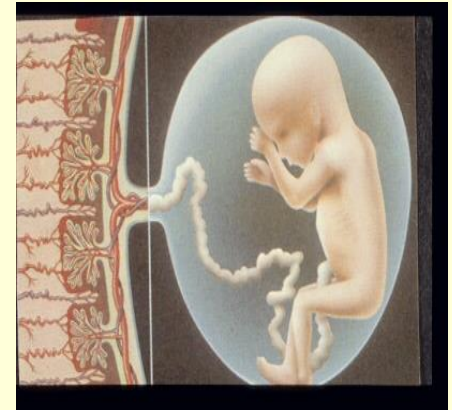
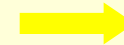
Most
risk



Less

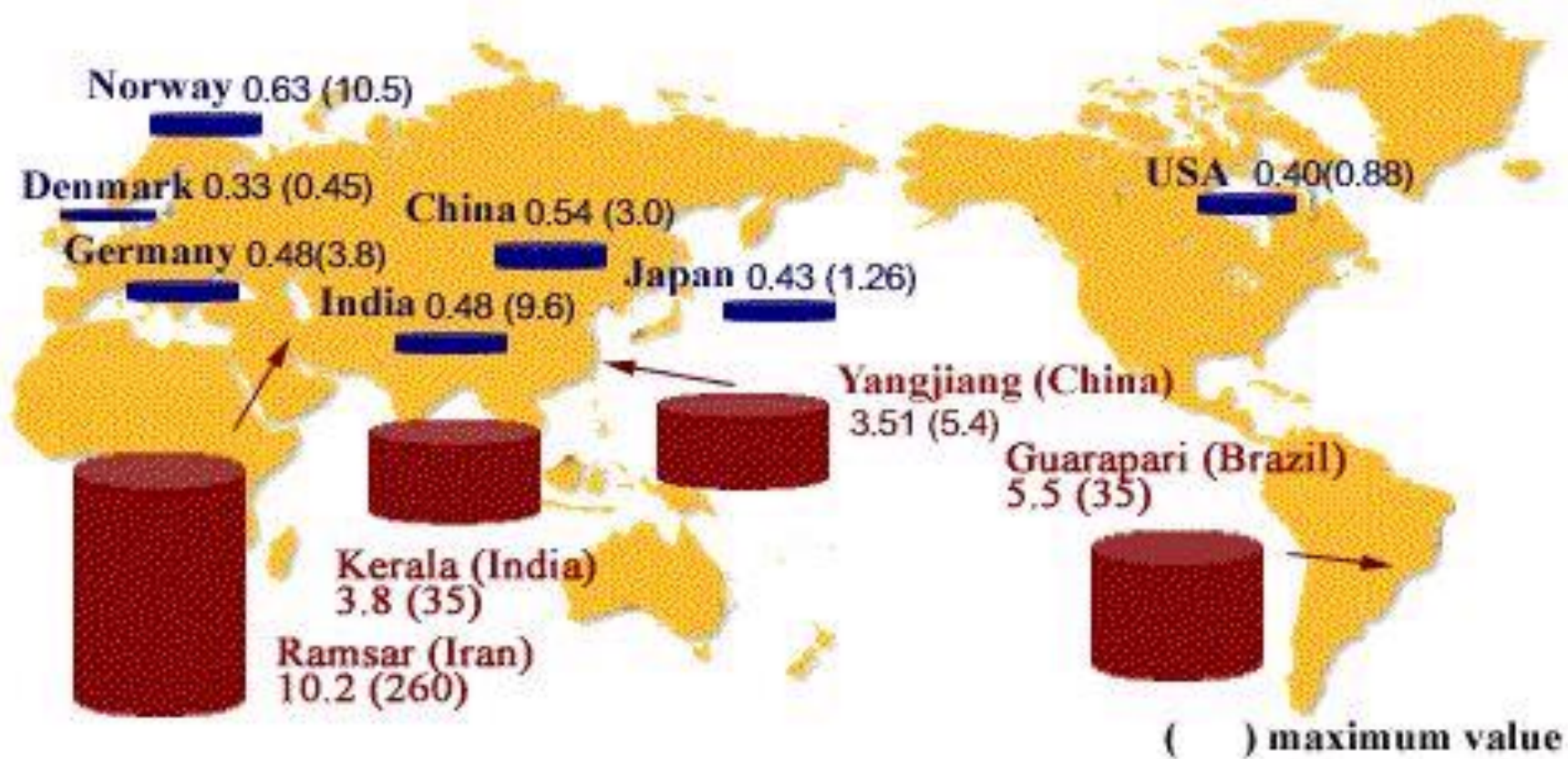


Least



HAMİLE RADYASYON GÖREVLİSİ

- **Embriyo ya da fetusun gebelik süresince alabileceği radyasyon dozu 1 mSv olarak bildirilmiştir (ICRP-84).**
- Bu doz gebeliğin başlangıcından itibaren geçerlidir.
- Doğal radyasyonda tüm vücudun aldığı doz 1.5-3.5 mSv tir.



- Dünya ortalaması yılda 1.5-3.5mSv
- Hindistan, Brezilya, Sudan yılda 40mSv
- İran'ın Ramsar bölgesi yılda 260mSv

Radyasyon dozu ölçüm yöntemleri

Dizimetreler



elektronik



yüzük



Film badge



TLD



TLD



kalem

DOZ LİMİTLERİ (2005 ICRP)

