

Sugárvédelem

Dr. Fröhlich Georgina

Országos Onkológiai Intézet
Sugárterápiás Központ
Budapest



*Ionizáló sugárzások a gyógyításban
ELTE TTK, Budapest*

Bevezetés

ionizáló sugárzás kölcsönhatása az anyaggal = a sugárzás részecskéi / fotonjai kölcsönhatnak a közeg részecskéivel

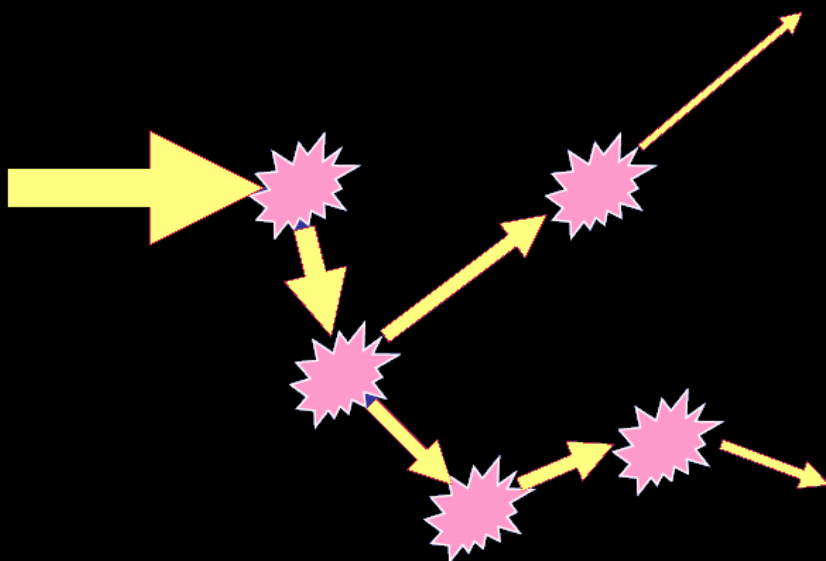
→ szerkezet-változás

elemi folyamatok – mikro-skálán történnek

az elemi folyamatok „lényege”: „energia-közlés”

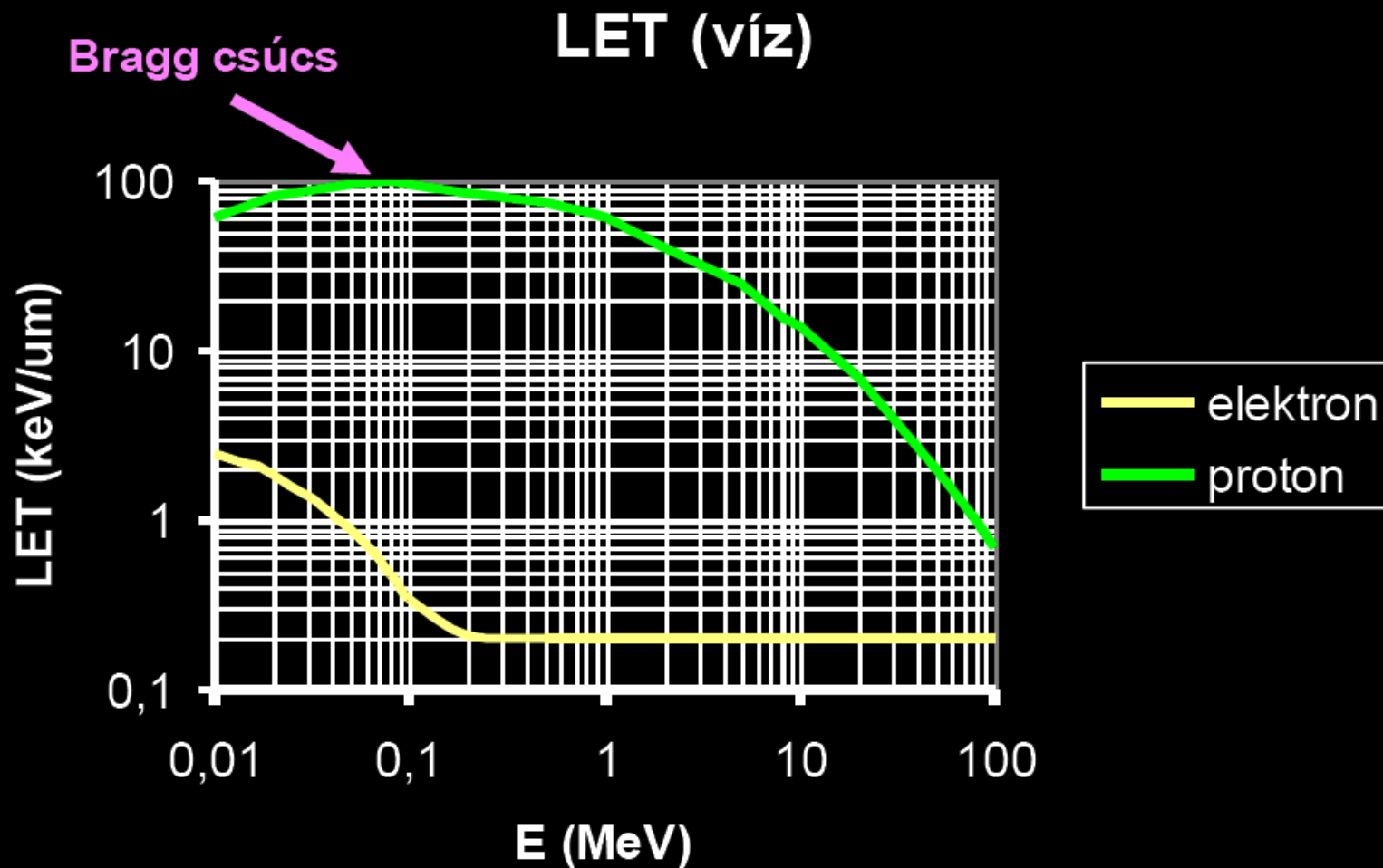
Linear Energy Transfer (LET)

- mikro-dozimetria
- LET = a részecske (foton) **pálya mentén leadott energiája**
 - gerjesztés, ionizáció
 - szabad gyökök, ionok
 - sejt szinten: direkt és indirekt hatás
 - DNS, membrán szerkezet-változás



$$LET = \frac{\Delta E}{l} \left[\frac{keV}{\mu m} \right]$$

Linear Energy Transfer (LET)



A biológiai hatás

- „determinisztikus hatás”

adott küszöbdózis

- felett → „van válasz”: működési zavar

- alatt → „nincs válasz”: „repair”

- „sztochasztikus hatás”

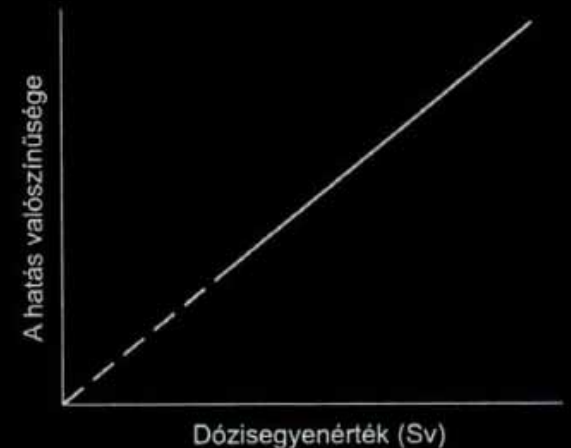
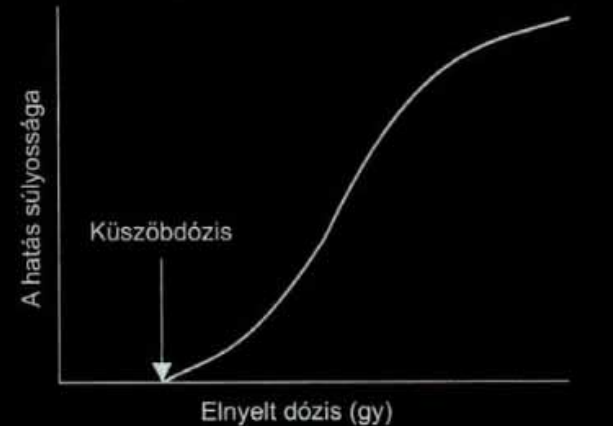
„kockázati” alapon van válasz

(úgy vesszük, hogy) nincs küszöbdózis

→ a sugárvédelem célja:

- a determinisztikus hatást **el kell kerülni!**

- a sztochasztikus hatást **minimalizálni kell!**



A célkitűzés

sugárvédelem \neq „mikro-dozimetria”



Mennyiségek rendszere

1. fizikai mennyiségek, „definíciók” →

- Fluens - Φ
- Elnyelt dózis - D
- Kerma - K
- „Besugárzás” - X

2. sugárvédelmi, korlátozó mennyiségek
szabályozás
normál üzemi, baleseti helyzet
közvetlenül nem mérhetők

3. operatív (működési mennyiségek)
mérések, számítások

Fluens

Kis térfogategyenes A keresztmetszetén áthaladó részecskék (fotonok) N száma:

$$\Phi = \frac{dN}{dA}$$

- mértékegysége: m^{-2}
- sugárzási tér jellemzésére!

Elnyelt dózis

- sztochasztikus történések sorozata = elnyelt energia **várható értéke**
- vonatkoztatás térfogatelemre (tömegegységre)
- mértékegység = **J / kg = Gy (gray)** (100 rad = 1 Gy)
- ICRU 1980 – ICRU 1993

$$D = \lim_{m \rightarrow 0} \frac{\bar{\varepsilon}}{m}$$

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

Kerma

- „Kinetic Energy Released in Material”

(„...in unit Mass”) – **közölt dózis**

- **töltés nélküli** részecskék (neutron / foton) által keltett összes **töltött részecske kezdeti kinetikus energiája**

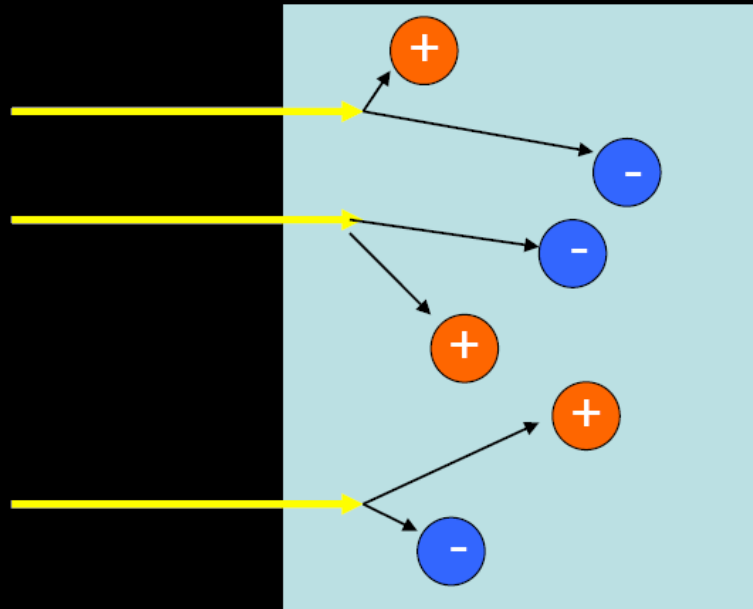
- energia-átadás: (1) $U \rightarrow C^{+/-}$; (2) $C^{+/-} \rightarrow$ közeg

- SI-egység: $J/kg = Gy$

$$K = \frac{dE_{C,init}}{dm}$$

Besugárzási dózis -X

- tömeg egységben létrehozott töltéshordozók **összes töltése** (SI) = 1 C/kg
- $1 \text{ Röntgen (1 R)} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$
- csak RTG/gamma fotonokra!
- csak levegőben!



