

Radyasyon Güvenliği Ve Radyasyondan Korunma



Prof.Dr.Nail Bulakbaşı
Yakın Doğu Üniversitesi Tıp Fakültesi
Radyoloji Anabilim Dalı

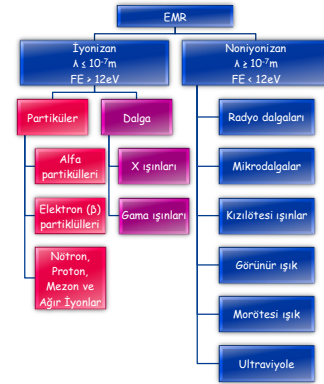
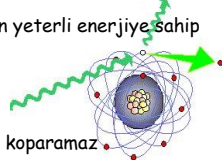


Öğrenme hedefleri

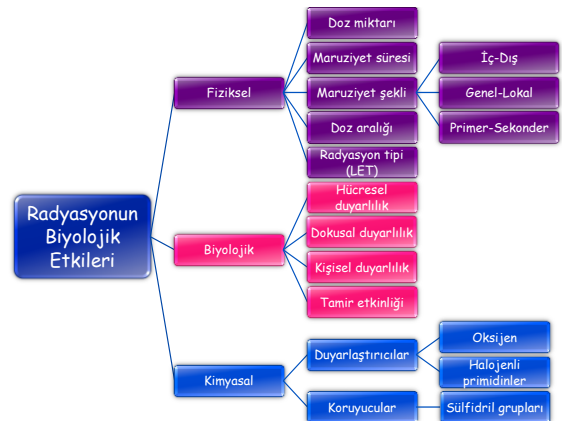
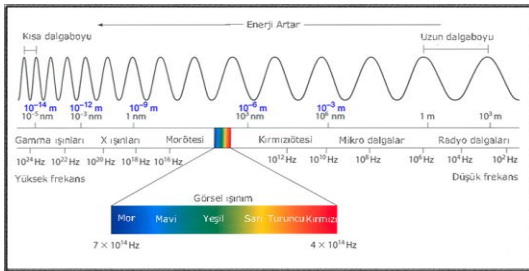
- Radyasyon ile ilgili tanım ve kavramlar
- Radyasyonun ölçüm teknikleri
- Radyasyonun biyolojik etkileri
- Radyasyondan korunma
 - Kişisel
 - Yapısal
- Doz azaltma teknikleri

Tanımlar

- **Radyasyon:** Maddenin kendiliğinden veya çevreden aldığı enerjiyi, parçacık veya elektromanyetik dalga formunda dış ortama yayma veya aktarımıdır
- **İyonizan:** Atomdan koparmak için yeterli enerjiye sahip
 - Parçacık
 - Dalga
- **Non-iyonizan:** Atomdan elektron koparamaz
 - Dalga

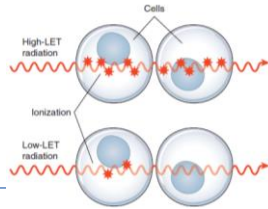


EMR tayfı



Lineer Enerji Transferi (LET)

- İyonizan radyasyon enerjisinin, kat ettiği yolun birim uzaklığı başına dokuya geçen miktarıdır.
- Yük artıp, hız azaldıkça LET artar, ancak penetrasyon azalır
- LET ↑ radyasyonun öldürücü etkileri ↑
- X ve γ ışınları (0,2-3 KeV/ μ m) düşük LET'li
- α ve β partikülleri ve nötronlar yüksek LET'li



Rölatif Biyolojik Etkinlik (RBE)

- Farklı LET değerine sahip iyonizan radyasyonların biyolojik etkilerini karşılaştırmak amacıyla tanımlanmıştır
- RBE: aynı biyolojik etkiyi yaratan standart radyasyon dozuna, gerekli test radyasyon dozunun oranıdır.
 - Düşük LET'li radyasyonlarda RBE \approx 1
 - Yüksek LET'li radyasyonlarda RBE $>$ 1

Radyasyon ağırlık faktörü

- Radyasyonun taşıdığı enerji düzeyine (LET) bağlı oluşturduğu biyolojik etkilerin (RBE) farklılığı, dokuda yarattıkları farklı iyonizasyon derişiminden kaynaklanır ki bu fark radyasyonun ağırlık faktörü olarak tanımlanır

Radyasyon Tipi	Radyasyon ağırlık faktörü (W_R)
X ve γ ışınları	1
Elektron ve β parçacıkları	1
Proton	2
Nötron (enerji bağımlı)	2-20
α ve diğer parçacıklar	20

ICRP 2003, NRC 2004

Bergonie ve Tribondeau

- 1906 yılında dokuların matürasyon ve metabolizmasına bağlı olarak değişen radyoduyarlılığı tanımlayan ve kendi isimleri ile bilinen yasayı ortaya koydular
- İmmatür (Kök) hücreler
- Genç doku ve organlar
- Metabolik aktivitesi yüksek dokular
- Çoğalma hızı yüksek dokular
- Büyüme hızı yüksek dokular



Duyarlılık

Radyasyon duyarlılığı

- Radyasyona tamamiyle dirençli hücre yoktur, ancak dokuların radyasyondan etkilenmeleri farklıdır.