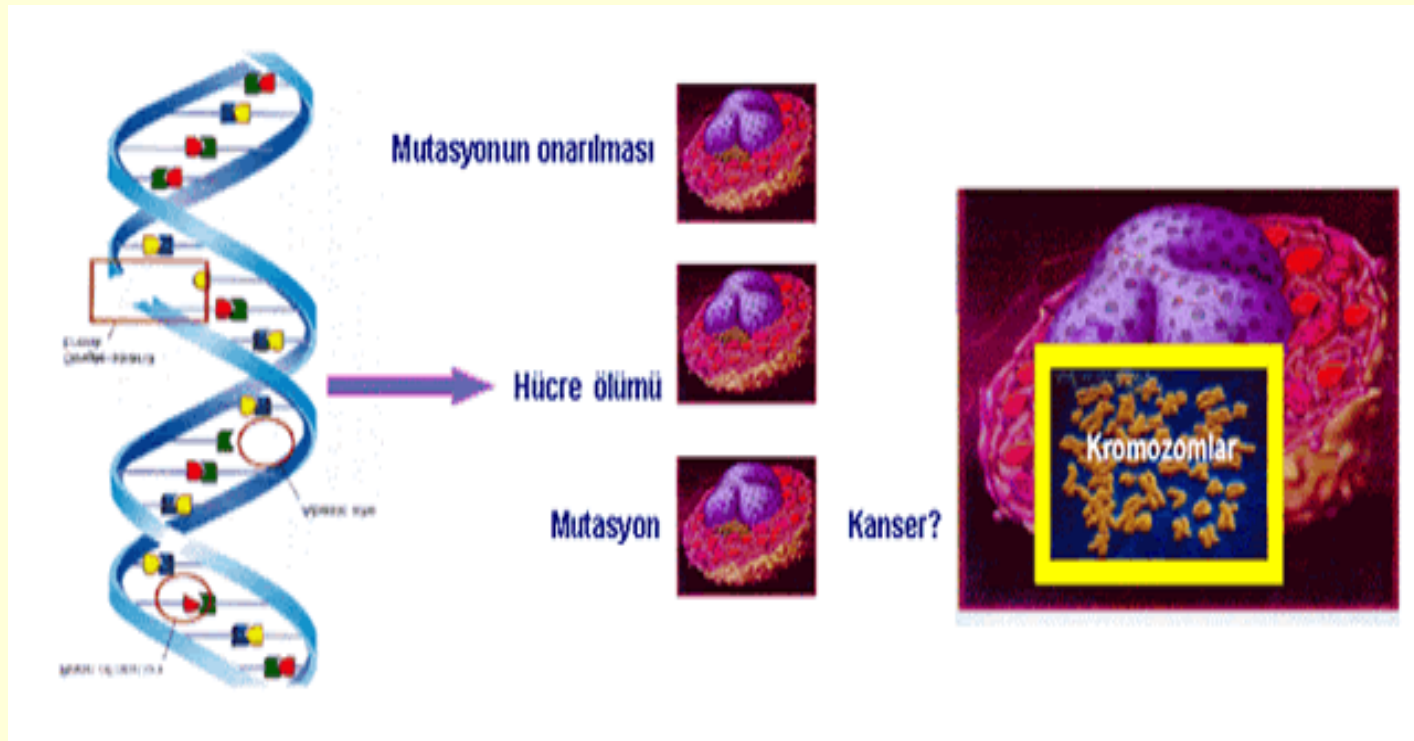
Radyasyon ile çalışanlar

Halk

- | | | |
|-------------|---------|--------|
| • Gözler | 150 mSv | 15 mSv |
| • Deri | 500 mSv | 50 mSv |
| • Eller | 500 mSv | 50 mSv |
| • Tüm vücut | 20 mSv | 1 mSv |

İYONLAŞTIRICI RADYASYONUN BİYOLOJİK ETKİLERİ