Mennyiségek rendszere

1. fizikai mennyiségek, „definíciók”



- Fluens - Φ
- Elnyelt dózis - D
- Kerma - K
- „Besugárzás” - X

2. sugárvédelmi, korlátozó mennyiségek

szabályozás



normál üzemi, baleseti helyzet

közvetlenül nem mérhetők

- Elnyelt dózis - D
- Egyenérték dózis - H
- Effektív dózis - E
lekötött effektív dózis - $E(\tau)$
kollektív effektív dózis - S

3. operatív (működési mennyiségek)

mérések, számítások

Egyenérték (ekvivalens) dózis – $H_{T,R}$

Adott T szervben, szövetben **átlagosan** $D_{T,R}$ elnyelt dózisú, de különböző **R** fajtájú sugárzások \rightarrow **eltérő** mértékű **biológiai hatások**

1 J / kg = 1 Sv (sievert)
(100 rem \approx 1 Sv)

$$\overline{H}_{T,R} = w_R \cdot \overline{D}_{T,R}$$

Egyenérték dózis-teljesítmény

Időegységre vonatkoztatott egyenérték-dózis:
mértékegység = Sv/s

$$\dot{H}_{T,R} = \frac{dH_{T,R}}{dt}$$

Effektív dózis - E

összes szerv és szövet H_T egyenérték dózisa

- w_T = a sztochasztikus sugárhatás kialakulására vonatkozó szöveti súlytényezők (viszonylagos valószínűségek)

- Mértékegység = J / kg = Sv

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

Szerv/szövet	Súlytényező, w_T
Ivarszervek	0,20
Csontvelő (vörös)	0,12
Vastagbél (alsó szakasz)	0,12
Tüdő	0,12
Gyomor	0,12
Hólyag	0,05
Emlő	0,05
Máj	0,05
Nyelőcső	0,05
Pajzsmirigy	0,05
Bőr	0,01
Csontfelszín	0,01
Maradék	0,05

„Lekötött” dózisok

Belégzés/lenyelés révén, bőrön keresztüli felvétel → **inkorporáció**

- Metabolizmus, kiválasztás → szervek, szövetek **időben változó**

sugárterhelése (dózis-teljesítmény)

- t_0 = egyszeri felvétel időpontja

- τ = 50 év (felnőtt), 70 év (gyermek)

- mértékegység = J / kg = **Sv**

- **Lekötött elnyelt dózis:**

elnyelt dózisteljesítmény időintegrálja

$$D(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{D}(t) dt$$

- **Lekötött egyenérték-dózis:**

az egyenérték dózisteljesítmény időintegrálja

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt$$

- **Lekötött effektív dózis:**

egyres szervek/szövetek **lekötött egyenérték dózisainak**

a szöveti súlytényezővel **súlyozott összege**

$$E(\tau) = \sum_T w_T \cdot H_T(\tau)$$

Kollektív dózisok – S

csoporthok

- kockázat-elemzés, optimalálás
- kollektív dózisok nem korlátozó dózisok
- kollektív effektív dózis (személy * Sv):

$$S = \sum_{Group} \overline{E}_{Group} \cdot N_{Group}$$

- kollektív egyenérték dózis (személy * Sv):

$$S_T = \sum_{Group} \overline{H}_{T,Group} \cdot N_{Group}$$

Mennyiségek rendszere

1. fizikai mennyiségek, „definíciók”



- Fluens - Φ
- Elnyelt dózis - D
- Kerma - K
- „Besugárzás” - X

2. sugárvédelmi, korlátozó mennyiségek

szabályozás



normál üzemi, baleseti helyzet
közvetlenül nem mérhetők

- Elnyelt dózis - D
- Egyenérték dózis - H
- Effektív dózis - E
- lekötött effektív dózis - $E(\tau)$
- kollektív effektív dózis - S

3. operatív (működési mennyiségek)

mérések, számítások



- Környezeti dózisegyenérték - $H^*(d)$
- Irányszerinti dózisegyenérték - $H'(d, \Omega)$
- Személyi dózisegyenérték - $H_p(d)$

Dózisegyenérték - H

test adott x pontjában elnyelt $D(x)$ dózis,
és az adott pontban érvényes sugárzás fajtájára jellemző
 $Q(x)$ minőségi súlytényező szorzata

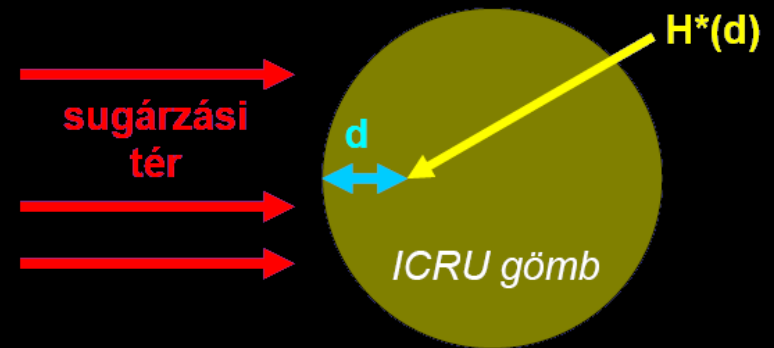
- $1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Sv}$

- méréstechnika („fantom”), hitelesítés
- alacsony (normál üzemi) körülmények, baleseti helyzetre alkalmatlan

$$H(x) = Q(x) \cdot D(x)$$

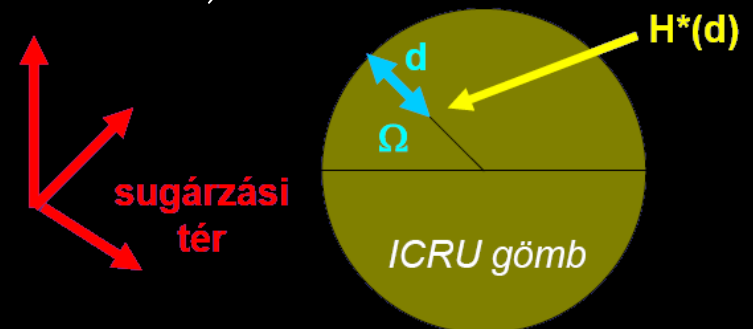
Környezeti dózisegyenérték - $H^*(d)$

- Szabad környezet, munkahely
- Gyenge áthatolóképességű sugárzásra: $d=0,07$ mm
- Nagy áthatolóképességű sugárzásra: $d=10$ mm



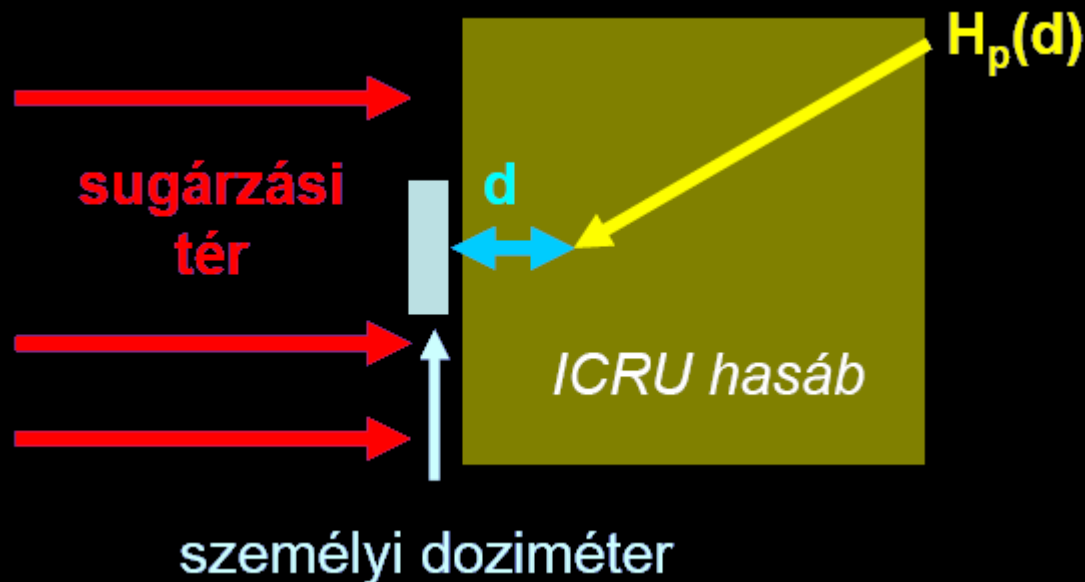
Írány szerinti dózisegyenérték - $H'(d, \Omega)$

- Nagy áthatolóképességű sugárzás (szemlencse): $d=3$ mm



Személyi dózisegyenérték - $H_p(d)$

- Munkahelyi ellenőrzés
- Gyenge áthatolóképességű sugárzásra: $d=0,07$ mm
- Egésztest: $d=10$ mm, bőr,kéz,láb= $0,07$ mm, (szemlencse= 3 mm)



Összefoglalás – 16/2000 EüM. r.

Fizikai dózisfogalmak:

A biológiai hatásokért a szövetekben elnyelődött energia-hányad felelős:

- elnyelt dózis (Gy), -teljesítmény (Gy/s)

Sugárvédelmi célú dózisfogalmak:

A sugárzás biológiai hatása az elnyelt dózison túl függ a *sugárzás típusától* (és a besugárzás körülményeitől) függ:

- egyenérték dózis (Sv), -teljesítmény (Sv/s)

a késői (sztochasztikus) hatás kockázatát tartalmazó mennyiség:

- effektív dózis (Sv)

inkorporáció:

- lekötött ... dózisok (Sv)

Operatív mennyiségek:

Méréstechnika, hitelesítés – $H^*(d)$, $H'(d, \Omega)$, $H_p(d)$

- dózisegyenérték (Sv)