Doku tipi	Doku ağırlık faktörü (W_T)
Radyosensitif (duyarlı)	
Radyoresponsif (cevap oluşturabilen)	
Radyorezistif (dirençli)	

ICRP 2003, NRC 2004

Radyasyon ölçüm birimleri

Radyasyon niceliği	Konvansiyonel birim	S. I. birim	Aralarındaki ilişki
Işınlama Dozu (Kaynağın şiddeti)	Roentgen $2,58 \times 10^{-4} C/kg$	NA (Air Kerma) Coulomb/kg	$1 C/kg = 3876 R$ $1 R = 2,58 \times 10^{-4} C/kg$
Soğrulan Doz (Depolanmış enerji)	Rad $10^{-2} Joule/kg$	Gray Joule/kg	$1 Rad = 1 cGy$ $1 Gy = 100 Rad$
Doz Eşdeğeri (RBE)	Rem $Rad \times W_R$	Sievert $Gy \times W_R$	$1 Rem = 0,01 Sv$ $1 Sv = 100 Rem$
Radyoaktivite (Kaynağın gücü)	Curie (Ci) $3,7 \times 10^{10} sn^{-1}$	Becquerel (Bq) $1 sn^{-1}$	$1 Ci = 3,7 \times 10^{10} Bq$ $1 Bq = 2,7 \times 10^{-11} Ci$



W.C. Roentgen



L.H. Gray



R. Sievert



H. Becquerel



M. Curie

Radyasyon dozu

- Doz: Herhangi bir maddenin belli bir zaman içerisinde kullanılan veya tüketilen miktarıdır
- Radyasyon dozu: Hedef kütle tarafından, belirli bir süre içinde, soğrulan veya alınan radyasyon miktarıdır
- Radyasyon dozu (miktar) tek başına oluşacak RBE tanımlamada yetersiz kalacağından, daha doğru bir öngörü için, maruz kalınan radyasyonun cinsi, alınış şekli, süre ve sıklığı gibi parametrelerinde bilinmesi gerekir.

Farklı radyasyon doz ilişkileri

Soğrulan Doz (Rad/Gy)

- Cismin 1 kg'ında radyasyonca depolanan enerji

Eşdeğer Doz (Rem/Sv)

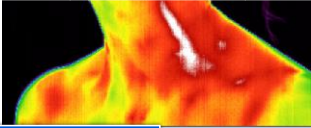
- Değişik radyasyonların farklı zararlı etkileri
- Soğrulan doz X Radyasyon ağırlık faktörü (W_R)

Efektif Doz (Rem/Sv)

- Değişik dokuların farklı duyarlılıkları
- Eşdeğer doz X Doku/organ ağırlık faktörü (W_T)

Efektif dozlar

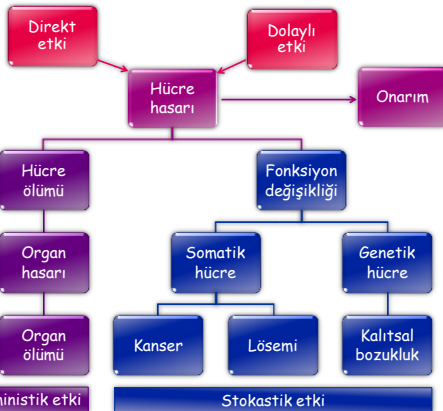
Çekim tipi	Ortalama efektif doz (mSv)	Doz eşdeğeri (PA AC grafisi karşılığı)
Dental çekim	0,005-0,01	0,25-0,5
PA AC grafisi	0,02	1
Mamografi	0,4	20
BT	2-16	100-800
Nükleer Tıp	0,2-41	10-2050
Girişimsel Radyoloji	5-70	250-3500



Metler FA JR, et la Radiology, 2008;248:254-263

RBE

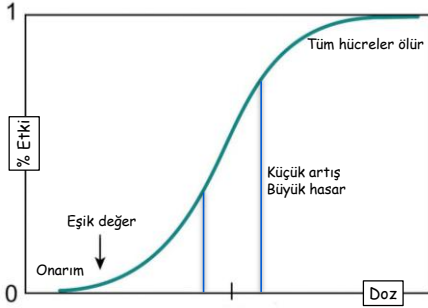
- Direkt
 - Radyasyona bağlı olarak çekirdek (DNA, RNA), organel (mitokondri, ribozom, lizozom) veya hücre zarının yapısal veya fonksiyonel (enzim, hormon) bozukluğu sonucu hücre ölümü ya da mutasyonuyla sonuçlanan etkiler
- Dolaylı
 - Radyasyona bağlı su moleküllerinde izlenen iyonlaşmaya sekonder oluşan serbest radikallerin hücre içinde neden olduğu yapısal ama çoğu kez fonksiyonel bozukluk sonucu hücre ölümü ya da mutasyonuyla sonuçlanan etkiler



Deterministik / Sitokastik

Deterministik Etkiler	Sitokastik Etkiler
Eşik Doz değeri vardır	Eşik Doz değeri yoktur
*Akut Radyasyon Sendromu	*Radyasyona bağlı malignite
*Radyolojik yanıklar	-Lösemi
*Geç Etkiler	-Kanser
-Fibrozis	*Genetik Etkiler:
-Sklerozis	-Mutasyonlar,
-Nekrozis	-Kromozom aberrasyonları
*Prenatal Etkiler	
-Mental Retardasyon	
-Teratojen etkiler	
* Radyoaktif intoksikasyon	

Deterministik doz-cevap eğrisi



Deterministik etkiler

- Doz-sonuç ilişkisi içinde olan ve nedene bağlı açıklanabilen etkilerdir
- Eşik dozu vardır
- Etkinin şiddeti doz ile artar
 - Yüksek doz tek ışınlama daha etkindir
 - Fraksiyonel ışınlamada eşik doz yükselir
- Doz hızı azaldıkça eşik dozu yükselir
- Eşik doz kişisel farklılık gösterebilir

Eşik doz değerleri

Hasar	Eşik doz (Sv)	Süre (hafta)
Katarakt	2-10	
Kalıcı kısırlık		
-Erkek	3,5-6	
-Kadın	2,5-6	
Geçici kısırlık		
-Erkek	0,15	
-Kadın	0,6	
Deri		
-Geçici kızarıklık	2	<1
-Geçici kıl dökülmesi	3	3
-Kalıcı kıl dökülmesi	7	3
-Kırmızı lekeler	12	>52
-Geçikmiş kızarıklık	15	6-10
-Nekroz (kangren)	18	>10
-İkincil ülserleşme	20	>6

Deterministik etkiler

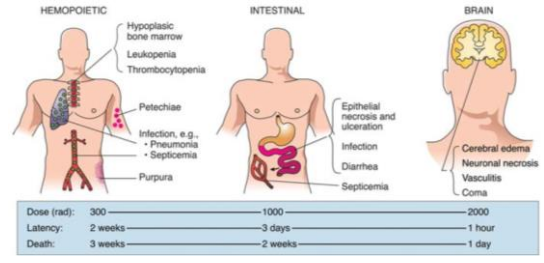


Deterministik etkiler



Akut radyasyon sendromu

- LD 50/60 insanlar için yaklaşık 300 Rad'dır.