- **Hasar:** Işınlanan grupta veya gelecek kuşaklarda ortaya çıkması olası etkilerin toplamıdır.



Kromozom kırıkları

TO BIOLOGIC EFFECTS: FROM CELLS TO ORGANS | 81

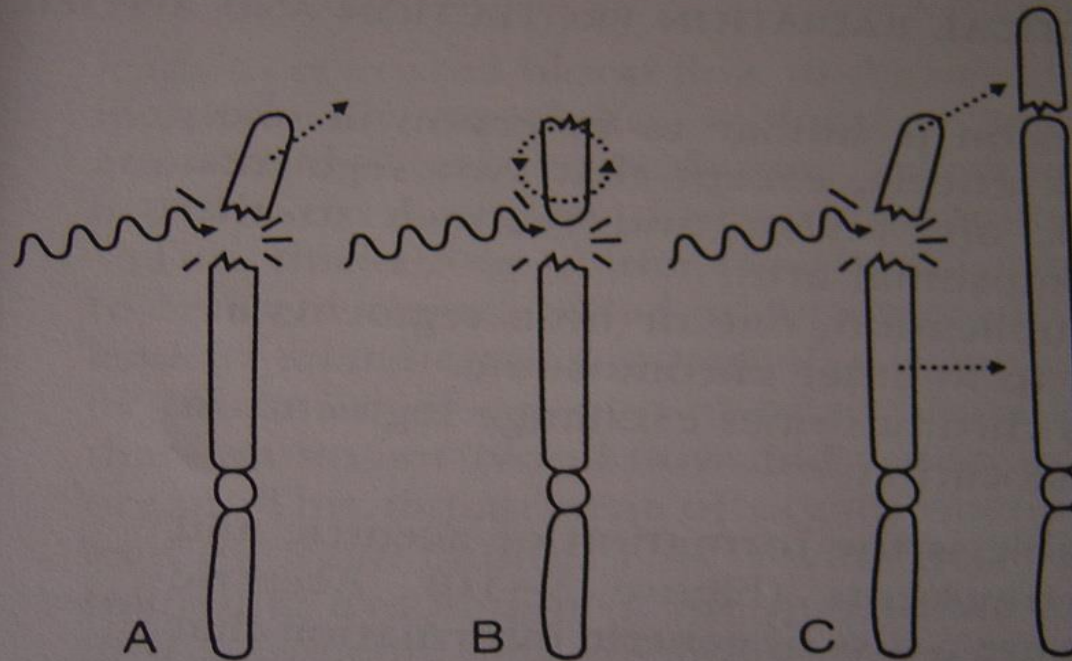
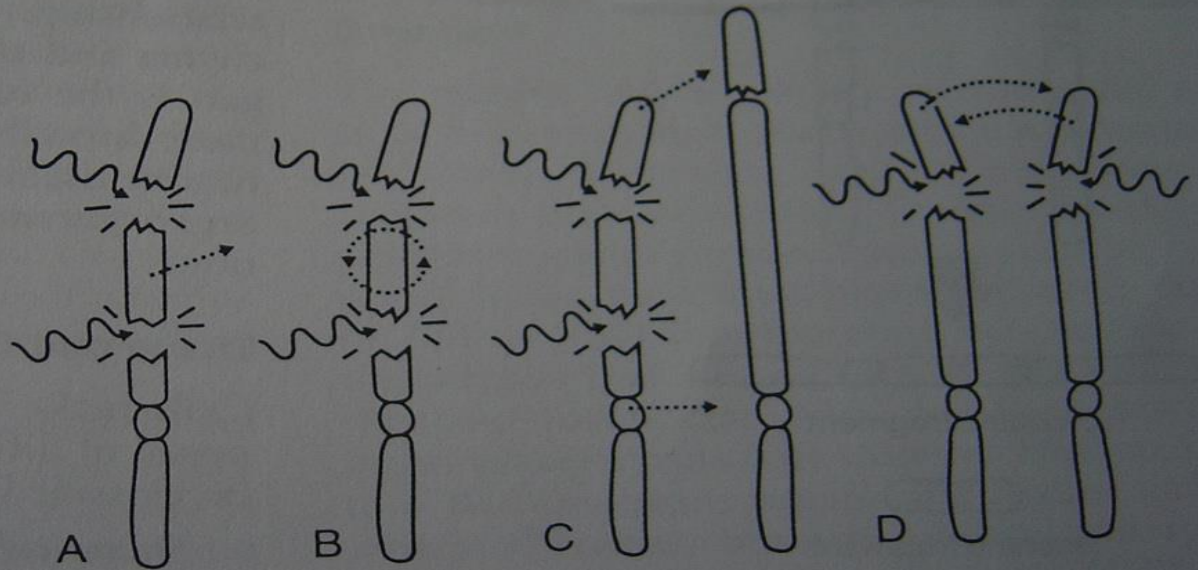