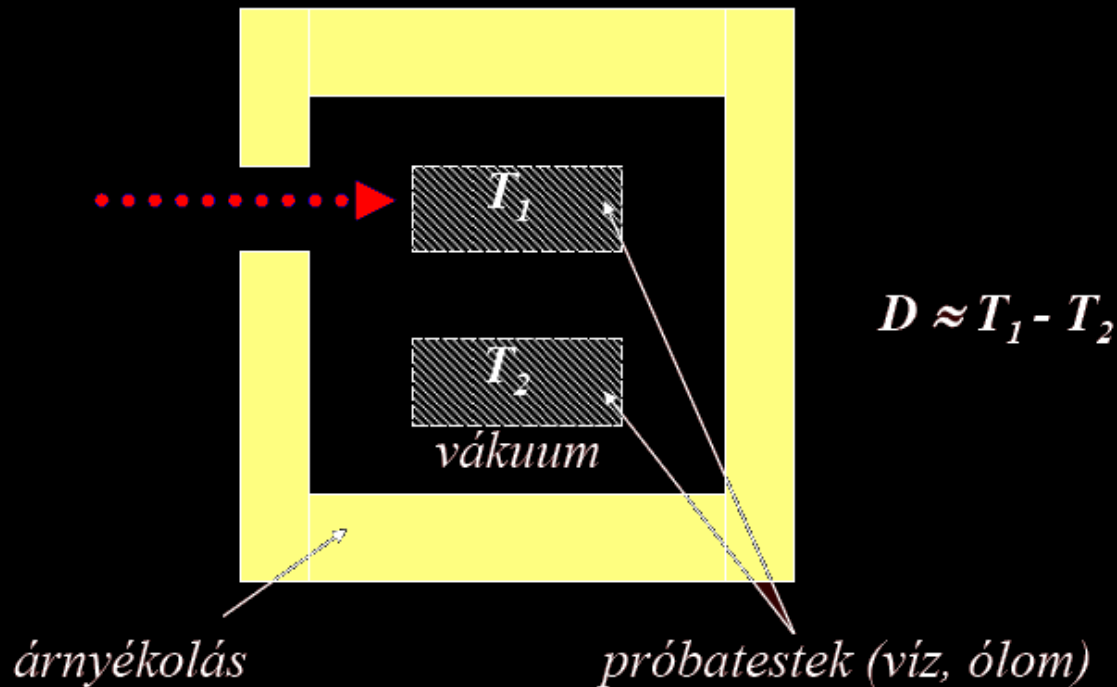
A dózis mérése

Alapvető fizikai jelenségek:

- hőhatás
- ionizáció
- gerjesztés
- neutron - közvetve (aktiváció)

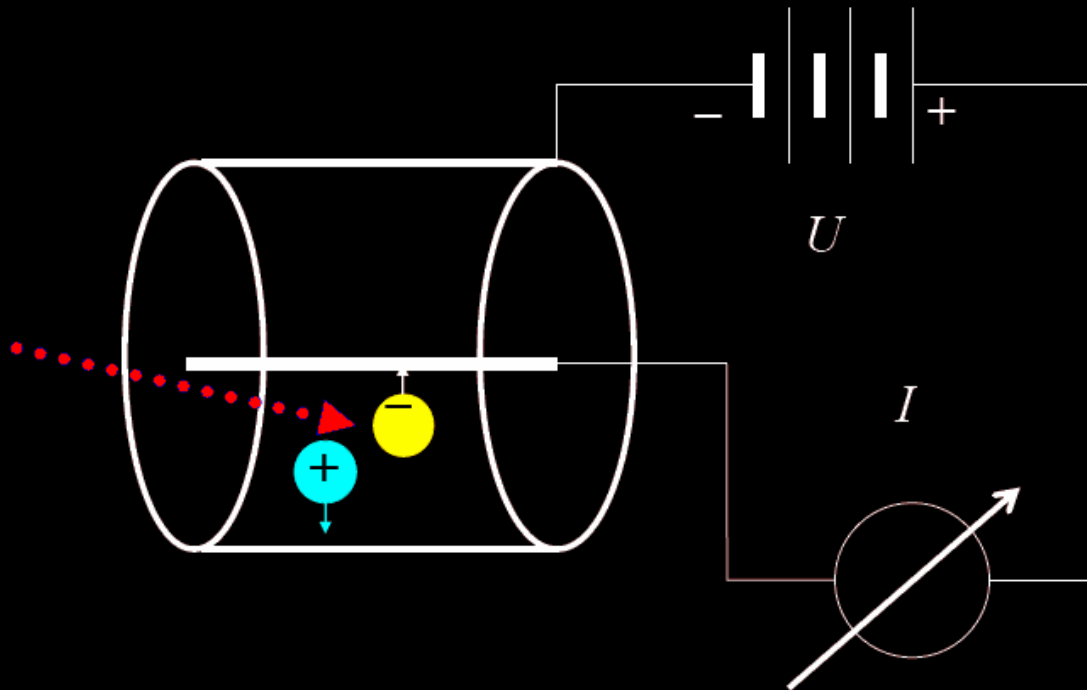
Kalorimetrikus dózismérő

- bármilyen sugárzás fajtához alkalmas
- csak nagy dózisek mérésére!
- felhasználása: „etalon”

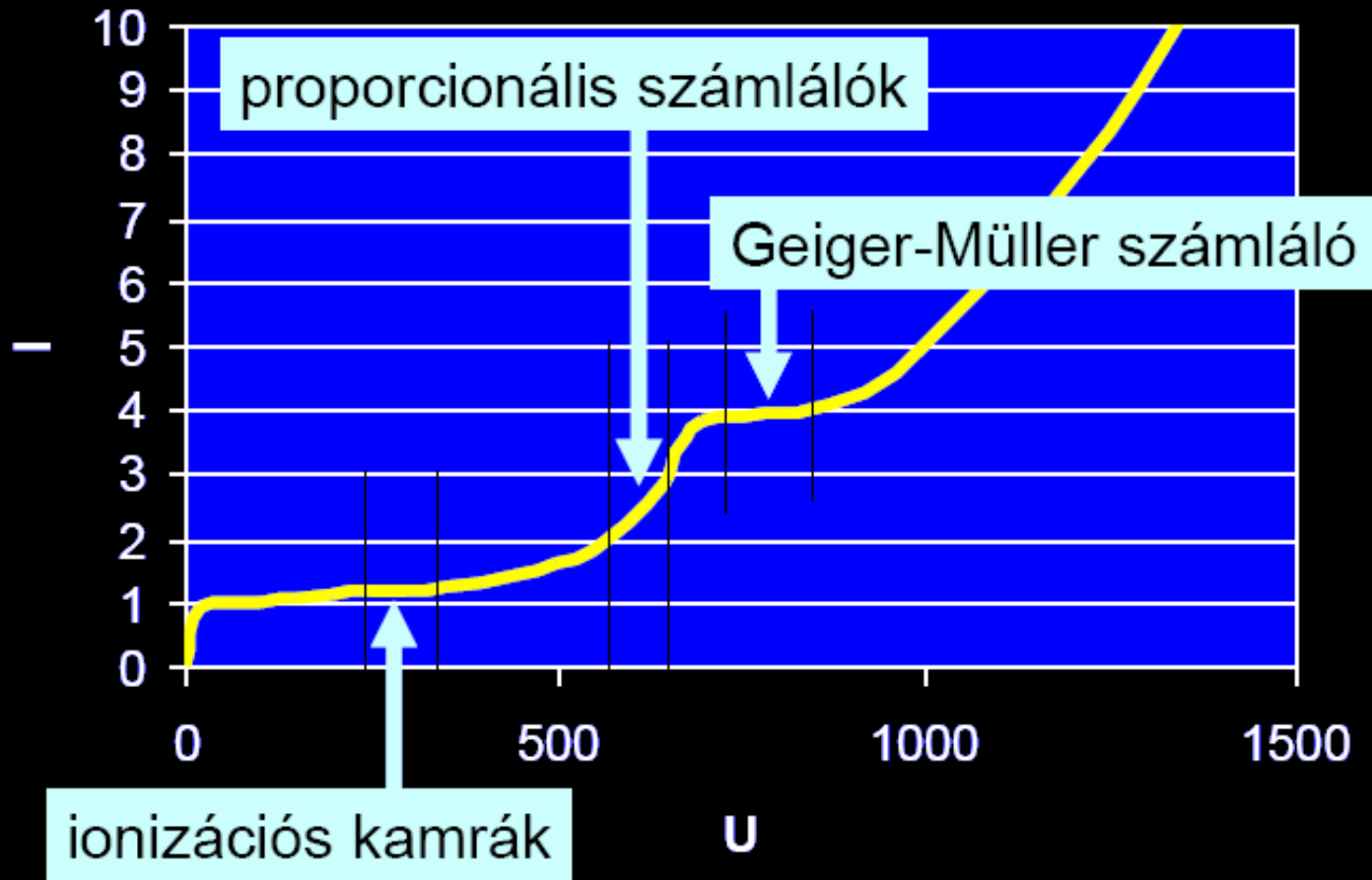


Ionizáció közvetlen mérése

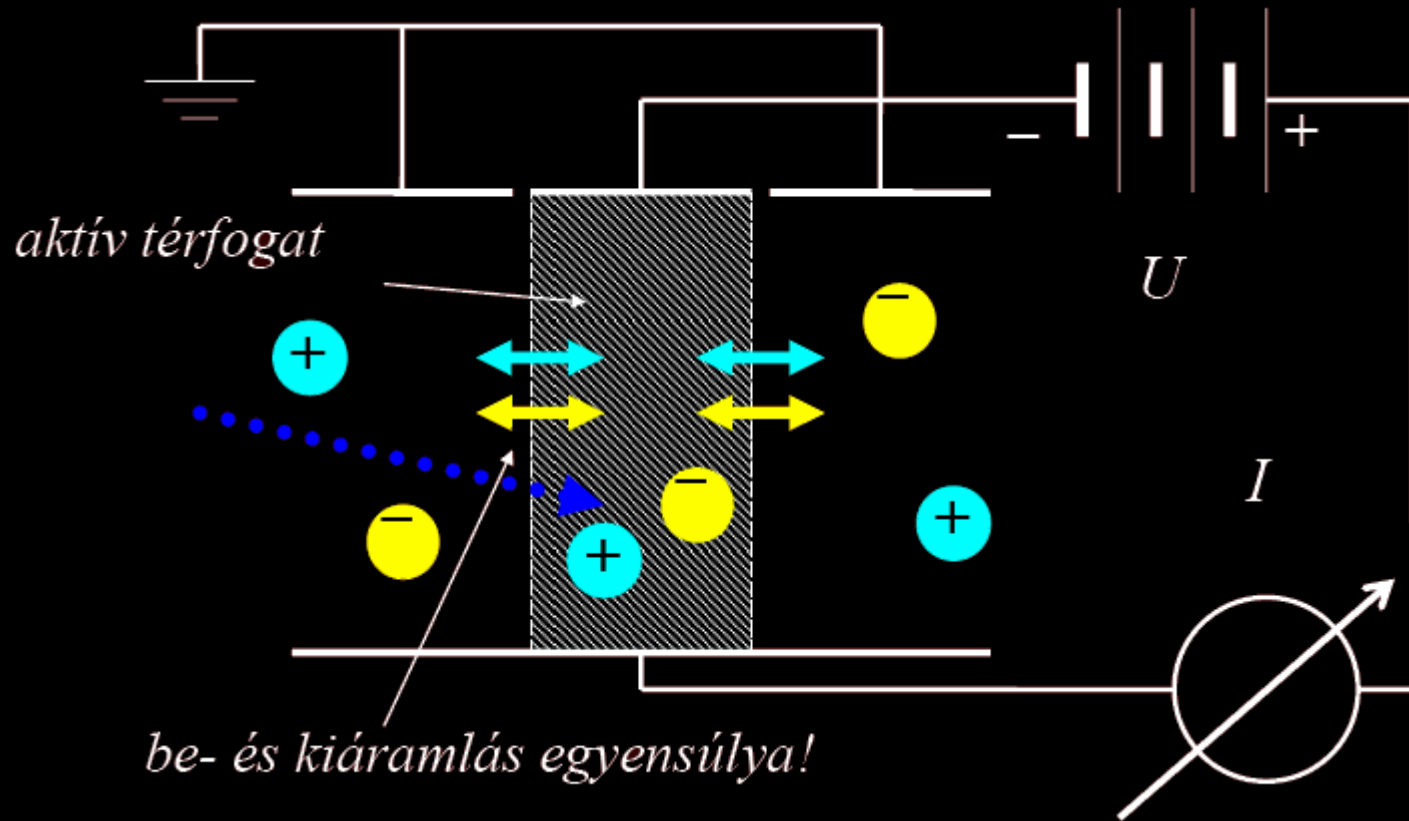
- gáztöltés (folyadéktöltés)
- U = „tökéletes töltés-kigyűjtés”
- ionizáció mértéke = árammérés
- a mért jel folyamatos
- a levegő töltésű kamrák mért jele (árama) \sim elnyelt dózis (D)