Sitokastik etkiler

- Eşik değer olmaksızın radyasyon dozunun fonksiyonu olarak ortaya çıkması olası etkilerdir
- Sitokastik: değişken, rastlantısal
- Sitokastik etkiler düşük dozlarda ortaya çıkma olasılığı bulunan ve aralıklı maruziyette hemen görülmeyen etkilerdir
 - Genetik etkiler
 - Somatik etkiler : Kanser gelişimi bu etkilerdendir.

Radyasyona ikincil kanser riski

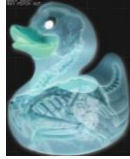
- Düşük LET'li radyasyona ikincil kanser riski tahmininde kullanılan modellere temel oluşturan epidemiyolojik veri yetersizdir
- Çoğu veri atom bombasından sağ kalanlar ile nükleer çalışanlar üzerindeki çalışmalara yapılan Life Span Study (LSS) çalışmalarına dayanır
- Gerçek riskin saptanması zor ÇÜNKÜ;
 - Etkiler sık değil (geniş seri gerekmede)
 - Etkinin ortaya çıkış süresi uzun (on yıllar)
 - Diğer etkenlerden ayırt etmek olası değil
 - Yüksek dozlarda olasılık daha yüksek



İki farklı model

Düşük LET'li radyasyonun stokastik etkilerini belirleyen doz-etki ilişkisinin tipine yönelik iki farklı görüş vardır

- Eşikli model: Düşük doz radyasyonun belli bir eşik değerine ulaşıncaya dek zararlı etkisi yoktur
- Lineer eşiksiz model: Radyasyon riski sıfırdan başlar ve doz ile lineer artış gösterir



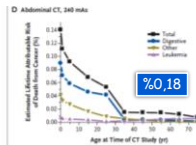
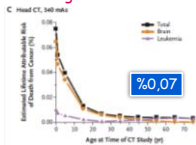
Eşikli model

- **John Cameron**
- (Medikal fizikçi, TLD dozimetrenin mucidi)
 - "Tanısal X ışınlarının bir zararı yoktur. Tanısal radyolojinin (<50 mGy) insanlarda kanser riskini arttırdığını direkt olarak gösteren hiçbir epidemiyolojik çalışma yoktur"
 - **Radyasyon hormesis:** Düşük-orta dereceli dozların insan sağlığına iyi geldiği ve kanseri azalttığına dair çalışmalar vardır
 - A-bomba sağ kalanları beklenenden fazla yaşamıştır
 - Nükleer işçiler diğer işçilerden daha sağlıklıdır
 - Yüksek doğal radyoaktiviteye sahip alanlarda daha az kanser vardır
 - **Health Physics Society** (1996): 10 Rad altında radyasyonun etkisi saptanamayacak kadar küçüktür ya da yoktur



Eşiksiz model

- **Eric J. Hall**
- (Radyobiyolog ve medikal fizikçi)
 - "Her türlü iyonizan radyasyon, dozu ne olursa olsun kansere neden olabilir" = Lineer-eşiksiz teori
 - 50 mGy altında riskin arttığının gösterilememesi olmadığı anlamına gelmez ve **bu toplum sağlığı açısından göze alınabilir bir risk değildir**

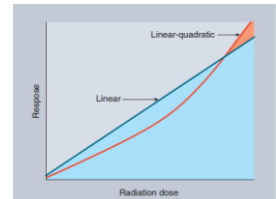


- <15 yaş 600,000 BT/yıl
- 500 çocuk BT'ye bağlı doz sonucu kanserden ölebilecek

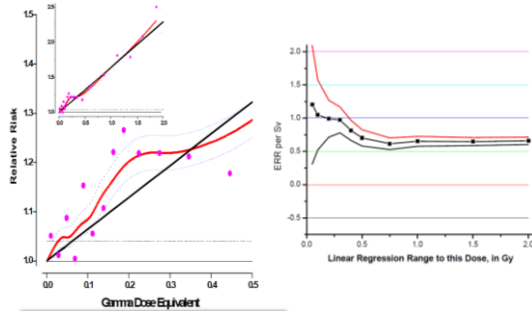
Brenner DJ, et al. N Engl J Med 2007;357:2277-84.

Ekstrapolasyon çalışmaları

- Düşük doz radyasyonun etki mekanizması ve risk düzeyi belirlenemediği için, kamu politikası olarak, toplumu zararlı etkilerden korumak amacıyla LNT modeli benimsenmiştir



Ekstrapolasyon çalışmaları



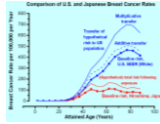
Dose-specific cancer rates over the 1958-94

Stokastik etki

1 Sv doz için	Olasılık (%)	Doz (mSv)	Ölümcül kanser riski
Ölümcül kanser	5,0	1	1/20.000
Yaşam süresinde kısalma	0,6	5	1/4.000
Kalıtısal hasar	0,1	10	1/2.000
Toplam	5,7	20	1/1.000

Etkileyen faktörler

- Yaş
 - Erken dönemde maruziyet kanser riskini artırır
- Cins
 - Kadınlar erkeklerden daha duyarlı
- Bölge
 - İşinlamanın total veya bölgesel olması
- İrk: (Mide/Meme ca)
 - Japonya 31/34
 - USA 3/90
- Radyasyon tipi
 - Düşük LET
 - Yüksek LET