Figure 5-8

One-break effects. (A) Terminal deletion. (B) Inversion. (C) Duplication.

Kromozom kırıkları

al deletion. (B) Inversion.
ion. (D) Translocation.



Kromozom kırıkları

APPLIED RADIOBIOLOGY

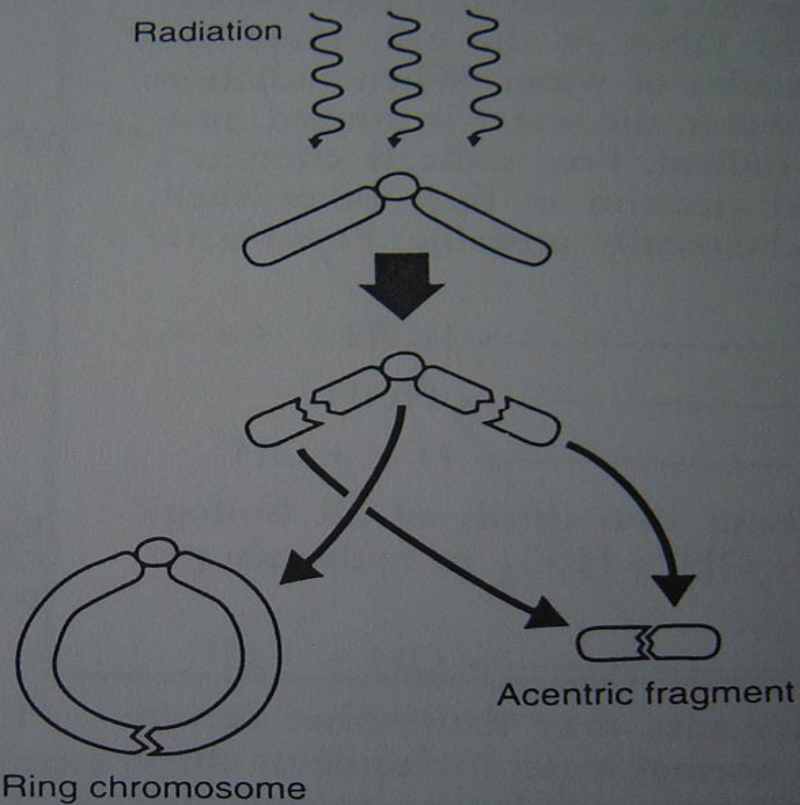


Figure 5-11

Formation of a ring chromosome.

Kromozom kırıkları

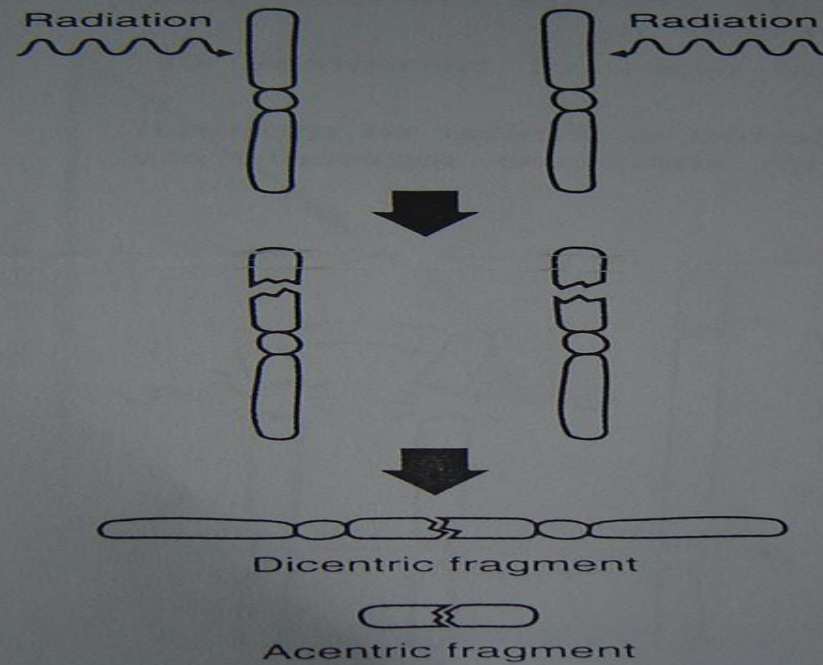


Figure 5-10
Formation of acentric and dicentric fragments.

Embriyo/Fetus dozları

Hamilelik Dönemleri (mGy/MBq)

Radyofarmasötik	Erken	3 ay	6 ay	9 ay
F18 FDG	0.0270	0.0170	0.1800	0.1300
I-131 (%25 uptake)	0.0720	0.0680	0.2300	0.2700
Tc-99m DMSA	0.0051	0.0047	0.0040	0.0034
Tc-99m HMPAO	0.0087	0.0067	0.0048	0.0036
Tc-99m MAA	0.0087	0.0067	0.0048	0.0036
Tc-99m MDP	0.0061	0.0054	0.0027	0.0024
Tc-99m DTPA	0.0120	0.0087	0.0041	0.0047
Tc-99m MIBI(rest)	0.0150	0.0120	0. 084	0.0054
Tc-99m Perteknetat	0.0110	0. 0220	0.0140	0.0093
Tl-201	0.0089	0.0071	0.0058	0.0037

- 15 mCi (555 MBq) F-18 FDG uygulanan, 6 aylık gebe olduğu anlaşılan bir hastanın fetus dozu:
- $555 \times 0.1800 = 100 \text{ mGy}$
- Aynı şartlarda bu hasta 15 mCi I-131 almış olsaydı: Fetus dozu
- $555 \times 0.2300 = 127,65 \text{ mGy}$

Sabrınız ve dikkatiniz için
TEŞEKKÜRLER