Gázionizáció



Klasszikus „levegőfalú” ionkamra



Gyűszűkamra

besugárzási dózis (X [C/kg]) \leftrightarrow elnyelt dózis (D [Gy])

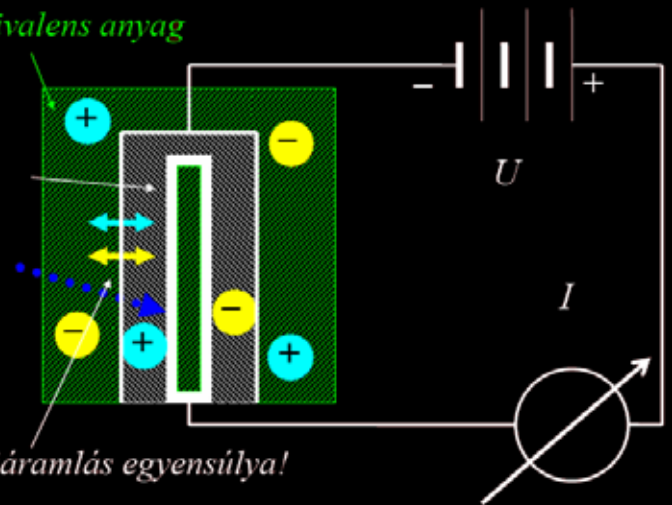
testszövet ekvivalens anyag

aktív térfogat

"gyűszű!"

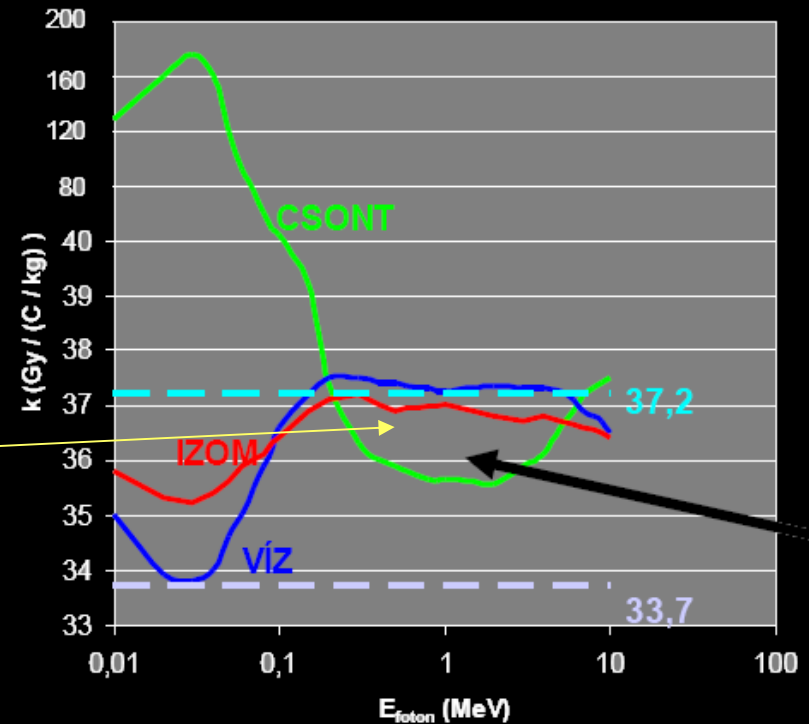
$\approx 1 \times 1 \text{ cm}$

be- és kiáramlás egyensúlya!



$$k = \frac{D}{X}$$

$$\frac{k(\text{lágy szövet})}{k(\text{levegő})} \approx 1,1$$



Proporcionális számlálók

- gáztöltésű kamra
- U = lavina tartomány „lineáris” szakasza
- mért jel = impulzus
- adott impulzus amplitúdója arányos a foton energiájával
- közvetlenül „gamma-spektrometria” (foton energia-spektrum mérése)
- közvetlenül nem mérhető dózis!

Geiger-Müller számlálók

- ritkített gáztöltés („quenching gas”), korlátozott élettartam
- U = „teljes lavina letörés”
- mért jel = impulzusok száma („rate-meter”)
- foton sugárzásnál széles foton-E tartományban alkalmas dózismérésre
- De! Alacsony foton-E-nál „falhatás” (fotoeffektus)

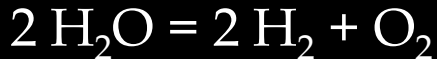
Kémiai detektorok (ionizáció+gerjesztés)

Víz radiolízise (bruttó folyamatok):

Kis LET értékű sugárzásoknál:



Nagy LET értékű sugárzásoknál:

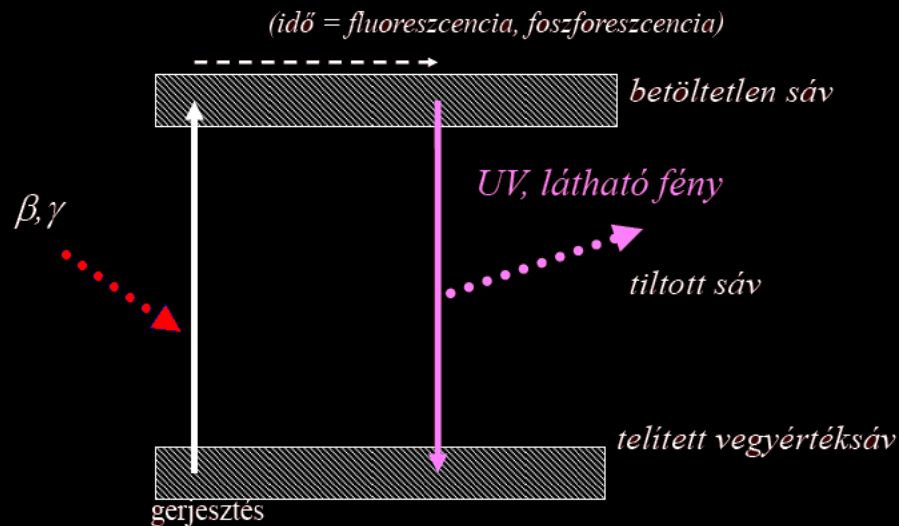


- Spektrofotometriai mérés ($\lambda = 200 \dots 800 \text{ nm}$)
- Fricke-doziméter ($\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$) (Cu^{2+})
- Film doziméter (Ag^+ / Ag)

Gerjesztés

- **Félvezetőkben** – elektromos vezetőképesség átmeneti megnövekedése → félvezető detektorok (alfa- és gamma-spektrométer)
- **Szigetelőkben** fluoreszcencia (gázok, folyadékok, szilárd anyagok) → szcintillátorok

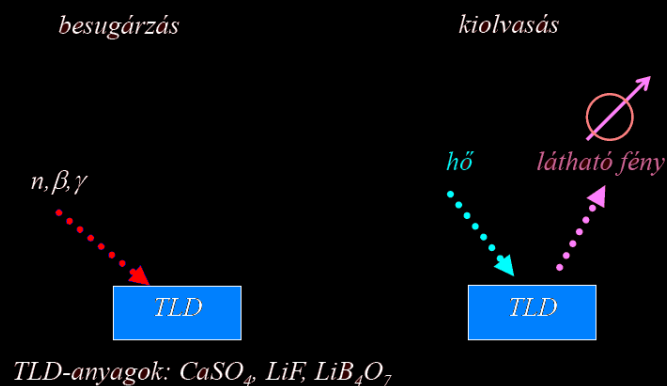
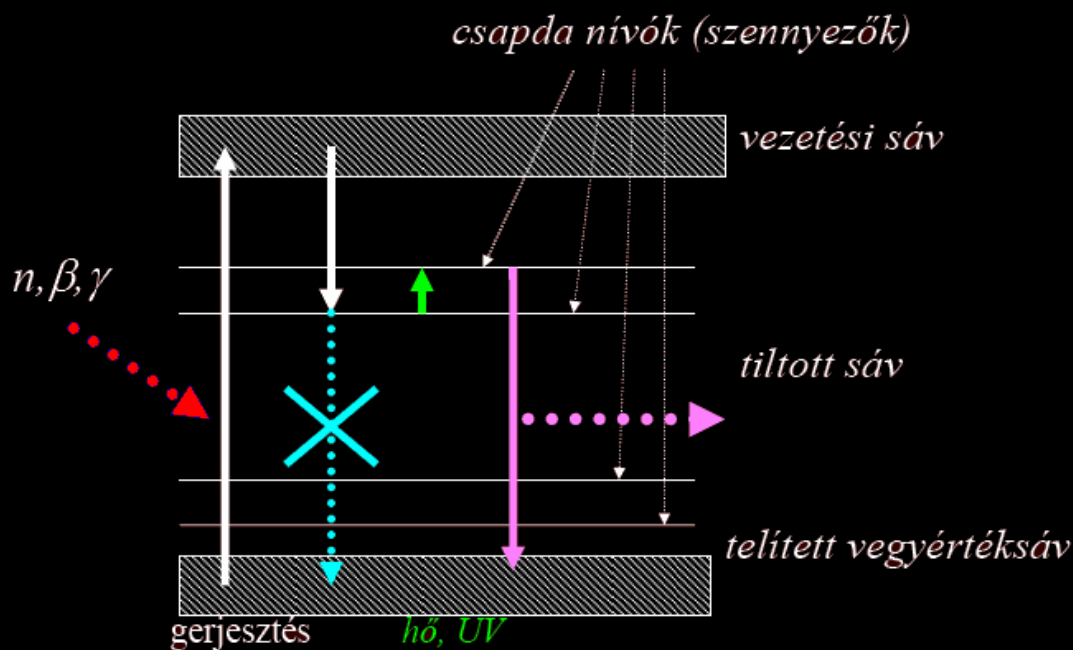
Erős energia-függés! Dózis meghatározás csak közvetve lehetséges.