ICRP 2004

DNA hasarı

Kromozom aberasyonu → Mutasyon → Kanser

- Küme (clustered) etki
 - Doğrudan iyonizan etki
 - Dolaylı etki: İyonize nükleotidlerden kaynaklanan düşük enerjili ikincil elektronlar
- Nükleotid baz hasarı
- Tek veya çift iplikçik kırıkları (SSB/DSB)
 - Hatalı veya eksik çift oluşumu
 - Düşük LET: %30
 - Yüksek LET: %70

ICRP 2004

www.cna.ca

DNA hasarına hücresel yanıt yolları

- DNA DSB repair
 - Non-homologous end joining (NHEJ)
 - Homologous Recombination (HR)
 - Single strand annealing (SSA)
- Cell cycle checkpoint control
- Early sensors of DNA damage
 - Role of ATM
 - Role of Nbs1, hMre11, hRad50
 - BRCA1 and BRCA2
 - Role of H2AX
 - MDC1, 53BP1 and SMC1
- Signal transduction after irradiation
 - Role of p53
 - G1/S arrest
 - S phase arrest
 - G2/M arrest
 - Apoptosis
- Fidelity of DSB repair
 - The fidelity achievable by HR and NHEJ
 - The fate of unrejoined and misrejoined breaks
 - The impact of the nature of DNA damage on repair



ICRP 2004

İyonizan radyasyon hasarı

- Yakın uzaysal dağılım gösteren çok sayıda yapısal hasar
- Diğer endojen ve eksojen etkenlerden farklı olarak tek bir ışın demeti hücrede "küme hasara" neden olur
- Yakın yerleşimli küme hasarının onarımı genelde "tam başarılı" olmaz
 - Bu bağlamda hangi doz sınırının altında onarımın başarıyla yapıldığına dair kesin bilimsel veri bulunmamaktadır
- Sitogenetik ve mutagenetik çalışmalar hasarlı hücrelerdeki hatalı/eksik onarımın, kanseri başlatan bir mutasyona dönebileceğini göstermektedir
- Bu da iyonizan radyasyon hasarında eşikli modelin geçerli olduğu varsayımını azaltmaktadır

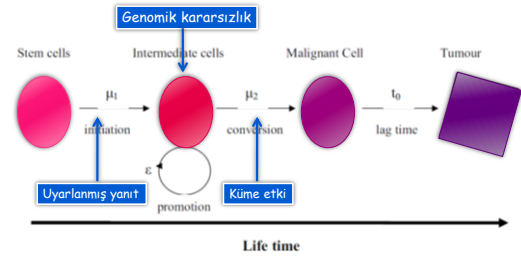


Radyasyon hasarının hücresel sonuçları

- Kromozom aberasyonları (dozla lineer bağlantı)
 - DSB'nin yanlış onarımı
 - Karşılıklı translokasyonlar
- Somatik hücre mutasyonları (dozla lineer bağlantı)
 - Nokta veya delesyon tip mutasyonlar
 - Spontan mutasyonların aksine rastgele ve kompleks
- Uyarlanmış yanıt
 - İlk düşük doz hücrenin yanıtını belirler (pozitif/negatif)
- Genomik kararsızlık
 - Düşük düzeyli genetik değişiklikler hücrenin radyasyona vereceği yanıtı kararsız hale getirir
- Seyirci "bystander" etkisi

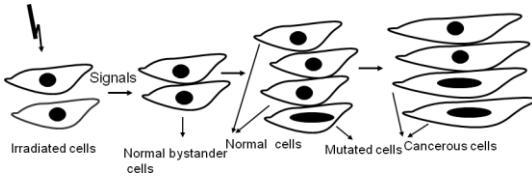
ICRP 2004

Çok duraklı model



Moolgavkar SH, Knudson AG. J Natl Cancer Inst 1981;68:1037-1052

Seyirci "bystander" etki



Baskar M. Genome Integrity 2010, 1:13

BEIR VII FAZ 2

TABLE 12D-1 Lifetime Attributable Risk of Solid Cancer Incidence and Mortality*

Cancer Site	Incidence Exposure Scenario		Mortality Exposure Scenario	
	1 mSv per 1 year throughout Life	10 mSv per 1 year Ages 18 to 65	1 mSv per 1 year throughout Life	10 mSv per 1 year Ages 18 to 65
Incidence				
Stomach	24	123	13	66
Colon	107	523	53	273
Liver	18	93	14	72
Lung	96	582	99	492
Prostate	32	164	6.3	32
Bladder	69	338	18	91
Other	194	805	85	395
Thyroid	14	78	28	140
All solid	514	2899	285	1420
Lymphoma	61	308	47	240
All	621	3059	332	1700
Mortality				
Stomach	32	163	19	94
Colon	72	368	34	174
Liver	8.7	44	8	40
Lung	229	1151	204	1002
Bladder	22	79	15	76
Uterus	14	19	1.5	18
Other	29	148	18	92
Bladder	71	364	23	108
Other	213	852	98	489
Thyroid	71	139	10	50
All solid	468	2423	429	2149
Lymphoma	51	276	38	200
All	519	4299	467	2349

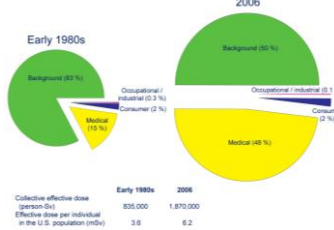
*2002. Number of cases or deaths per 100,000 persons exposed to 1 mSv per year throughout life or to 10 mSv per year from ages 18 to 65.

- Radyasyona ikincil kanser
 - Akut lösemi
 - Kadın meme ca
 - Tiroid ca
 - Mide ca
 - Kolon ca
 - AC ca
 - Mesane ca
 - Prostat ca
 - Uterus/over ca
 - Non-melanotik melanoma
 - Diğer



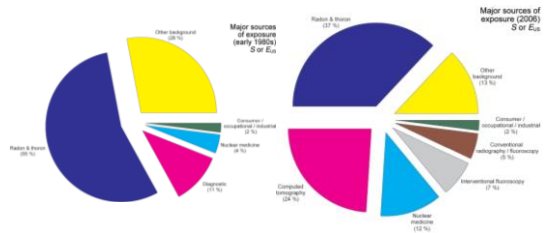
Epidemiyoloji

- 6.4 milyar insana yılda 3.6 milyar TRİ
- %75 gelişmiş ülkelerde %25 diğerlerinde



NRCR 2009 Rapor:160

Epidemiyoloji



NRCR 2009 Rapor:160

BT dozları

- 60 kg bayanın BT pulmoner anjiografisinde her bir meme **20 mGy** doz alırken standart 2 yönlü mamografide ortalama meme dozu **4 mGy***
- Tek toraks BT incelemesinde 35 yaş altındaki bayana verilen **1 Rad (0,01 Gy)** dozun yaşam süresi içinde meme ca gelişme riskini **%13,6** oranında arttırdığı tahmin edilmekte**
- Gelişmekte olan ülkelerde pediatrik BT dozları arasında **55** kata varabilen farklılıklar olabilmekte***

*Parker MS, et al. AJR 2005; 185:1228-1233
 **Fricke, B. L. et al. Am. J. Roentgenol. 2003;180:407-411
 ***Muhogora W, Radiat Prot Dosimetry. 2010;140(1):49-58

Küme doz

- Tekrarlayan tetkikler hastalarda biriken doza bağlı olarak iyonizan radyasyonun biyolojik etkilerinde artışa neden olur
 - Kronik hastalıklar
 - Kistik fibrozis: 6,5 mSv/çekim, küme doz 19,5-76,8 mSv
 - Crohn hastalığı: Küme doz 36,1-75 mSv
 - Renal kolik
 - 8,5 mSv/çekim, küme doz 19,5-153,7 mSv
 - Travma hastaları
 - Tüm vücut taramada 15 mSv doza bağlı risk 1/1250

Radyasyondan korunma

- Her düzey iyonizan radyasyon zararlı
- Hiçbir riskin olmadığı bir eşik değerinin varlığını gösteren bilimsel veri yok
- Pratikte yapılabilen makul en az dozun verilerek
 - Deterministik etkiler önlenmeli
 - Stokastik etki olasılığı en aza indirilmeli
- As Low As Reasonably Achievable (ALARA)

ICRP ve AB direktifleri

- Gerekçeleştirme (Justification)
 - Doğru amaçla doğru test yapılmalı
 - Gereksiz test = Gereksiz radyasyon
 - Net bir fayda sağlamayan hiçbir radyasyon uygulamasına izin verilmez

*European Commission. European guidelines on quality criteria for CT. EUR 16262EN. Luxembourg,2000
 **The ionising radiation (medical exposures) regulations 2000. Statutory instrument no. 1059. London,2000

ICRP ve AB direktifleri

- En iyileme (Optimization)
 - Minimum doz ile gerekli bilgi toplanmalı
 - Radyasyona maruz kalmaya sebep olan uygulamalarda ve olası tüm ışınlamalar için aşağıdaki faktörler göz önüne alınarak mümkün olan en az dozun alınması sağlanmalıdır.
 - Bireysel dozların büyüklüğü
 - Işınlanacak kişilerin sayısı
 - Sosyo-ekonomik faktörler
 - ALARA prensiplerine uyulmalıdır

ALARA

- Radyasyon kaynağının etkin kontrolü
- Fiziksel ortamın uygun hale getirilmesi
- Tekrardan kaçınma
- Algoritmik yaklaşım
- Yetkisiz kişilerin çalıştırılmaması
- Peryodik eğitim

*European Commission. European guidelines on quality criteria for CT. EUR 16262EN. Luxembourg,2000
 **The ionising radiation (medical exposures) regulations 2000. Statutory instrument no. 1059. London,2000

Radyasyonun kontrolü

- Mesleki ışınlamalarda
 - Kaynakta: Zırhlama
 - Çevrede: Havalandırma ve ilave zırhlama
 - Kişide: Çalışma pratiği, eğitim, koruyucu giysi/cihaz
- Toplumsal ışınlamalarda
 - Kontrol öncelikle kaynağa uygulanır
 - Olası değilse çevre ve kişi koruması sağlanır
- Tıbbi ışınlama
 - Sırasıyla kaynak, çevre ve kişiye uygulanır
 - Tanı ve tedavi başarısı, normal fizyolojik fonksiyonları korumadan daha önemlidir



- Doz sınırlama
 - Kişilerin aldığı radyasyon dozları belirlenen sınırların üzerine çıkılmamalıdır
 - Bu nedenle tıbbi ışınlamalar hariç, izin verilen tüm ışınlamaların neden olduğu ilgili organ veya dokudaki eşdeğer ve efektif doz yıllık doz sınırlarını aşamaz
 - Doz sınırları
 - Birincil sınırlar
 - İkincil sınırlar
 - Türetilmiş sınırlar
 - İzin verilen sınırlar
 - İşletme sınırları

*European Commission, European guidelines on quality criteria for CT, EUR, 16262EN, Luxembourg, 2000
 **The ionising radiation (medical exposures) regulations 2000, Statutory instrument no. 1059, London, 2000

Birincil Doz Sınırları (IRCP)

- | | |
|--|--|
| • Radyasyon görevlisi | • Toplum |
| • Etkin doz (tüm vücut) <ul style="list-style-type: none"> • 20 mSv/yıl (5 yıl ortalama) • 50 mSv/yıl (Tek yıl için) | • Etkin doz (tüm vücut) <ul style="list-style-type: none"> • 1 mSv/yıl (5 yıl ortalama) • 5 mSv/yıl (Tek yıl için) |
| • Eşdeğer doz (göz için) <ul style="list-style-type: none"> • 150 mSv/yıl | • Eşdeğer doz (göz için) <ul style="list-style-type: none"> • 15 mSv/yıl |
| • Eşdeğer doz (deri) <ul style="list-style-type: none"> • 500 mSv/yıl | • Eşdeğer doz (deri) <ul style="list-style-type: none"> • 50 mSv/yıl |

Toplumsal doz limitleri

- Stajyer ve öğrenciler (16-18 yaş) (Yıllık)
 - Etkin doz: 6 mSv/yıl
 - Cilt dozu: 150 mSv/yıl
 - Göz merceği: 50 mSv/yıl
- 16 yaşından küçükler mesleki ışınlamalara maruz kalınacak işlerde çalışamaz
- Doğal radyasyon ve tıbbi ışınlamalardan alınan dozlar yıllık doz sınırına dahil edilmez
- Hasta olarak alınan radyasyon dozunun bir limit yoktur.