Gerjesztés – szilárdtest doziméterek

Pl. radiofotolumineszcens (RFL) detektorok,
termikusan stimulált elektron-emisszió (TSEE),

termolumineszcens doziméter (TLD):



Személyi doziméterek

dózisegyenérték

$\approx 10 \mu\text{Sv} \dots \approx 10 \text{Sv}$

- irány-független
- elhanyagolható „felejtés”
- dózisteljesítmény-független
- könnyű kiértékelés
- egyéb fizikai behatásokra érzéketlen
- kicsi
- olcsó

- toll-doziméter

- film-doziméter

- TLD-doziméter (széles E-tartományban „lineáris”, többször használatos)

- félvezetős (elektronikus) doziméterek

- neutron: aktivációs doziméterek

- radon: nyomdetektor

Radioaktivitás a környezetben

- Természetes radioaktivitás

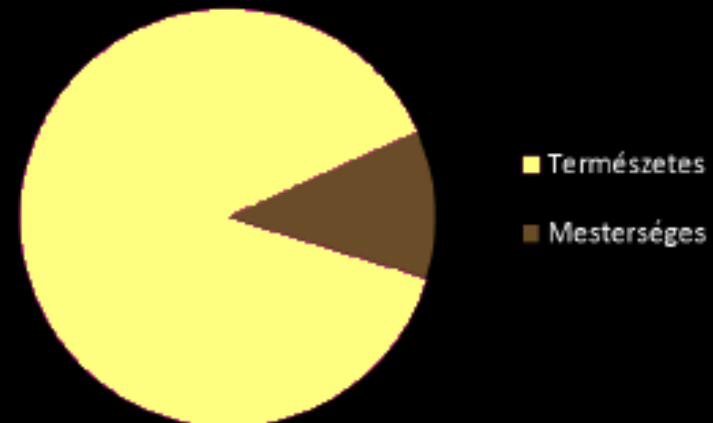
kozmikus, kozmogén, földkérgi

- Mesterséges radioaktivitás

orvosi (diagnosztika, terápia), foglalkozási, nukleáris ipar, robbantások, nukleáris balesetek

- emberi beavatkozás által megnövekedett természetes radioaktivitás:

TENORM (Technically Enhanced Natural Origin Radioactivity)
bányászat (urán, bauxit, cirkonhomok, szén, stb.), kohászat, építkezés, repülés, vízvezeték



Radioaktivitás a környezetben



Természetes sugárforrások

Kozmikus eredetű sugárzás:

- elsődleges (űrből nagy-E p^+ , e^- , α)
- másodlagos (kozmozgén, elsődlegesek kh-ba lépnek légkör atomjaival: ionizáció, magreakció \rightarrow ^3H (12,3 év), ^7Be (53,3 nap), ^{14}C (5730 év), ^{22}Na (2,6 év),
tengerszinten: 2,1 ionpár/cm³/s)



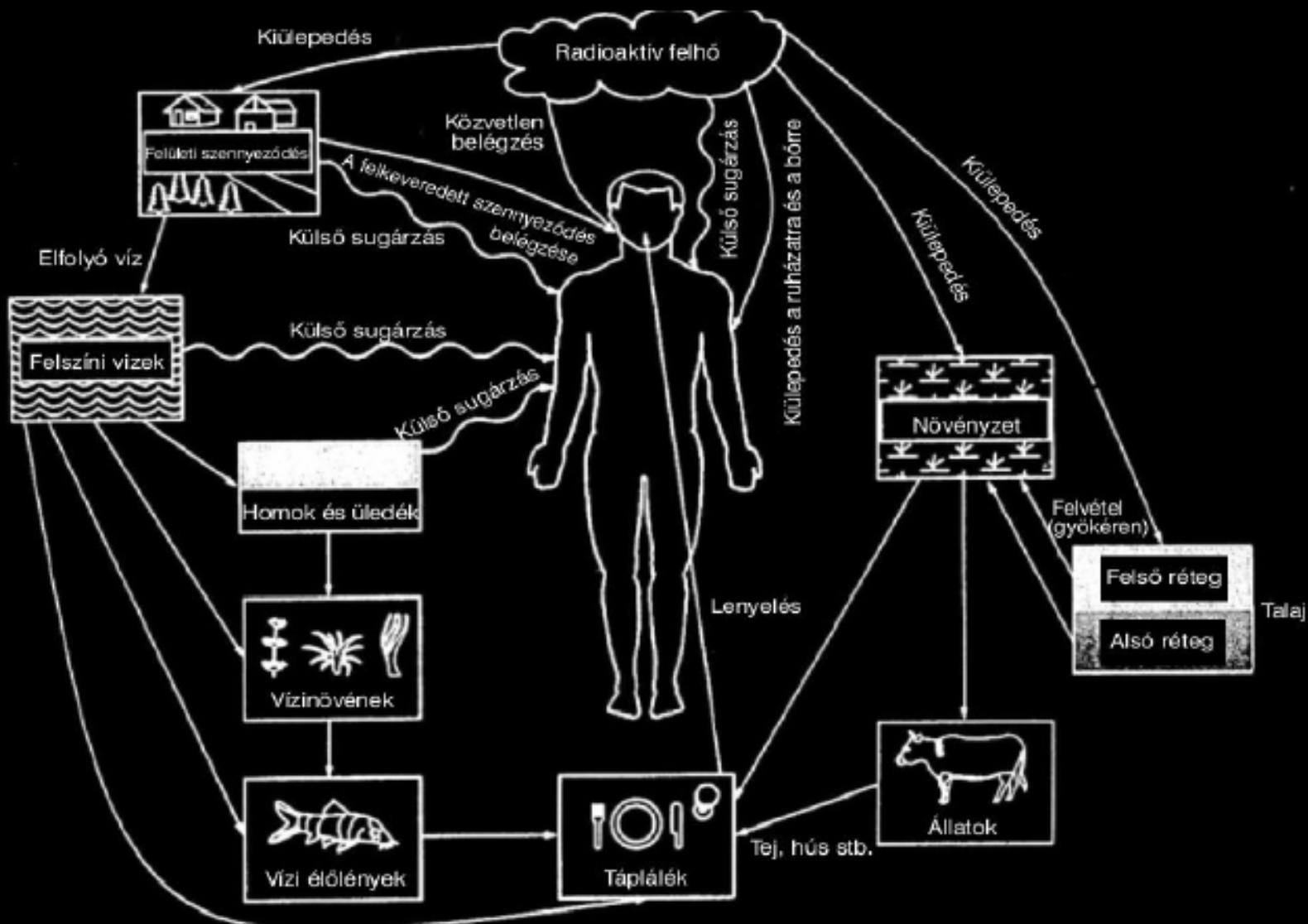
Földkérgi eredetű sugárzás:

- urán-sorok: ^{238}U ($T_{1/2} = 4,5$ md év) urán-rádium sor
 ^{235}U ($T_{1/2} = 0,7$ md év) urán-aktínium sor
(természetes izotóp arány: 99,3% ^{238}U - 0,7% ^{235}U)
- tórium-sor: ^{232}Th ($T_{1/2} = 14$ md év)
- kálium-40: ^{40}K ($T_{1/2} = 1,3$ md év), emberben: ~ 4400 Bq

Természetes sugárforrások

Nuklid	Felezési idő	Bomlás-sugárzás		
U-238	4,5 millió év	alfa		
Th-234	24 nap		béta	gamma
Pa-234	1 perc		béta	gamma
U-234	245 ezer év	alfa		gamma
Th-230	76 ezer év	alfa		gamma
Ra-226	1600 év	alfa		gamma
Rn-222	3,8 nap	alfa		
Po-218	3 perc	alfa		
Pb-214	27 perc		béta	gamma
Bi-214	20 perc		béta	gamma
Po-214	160 mikroszekundum	alfa		
Pb-210	22 év		béta	gamma
Bi-210	5 nap		béta	gamma
Po-210	138 nap	alfa		
Pb-206	stabil			

Természetes eredetű sugárterhelés



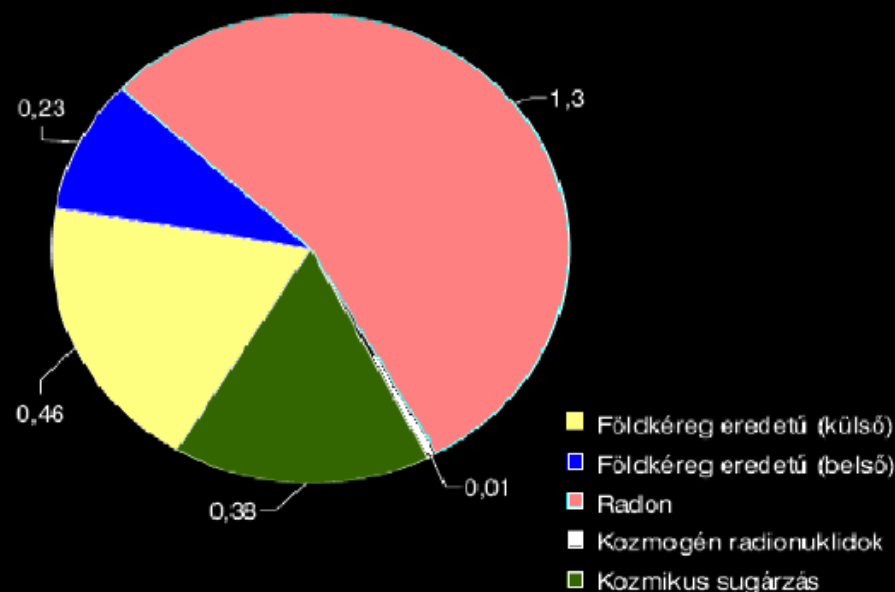
Természetes eredetű sugárterhelés

Külső sugárterhelés: a külső sugárforrások sugárzása általi sugárterhelés (háttérsugárzás); elsősorban γ -sug.

Forrás: kozmikus, földkérgi (talaj, építőanyagok)

Belső sugárterhelés: a szervezetbe került (inkorporált) radioizotópoktól származó sugárterhelés (belégzés, lenyelés); elsősorban α -, β -sug.

Forrás: kozmikus (^{14}C , ^3H), földkérgi (^{40}K , Radon bomlástermékei)



Természetes eredetű sugárterhelés

Éves effektív dózis világátlagos összesen: **2,4 mSv**

Magyarországon:

az éves természetes forrásból származó sugárterhelés: **3,1 mSv**

	Forrás	Évi effektív dózis (mSv)
Külső expozíció	kozmosz	0,4
	földkérgi	0,5
Belső expozíció	Belégzés (főleg radon)	1,2
	Lenyelés	0,3

A kozmikus sugárzás dózisteljesítményének változása a magassággal



Természetes eredetű sugárterhelés

Földkérgi eredetű külső sugárterhelés

Forrás: K-40, U-238 sor, Th-232 sor (talaj, levegő, vizek, élővilág)

Változik a földrajzi hely szerint (geológiai felépítés, uránlelőhely)

Jellemző aktivitás-koncentrációk talajban:

K-40: 350-450 Bq/kg

U-238, Th-232: 25-30 Bq/kg

Külső dózisteljesítmény a talaj felett 1 m magasságban: **50-90 nGy/óra**

Ebből származó sugárterhelés: **0,5 mSv/év**

Épületeknek árnyékoló hatása van, de építőanyagban akár kétszeres is lehet az aktivitás-koncentráció!

Természetes eredetű sugárterhelés

A lenyelésből származó **belső** sugárterhelés (RADON NEM !)

Kozmikus eredetű: H-3 (vízből), C-14 (levegőből)

Földkérgi eredetű: K-40, U-238 sor, Th-232 sor

Teljes aktivitás az emberi szervezetben: 8600 Bq

Éves effektív dózis világátlag: **0,3 mSv** (kétharmada a K-40 radioizotóptól)

Természetes éves sugárterhelés világátlag 2,4 mSv.



Természetes eredetű sugárterhelés

A belégzésből származó **belső** sugárterhelés

Földkérgi eredetű: Radon-222 és leányelemei
(Po-218,Pb-214,Bi-214,Po-214, Pb-210,Bi-210,Po-210)

Felezési idő = 3,8 nap (diffúzió!),

* jellemző értékek **szabadban**: 1- 10 Bq/m³

* jellemző értékek **épületekben**: 50-300 Bq/m³

Összes éves effektív dózis világátlaga: **1,2 mSv** (2,4-ből)

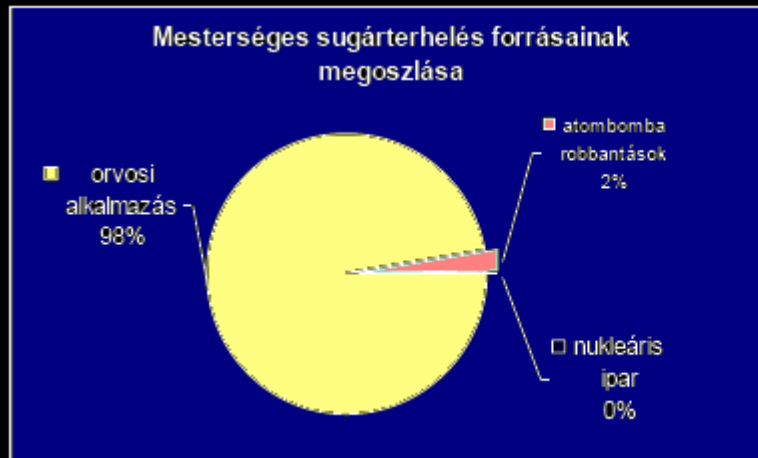
Magyarországon: 3,1 mSv (4,1-ből)

Csökkenthető: - szellőztetéssel, csövezéssel (kiáramlás),
- padlószigeteléssel (beáramlás), építőanyag cseréje,
- új lakások esetében a megfelelő kialakítással (pince)

Mesterséges eredetű sugárterhelés

orvosi
alkalmazás

atomenergia
békés célú
alkalmazása



légtéri atomfegyver
kísérletek és nukleáris
balesetek

Alapelv: az alkalmazásból származó haszon > okozott kár

Mesterséges radioizotópok előállítása

Kiégett fűtőelemek reprocessálásával

Atomreaktorokban a fűtőelem hasadásakor nagy mennyiségű radioaktív anyag keletkezik. A radioaktív hasadási termékek a technológiai folyamat káros velejárói (kb. 300 izotóp). Ugyanakkor nagyon sok értékes radioizotóp van közöttük.

Neutron besugárzással

Nagyon intenzív neutron fluxus + hosszú idejű besugárzás. Új tömegszámú izotóp keletkezik.

Gyorsítóknál részecske-besugárzás által előidézett magreakciókkal

Részecskegyorsítóknál felgyorsított részecskékkel, vagy reaktorokban keletkezett neutronokkal izotóptermelés céljából szándékosan idéznek elő magreakciókat.

Mesterséges radioizotópok

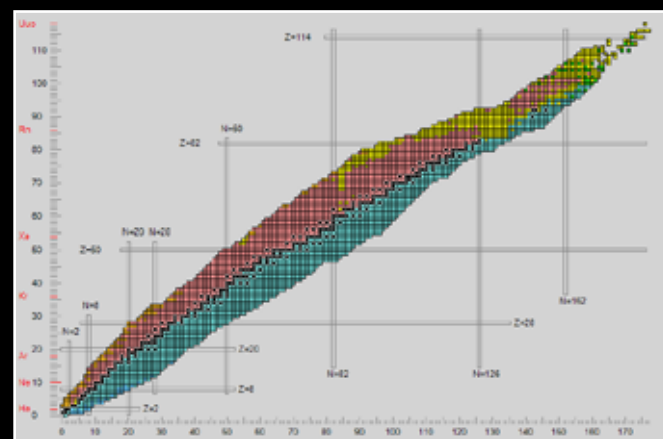
NYITOTT RADIOAKTÍV KÉSZÍTMÉNYEK

amelyeknél fennáll annak veszélye, hogy a radioaktív anyag a környezetet elszennyezi, vagy a szervezetbe kerülve belső sugárterhelést okoz

ZÁRT SUGÁRFORRÁSOK

a radioaktív anyag olyan módon van tokozva (γ -források), vagy hordozórétegen megkötve és lefedve (β - és α -források), hogy a felhasználni kívánt sugárzás a környezetbe ki tudjon lépni, ugyanakkor a radioaktív anyag környezetbe kerülése kizárható legyen

www.nucleonica.com



Orvosi eredetű sugárterhelés

RTG-felvételek (CT felvételek)

- 1 főre eső éves sugárterhelés súlyozott világátlagja **0,3 mSv**
- effektív dózis 0,03 – 8 mSv/alkalom

Izotópdiagnosztikai vizsgálatok

- 1 főre eső éves sugárterhelés világátlagja **0,03 mSv**

Izotópterápiás kezelések

- 1 főre jutó éves sugárterhelés világátlagja **0,002 mSv**
- beadott aktivitás néhány GBq/alkalom

Sugárterápia...

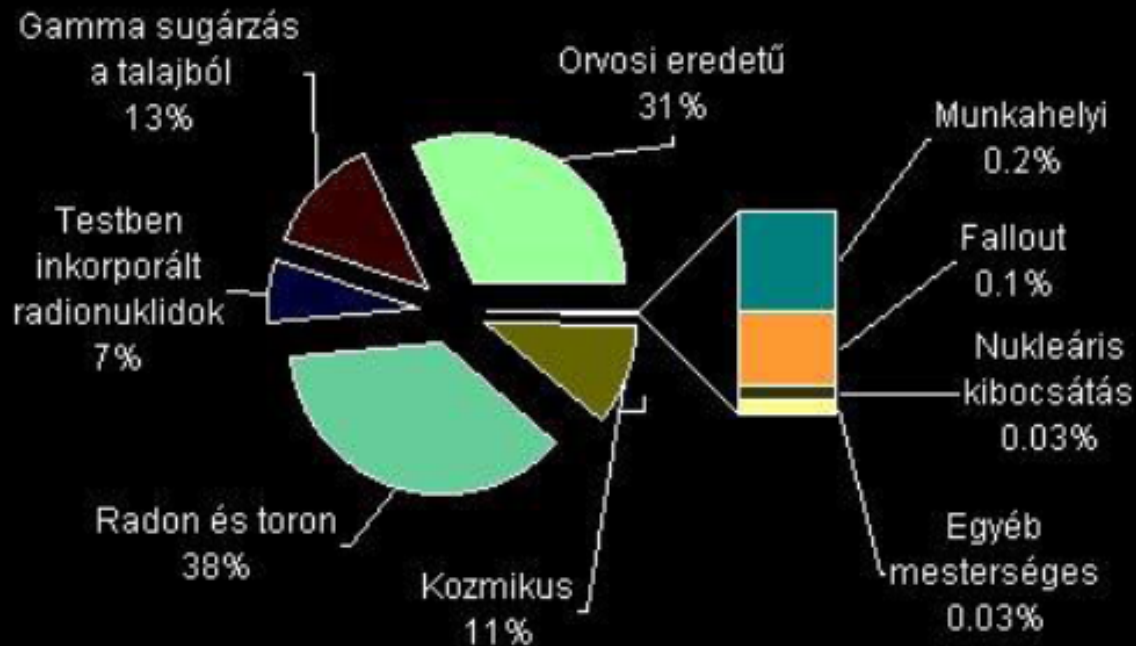
- **Nyitott** sugárforrás (pl.: I-131, Tc-99, PET)
- **Zárt** sugárforrás (pl.: Co-60, Ir-192)
- Hibrid technika (pl: PET-CT)

Páciensek sugárvédelme

- Dóziskorlátozás (16/2000. (VI.8.) EüM)
- Indokoltság biztosítása (100 %)
- Optimálás (<100 %)
- ALARA („As Low as Reasonably Achievable” = olyan alacsonyan, amennyire csak lehetséges)
- Irányadó dózisszintek
- Egyéni védőeszközök (pl.: ólom gumikötény)
- Idővédelem, távolságvédelem
- Berendezések korszerűsítése (pl. szűrők, rácso, képmegtartási, roadmap funkciók használata)

Orvosi eredetű sugárterhelések

Összes sugárterhelés: 3,5 mSv/év



Összes természetes: 2,4 mSv/év

Összes mesterséges: 1,1 mSv/év

Orvosi eredetű sugárterhelések

- Hordozható fogászati RTG:
0-2,88 $\mu\text{Sv}/\text{exp}$.



- Cone Beam CT (CBCT):
20-70 $\mu\text{Sv}/\text{exp}$

- CT, PET, sugter....

Orvosi sugárbalesetek

- Túlexpozíció

- Sugter.: kalibrációs hiba (Zaragoza 1990, Costa Rica 1996)



- California, USA 2008:

2 éves kisfiú, 68 min alatt 151 CT scan →
sugárégés (bőrpír)

Légekőri atombomba robbantások

- 1945 – 1980 között 520 légekőri atomfegyver kísérlet végrehajtása.
- Felrobbantott nukleáris szerkezetek összhatóereje: 500 MT TNT egyenértékű volt, a felszabadult aktivitás: $2,5 \times 10^{21}$ Bq.
- Fúziós kísérletekből felszabadult aktivitás: ${}^3\text{H}$ $2,4 \times 10^{20}$ Bq, ${}^{14}\text{C}$ $2,2 \times 10^{14}$ Bq.

Sugárterhelés formája: **külső** (talajfelszínre kiülepedett radionuklidok) és **belső** (lenyelés)

A globális kihullás következtében a népesség éves sugárterhelése **max. 0,01 mSv**.

Teljes dózislekötés: 3,7 mSv.

Atomenergia békés célú alkalmazása

Környezetterhelés módja:

- uránérc bányászata és feldolgozása
- fűtőelem gyártása
- folyékony és légnemű kibocsátás

A kibocsátott radioaktív anyagoktól származó többlet sugárterhelés közvetlenül nem mérhető, **csak modell számítások útján becsülhető**. A dózistöbblet **határértéke 50 μSv** . Becsült érték: **0,05-0,15 μSv**

- kis-, közepes-, nagy **aktivitású hulladék** elhelyezése
kis: $< 10^{10} \text{ Bq/m}^3$, közepes $10^{10} - 10^{14} \text{ Bq/m}^3$, nagy $> 10^{14} \text{ Bq/m}^3$

A lakosság mesterséges sugárterhelése

Besugárzási útvonal	Effektív dózis, $\mu\text{Sv}/\text{év}$
Külső sugárforrás:	
Talajfelszín (^{137}Cs)	4,8
Belső sugárforrás:	
Inhaláció (^{137}Cs)	0,002
Ivóvíz ($^3\text{H} + ^{137}\text{Cs}$)	0,065
Zöldség (^{137}Cs)	0,132
Gyümölcs (^{137}Cs)	0,072
Cereáliák (^{137}Cs)	0,166
Hús (^{137}Cs)	0,135
Tej-, tejtermék (^{137}Cs)	0,048
Belső sugárforrások összesen:	0,6
Mindösszesen:	5,4

Sugárvédelmi szabályozás

Sugárvédelmi alapelvek:

1. Indokoltság
2. Optimálás
3. Dóziskorlátozás (egésztest dózis):

Foglalkozási:

- 1 évben nem haladhatja meg az **50 mSv-et**
- 5 évre összesen maximum 100 mSv
- két egymást követő évben nem lehet 50-50 mSv

Lakossági:

- 1 évben nem haladhatja meg az **1 mSv-et**

További határértékek szervekre meghatározott egyenértékdózisok.