Hamile çalışanlar

- Doz sınırları normal çalışma şartlarında kadın veya erkek için farklı değildir
- Hamile personel hamilelik durumu belli olur olmaz ilgili birim amirlerine derhal haber verirler. Bunların yıllık doz limitleri, toplum için belirlenmiş limitleri (1 mSv) aşamayacağından, çalışma koşulları bilfiil radyasyon kaynakları ile ilgili işleri ve işlemleri içermeyecek şekilde yeniden düzenlenir.
- Emzirme dönemindeki personel radyoaktif maddelerin cilt teması, solunması veya sindirim yoluyla alınması riski taşıyan nükleer tıp alanında ve benzer kontaminasyon riski taşıyan iş ve işlemlerde çalıştırılmazlar

Embriyo ve fetüs

- Organogenez öncesi yüksek dozda radyasyon implantı ortadan kaldırır
- Düşük dozun belirgin gözlenebilir etkisi yok
- Fetüsün evresine göre radyasyon duyarlılığı farklı
 - Konsepsiyon (<2 hft): İmplantasyon önlenir veya gebelik normal devam eder
 - Organogenez (2-6 hft): Gelişme geriliği, mikrocefali, organ anomalileri
 - 6-40 hft: SSS etkilenmesi sonucu IQ eksikliği

Embriyo ve fetüs

- **Deterministik etki**
 - Eşik doz: 50-100 mSv
 - Zeka geriliği
 - 8-15 hft: %40 /Sv
 - 15-25 hft: %10 /Sv
- **Sitokastik etki (Lösemi/kanser)**
 - 10 yaş altı %2 /Sv
 - Yaşam boyu %15 / Sv
 - Genetik etki %0.1 / Sv

Hamileliğin sonlandırılması

- Tanısal radyolojik işlemlerde fetüs dozunun 50 mGy'i geçmediği durumlarda oluşacak radyasyon riski, normal hamilelik riski içerisinde değerlendirilir.



AB direktifleri

- **Denetleme (Audit)**
 - Hizmetin belirlenen standartlarda verilip verilmediği belirlenmelidir
 - Bu amaçla lisanslama sonrası yapılacaklar:
 - Radyasyon kaynaklarının bulundurulduğu yerlerin fiziksel yönden incelemesi
 - Radyasyon kullanılan yerlerde çeşitli noktalarda radyasyon düzeyleri, radyoaktivite miktar ve değişimlerinin belirlenmesi
 - Lisans koşulları ve lisans tipine göre özel koşullara uyulup uyulmadığının tespiti
 - Kayıtların yasada öngörülen şekilde tutulup tutulmadığının tespiti
 - Yasada öngörülen koruyucu önlemlerin alınıp alınmadığının tespiti

Temel korunma kuralları

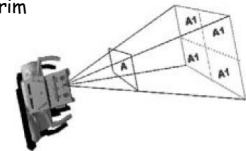
- **ZAMAN**
 - Mümkün olduğu kadar az süre
- **UZAKLIK**
 - Mümkün olduğu kadar uzaktan
 - Radyasyon şiddeti mesafenin karesiyle ters orantılı azalır
- **Bariyer**
 - Arada bir engel ile çalış

Zaman

- $Doz = Doz \text{ şiddeti} \times Zaman$
- Süre ne kadar azalır ise alınan dozda o kadar azalır
- 50 μ Sv/saat radyasyon bulunan bir ortamda her saat başı alınan doz artar
- Toplam ışınlama süresi ne kadar fazla ise hasta ve çalışan dozu o kadar yüksek olur.
 - Floroskopi süresi minimumda tutulmalı
 - Aralıklı skopi yapılmalı
 - Statik çekimlerde asla çekim odası içinde bulunulmamalı

Uzaklık

- Birim alandaki x ışınlarının yoğunluğu uzaklığın karesi ile ters orantılı şekilde azalır
- Uzaklık arttıkça doz %75 azalır
- Yani 1 m²'deki x ışını miktarı
 - Tüpün hemen yanında 16 birim
 - 1 metre uzakta 4 birim,
 - 2 metre uzakta 1 birim
- İçerde bulunacaklar
 - Yakınlar
 - Diğer hastane personeli
 - Radyoloji personeli



Zırhlama

- X-ışını odasının uygun kurşunlanması
- Korumucu paravanlar
- Kurşun giysiler (önlük, boyunluk, gözlük, eldiven)
 - Radyografi 0,25 mm kurşun
 - Floroskopi 1 mm kurşun
 - Kurşun önlük giyilmez ise 1m'de hasta dozunun %0.1'i
- Röntgen cihazı üzerindeki ek koruyucular
 - Kolimatörler
 - Kurşun plakalar



Zırhlama

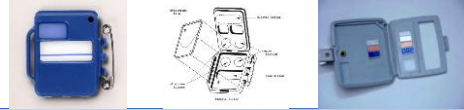
Radyasyon türü	Zırhlama malzemesi	Kurşun levha kalınlığı
X ve Gama ışınları	Uranyum (en iyi) Tungsten (çok iyi) Kurşun (iyi) Çelik (kabul edilebilir) Beton (kullanılabilir) Dolgu tuğla	75 kV: 1,0 mm 100 kV: 1,5 mm 125 kV: 2,0 mm 150 kV: 2,5 mm
Alfa	Alüminyum levha (0,5 mm) Kağıt tabaka, elbise	
Beta	Alüminyum Sıvı izotoplar için cam, plastik	
Nötron	Gimeto (demir kırıntısı içermeli) Berilyum-lityum kombinasyonu	

Radyasyonu nasıl ölçüyoruz?