Sugárveszélyes munkahelyek azon **munkavállalója:**

- "**A**" **besorolású**, akinél fennáll a lehetősége annak, hogy az évi effektív dózis meghaladja a 6 mSv értéket, vagy a szervdózis a korlátok 3/10 részét → **személyi dozimetriai ellenőrzés** kötelező
- "**B**" **besorolású** minden egyéb munkavállaló

Sugárvédelmi szabályozás

Sugárveszélyes munkahelyek:

KIEMELT LÉTESÍTMÉNYEK

Atomerőmű, Kísérleti és tanreaktor, Radioaktív hulladéktemető, Kiegetett fűtőelem tároló, „A” szintű izotóplaboratórium

I. KATEGÓRIA. FOKOZOTTAN SUGÁRVESZÉLYES

Sugárterápia, Helyszíni ipari radiográfia, Ipari nagybesugárzó, „B” szintű izotóplaboratórium

II. KATEGÓRIA. KÖZEPESEN SUGÁRVESZÉLYES

RTG-diagnosztika, Laboratóriumi gamma radiográfia, Geofizikai mérés, Egyes ipari mérés technikai alkalmazás, „C” szintű izotóplaboratórium

III. KATEGÓRIA. MÉRSÉKELTEN SUGÁRVESZÉLYES

Fog-RTG, Csontsűrűség mérő, A legtöbb ipari mérés technikai alkalmazás, Finomszerkezet vizsgálat

Sugárvédelmi szabályozás

Intézkedés indokolt, ha a max. 2 nap alatt elnyelt dózis

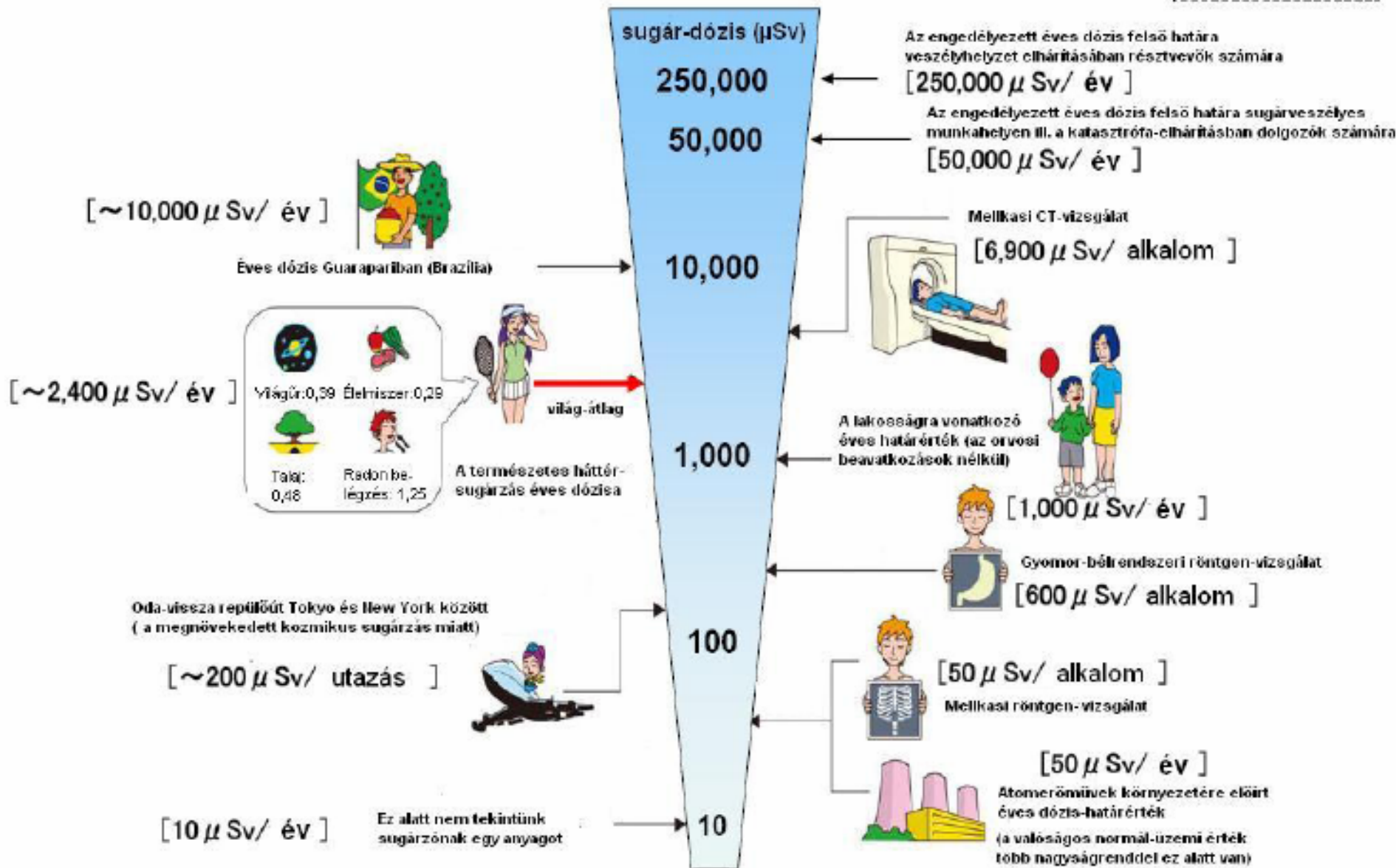
- egésztest, csontvelő > 1 Gy
- szemlencse > 2 Gy
- bőr, ivarmirigy > 3 Gy
- pajzsmirigy > 5 Gy
- tüdő > 6 Gy

Sugársérült:

- egésztest > 250 mSv (effektív dózis)
- bőr > 6 Gy (elnyelt dózis)
- szemlencse > 2 Gy (elnyelt dózis)
- egyéb > 3 Gy (elnyelt dózis)

Sugárzás a mindennapokban

Egység : μSv



Sugárbalesetek



Sugárbaleset:

- Minden olyan **váratlan** esemény vagy körülmény, amely **nem szándékos** túlexpozíciót vagy sugárszennyeződést eredményez.

Sugárbaleset = radiológiai baleset + nukleáris baleset

- **Sugaras vészhelyzet** a sugárbaleseten túl kialakulhat szándékos túlexpozíció miatt is (bűnügyi, illetve terrorista alkalmazások!)

Sugárbalesetek

Sugárbalesetek nagyon ritkán következnek be!

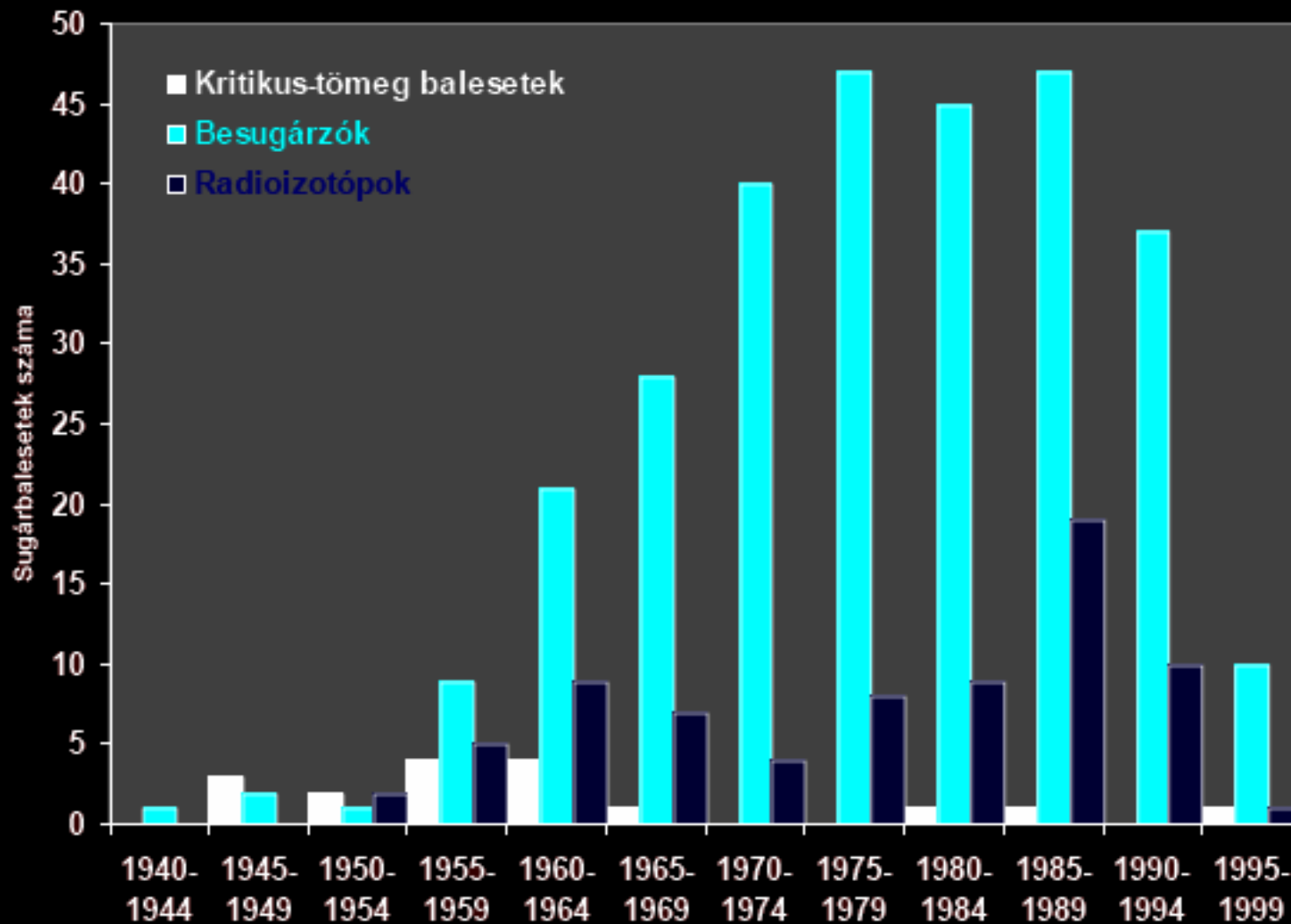
- 1944-2010 között **450** olyan sugárbaleset regisztráltak a világon, amely legalább egy személy jelentős* sugárexpozícióját okozta

- A mintegy 3400 baleseti sugárexpozíciót kapott személy közül **1500 főnél akut sugársérülést**, köztük **144 akut halálesetet** jegyeztek fel.