- Doz hızı ölçerler (survey metre)
 - Bulunduğu yerdeki radyasyon doz hızını ölçer
 - mR/saat veya mSv/saat
- Kontaminasyon monitörleri
 - Radyoaktif kontaminasyonun saptanmasında kullanılır
 - Bq/cm²
- Dozimetreler
 - Belli bir zaman aralığında alınan toplam dozu ölçer
 - Rem, mSv

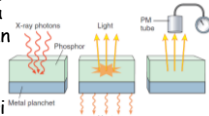
Film (badge) Dozimetre

- Plastik taşıyıcı içine yerleştirilen özel dozimetre filminin zaman içinde aldığı ve banyo sonrası ortaya çıkan dozu saptar.
- Genellikle 20 mR altındaki dozlar bu yöntemle ölçülemez. Zaman içinde ısı ve nem nedeniyle sislenme olabileceğinden 1 aydan fazla kullanılmamalıdır.



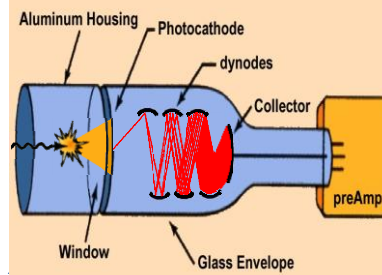
Termoluminesans dozimetre (TLD)

- Lityum florid kristali (sıvı veya toz) içeren kapsüller ışına maruz kalınca enerjiyi absorbe eder ve eksite olan elektronlar kristal içinde saklanır.
- Kristal ısıtılınca yüksek enerjili elektronlar normal konumlarına geri dönerken, görünür ışık yayar.
- Fotomultiplier tarafından ölçülen ışık oranlar her bir kristalin aldığı doz saptanabilir.
- Daha duyarlı ve doğru olarak >5 mR dozlar ölçülebilirler. Isı ve nemden etkilenmez ve 3 ay süreyle kullanılabilir



Sintilasyon dedektörleri

Photomultiplier

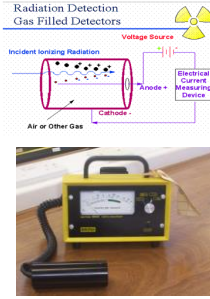


PM Kazancı=PK
G= dynode
kazancı
N= dynode sayısı
PK = G^N



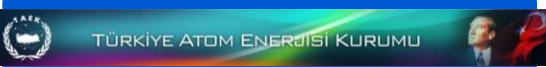
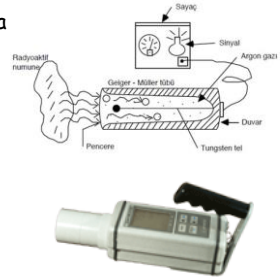
İyon odaları

- Radyasyonun havayı iyonlaştırıcı etkisinden yararlanılır
- X, gama ve beta ışınımı ölçer
- 0-200 mR sınırlarında ölçüm yaparlar.
- Kullanım öncesi şarj ve kalibre edilmelidir.



Geiger Müller Dedektörü

- Az iyonlaşma meydana getiren yüksek şiddetteki X v gama ışınlarını ölçer



- Düşük dozlar nedeniyle kanserden ölme olasılığı 1 Sv için 5×10^{-2} olarak kabul edilmektedir
- 1 mSv doz nedeniyle kanserden ölme olasılığının 100000'de 5 olduğu varsayılmaktadır.

Yıllara Göre Ortalama Etkin Dozlar	Radyoloji	Nükleer Tip	Radyoterapi
1995	0,77	0,61	0,26
1996	0,50	0,56	0,04
1997	0,79	0,80	0,15
1998	0,75	0,54	0,07
1999	0,44	0,43	0,06

Tanısal Radyolojide Yıllık Doz Dağılımı Yüzdeleri							
0,1 mSv'den küçük	0,1 - 1 mSv	1 - 5 mSv	5 - 10 mSv	10 - 15 mSv	15 - 20 mSv	20 - 30 mSv	30 mSv'den büyük
% 70	% 17	% 12	% 0,7	% 0,025	% 0,025	% 0,05	% 0,025

Ne kadar zararlı?

1/1.000.000 ölüm riski		Ölüm/10.000/yıl
NT laboratuvarında 10 gün çalışmak	Sigara	30
1.4 adet sigara içmek	Maden	6
Kirli havada 2 gün geçirmek	İnşaat	3,9
480 km araba yolculuğu	Kardiyak kateter.	3,3
1600 km uçak yolculuğu	Araba (1 yıl)	2,4
2 ay pasif sigara içiciliği	Rafting	0,5
30 kutu diyet soda içmek	AP Lomber grafi	0,06
	PA AC grafisi	0,02



Tanısal Radyolojide Hasta Dozu

Uygulama	Her bir grafi için cilt giriş dozu (mGy)
Lumbrosakral AP	10
Lumbrosakral L	30
Batın AP	10
Pelvis AP	10
Kalça AP	10
Torakal AP	7
Torakal L	20
Akciğer PA	0,4
Akciğer L	1,5
Kranyum AP	5
Kranyum L	3

Tanısal Radyolojide Hasta Dozu

Uygulama	Her bir grafi için cilt giriş dozu (mGy)
Mamografi CC Gridsiz	1
Mamografi CC Gridli	3
Diş periapikal	7
Diş AP	5
Kranial BT	50 MSAD (multiple scan average dose)
Lumbrosakral BT	35 MSAD
Floroskopi	
Normal uygulama	25 mGy/dk
Yüksek doz hızı	100 mGy/dk



- **Madde 24** - Tanı ve tedavi amacıyla radyasyon uygulamalarının amacına ulaşması öncelikli olmak üzere hastanın radyasyon güvenliğini sağlamak üzere aşağıdaki hususlara uyulur.
- d) Hastanın radyasyon güvenliğinin sağlanması ile ilgili denetimler, Kurum ve/veya Kurumunun yetkilendirdiği konusunda **uzman kuruluşlar** tarafından yapılır.
- e) Cihazların kalibrasyonun sağlanması, kalite kontrollerinin yapılması ve hasta dozlarının takibi bu konuda **uzman yetkili kişilerin** denetimi altında yapılır.

Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği Resmi Gazete Tarih/Sayı: 24.03.2000 / 23999

Koruyucu önlemler

- Gerekli amaç ve endikasyonu olmayan çekim yapılmamalıdır
- Önceki tetkikler incelenerek gereksiz tekrarlardan kaçınılmalıdır
- Çekim odasında hasta dışında kimse olmamalıdır
- Hasta filme yakın foküse uzak olmalıdır
- Gerekli pasif koruma yapılmalıdır
- Çocuk, hamile ve ateşli olgularda radyasyona duyarlılık artacağından daha dikkatli davranılmalı

Image Gently

- Çocuklar neden önemli?
 - En çok pediatrik BT Japonya ve USA'da
 - USA'da 7 milyon/yıl pediatrik BT uygulaması
 - Yaklaşık yıllık %10 artış
 - Her yaşta çocukta kullanılsa da %33 10 yaş altında
- BT dozu gerçekten çocuk için riskli mi?
 - Çocuklar daha radyosensitif
 - Boyut nedeniyle daha fazla efektif doz alır
 - Yaşam süreleri uzun olduğu için kanser gelişme riski yüksek
 - Risk tek bireyde düşükken toplumsal bazda daha yüksek

Koruyucu önlemler

- Radyolojik cihaz ve ekipman sadece uzman kişilerce kullanılmalı
- Aksi belirtilmedikçe düşük mAs ile çalışılmalı
- Sadece ilgili alana çekim yapılmalı
- Standart film-fokus mesafesi esas alınmalı
- Floroskopilerde tekrar ve uzun incelemeden kaçınılmalı
- Uygun ranforsatör-film kombinasyonu sağlanmalı
- Film tekrarları önlenmeli
- Seyyar çekimlerde gerekli korunma sağlanmalı
- Cihazların belli aralıklarla kalite güvenlik ve kalite kontrol testleri yapılmalıdır

Standartizasyon

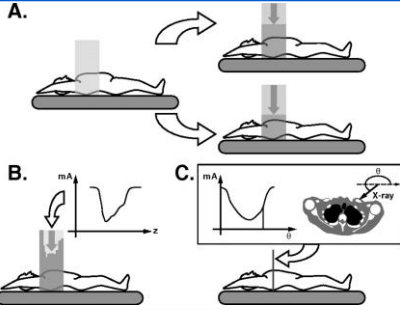
- Tanısal referans listesi
 - ACR, AAPM, NCRP, FDA
 - European Guidelines Quality Criteria CT Eur 16252
 - TRD Yeterlilik Kurulu Standart ve Rehberler
- Çocuklar için
 - ARSPT
 - Image Gently
 - Step Lightly
- Image Wisely
 - ACR ve RSNA



Image Gently

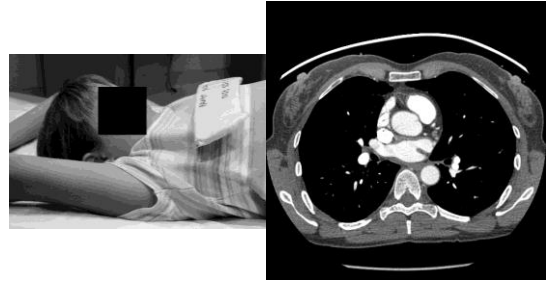
- Tek abdominal BT'nin kanser yapma riski 1/1000
- Tekrarlanan BT'lerde küme risk artar
- Doz azaltma teknikleri
 - EKG Modulation
 - Snap shot pulse prospective cardiac gating
 - Otomatik ekspozür kontrolü (AEC)
 - mAs'ın azaltılması (manuel/otomatik)
 - Pitch'in arttırılması
 - Tarama alanının minimumda tutulması
 - Tekrarlardan kaçınmak

Otomatik ekspozur kontrolü



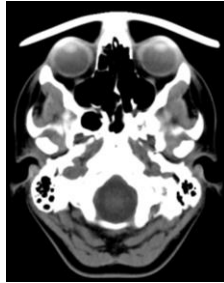
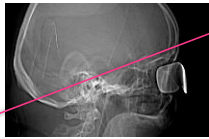
Kubo, T. et al. Am. J. Roentgenol. 2008;190:335-343

Pedriatik meme koruyucular



Göz koruyucular

- Beyin BT incelemelerinde göz koruyucular
- Lens dozunu %50'ye kadar azaltabilir
- Pratikte lensi korumak için gantriye açılır



Kenneth D. H et al. AJNR Am J of Neuroradiol 2001;22:1194-1198

Tiroid koruyucular



- Baş-boyun ve toraks BT incelemelerinde tiroid koruyucuların kullanımı tiroid dozunu
- Baş-boyun uygulamalarında %55
- Toraks uygulamalarında %47 azaltır.



Heaney DE and Norvill CA. Australas Phys Eng Sci Med. 2006;29(2):172-178

Eve gidecekler

- Tıbbi ekipmanın düzenli bakım ve kalibrasyonu
 - Cihazlar TAEK tarafından lisanslanmış olmalı
- Doz azaltma teknikleri (%30-50 doz↓)*
- BT yerine US, MRG kullanımı
- **Özellikle çocuk ve genç erişkinlerde radyolojik incelemeler mantıklı ve geçerli nedenlerle yapılmalı**
- **"Bir bakalım" mantığı terk edilmelidir**

*Brenner DJ, et al. N Engl J Med 2007;357:2277-84.

Eve gidecekler

"EN İYİ DOZ ALINMAYAN DOZDUR"