(www.johnstonsarchive.net/nuclear/radeventdata)

* >0.25 Gy ET-, >6 Gy bőr-, >0.75 Gy szervdózis, $>2x$ ÉFEK,
 $>\pm 10\%$ eltérés az előírt sugárterápiás dózistól

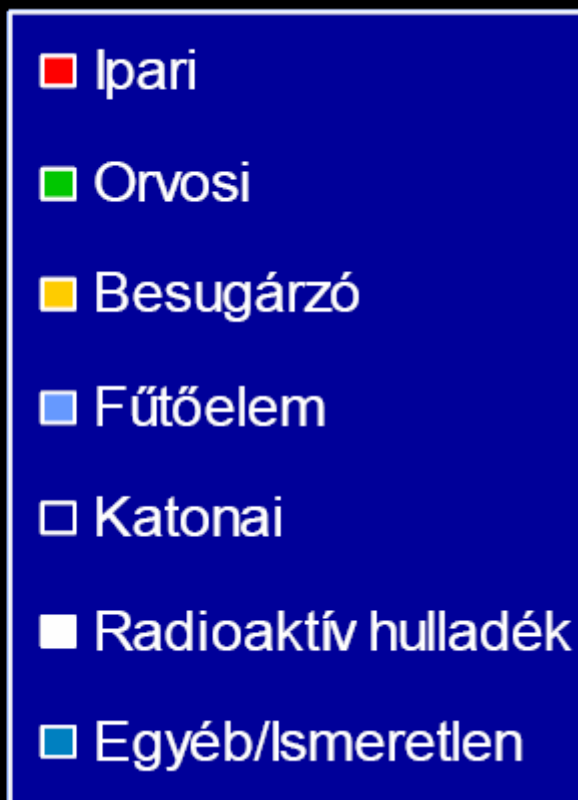
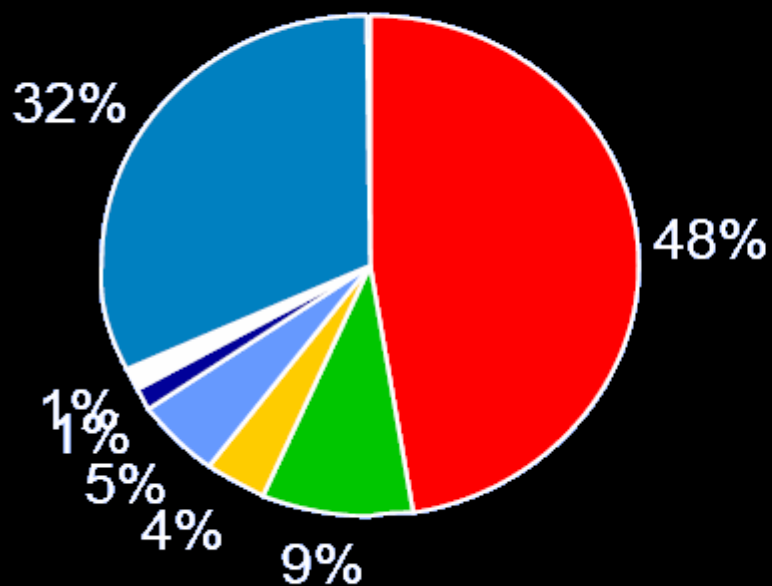
Sugárbalesetek megoszlása a sugárforrás típusa szerint



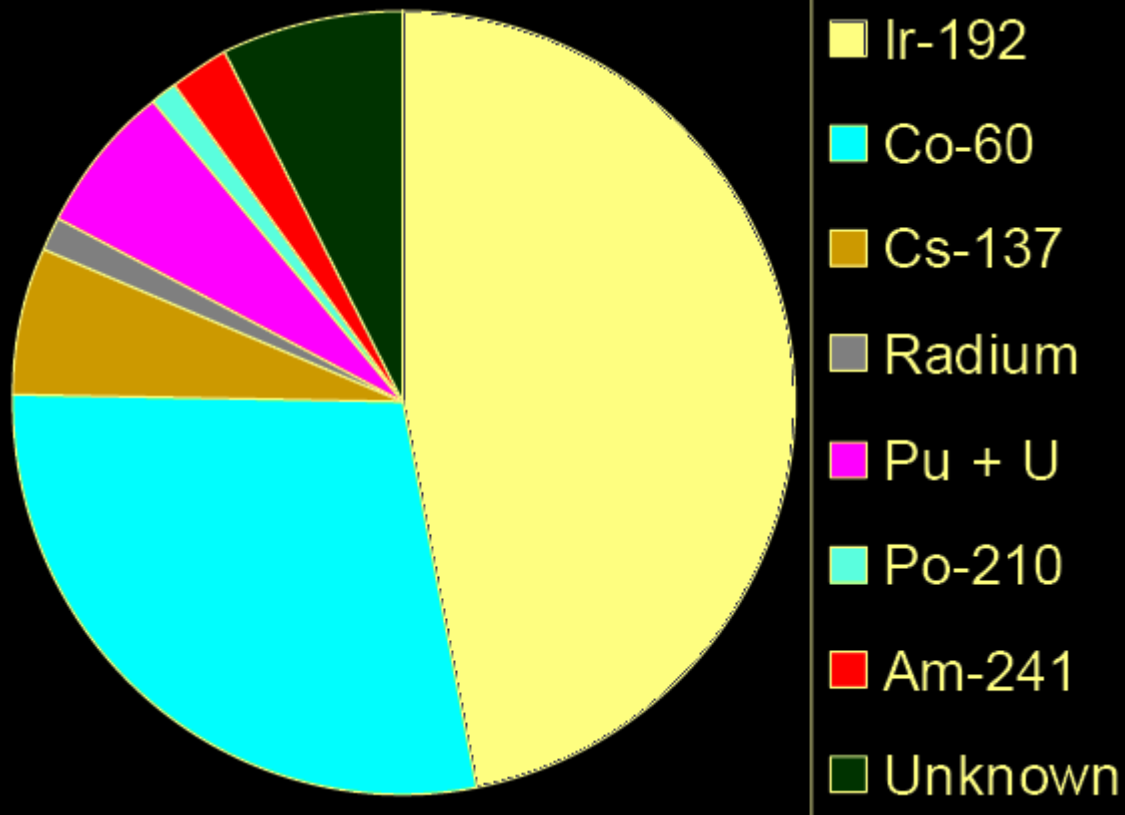
Súlyos sugárbaesetek következményei

	(persons)	(deaths)
	137	15
Panama - 2001 - radiotherapy	(28)	(7)
Poland, Bialystok – 2001 – radiotherapy	(5)	(0)
Georgia (Lia) – 2001 – ⁹⁰Sr –	(3)	(1)
Bolivia - 2002 – transport - ¹⁹²Ir	(59)	(0)
Chile – 2005 – ¹⁹²Ir	(4)	(0)
Venezuela – 2005 – ¹³⁷Cs	(3)	(0)
Venezuela – 2006 – transport - ⁶⁰Co	(3)	(0)
Belgium, Fleurus – 2006 - ⁶⁰Co	(1)	(0)
UK, London – 2006 – ²¹⁰Po	(1)	(1)
Dakar (Senegal), Abidjan (Ivory Coast), 2006 – ¹⁹²Ir	(4)	(0)
Ecuador – 2009 - ¹⁹²Ir	(1)	(0)
India, New Delhi – 2010 - ⁶⁰Co sources	(7 ?)	(1)
Venezuela – 2010- ¹⁹²Ir	(3)	(0)
Fukushima – 2011 - szökőár	(?)	(8 ?)

Sugárbalesetek megoszlása



Baleseti sugárforrások



Sugárbalesetek főbb típusa

Munkavégzés során bekövetkezett balesetek – **dolgozók túlexpozíciója**

- radiográfia
- besugárzók (zárt sugárforrások és gyorsítók)

A sugárforrások feletti ellenőrzés elvesztése –
a lakosság túlexpozíciója

- talált „kallódó”, illetve illetéktelenül birtokolt sugárforrások (Casablanca, Marokkó, 1984 – 8 halott)

Orvosi alkalmazás során bekövetkezett balesetek - **betegek túl- vagy alulexpozíciója**

- Radiofarmakonok nem megfelelő alkalmazása
- A sugárterápiás dózis téves meghatározása

Irán: korai erythema 5 és 11 nap múltán a 1,5h-ra a felső köpenyzsebbe tett Ir-192-től

18



Early erythema in the frontal and antelateral right side of the chest 5 days after the exposure to an iridium-192 source (185 GBq, 5 Ci) mounted in a pen-size source holder for industrial radiography which was placed to the pocket of the worker's overall and kept there for about two hours.



Early erythema 11 days after exposure.



15^d: korai
epidermális nekrozis



15^{month}: fibrotizált
graft →
kényszertartás,
könyök
kontraktúrája

A sugárbaesetek következményei

Egészségügyi: sérüléstípusok, heveny – krónikus,
korai – késői hatások

Pszichológiai: egyéni, családi/munkatársi, közösségi

Környezeti: levegő, víz, talaj szennyeződés, radioaktív
hulladékkezelés, kihatás a táplálékláncre

Gazdasági: kár, import/export korlátozás,
balesetelhárítási költségek

Jogi: irányító szervekre kifejtett hatás,
károk és jogorvoslati költségek,
orvosi/jogi bizonytalanságok



A sugárbalesetek típusai, teendők

Zárt (külső) sugárforrástól származó túlexpozíció :

- Közepes és nagy dózisok esetén:

heveny sugárbetegség (ARS) – helyi sugársérülés

A sugársérülés **önmagában** nem indokolja a sürgősségi beavatkozást
– kiv. súlyos kombinált sugársérülés, életveszélyes állapot, súlyos trauma, égési sérülés!

Életmentő beavatkozás túlexpozíciónak kitett és/vagy sugárszennyezett balesetesen: feltétel nélkül, azonnal!

← **A sugársérültek nem radioaktívak**, esetleges sugárszennyezettségük más személyekre ártalmat nem jelent!

- Kisdózisú sugárexpozíció:

szubklinikai sérülés – sztoch. kockázat – éves megfigy.

A sugárbalesetek típusai, teendők

Nyitott sugárforrás (az esetek 20%-ában)

Sugárzó anyagok környezetbe kerülése →

- külső, és/vagy
- belső radioizotópos elszennyeződés.

A sugárszennyeződés szétterjedésének megakadályozására speciális **mentesítési** (dekontaminálási) intézkedések szükségesek!

OSSKI Módszertani Útmutató, 2006:

<http://www.osski.hu/kiadvanyok/kiadvanyok.html>

- Bőrfelszín, szemek, sebek dekontaminálása!
- A szervezetbe került radioizotópok eltávolítása!

Az akut sugárbetegség (ASB)

A sugársérült szervezetben szakaszokban kifejlődő tünetegyüttesek olyan kombinációja, melyben a betegség klinikai megjelenési formáját és lefolyását döntően a domináló szöveti, szervi, illetve szervrendszeri károsodások határozzák meg.

Homogén vagy kvázi-homogén egésztest- besugárzás:

- vérképzőszervi
- gyomor-bélrendszeri
- központi idegrendszeri

Inhomogén egésztest vagy testtájék besugárzás:

- száj-garat
- tüdő
- szív-érrendszeri
- részleges gyomor-bél- rendszeri

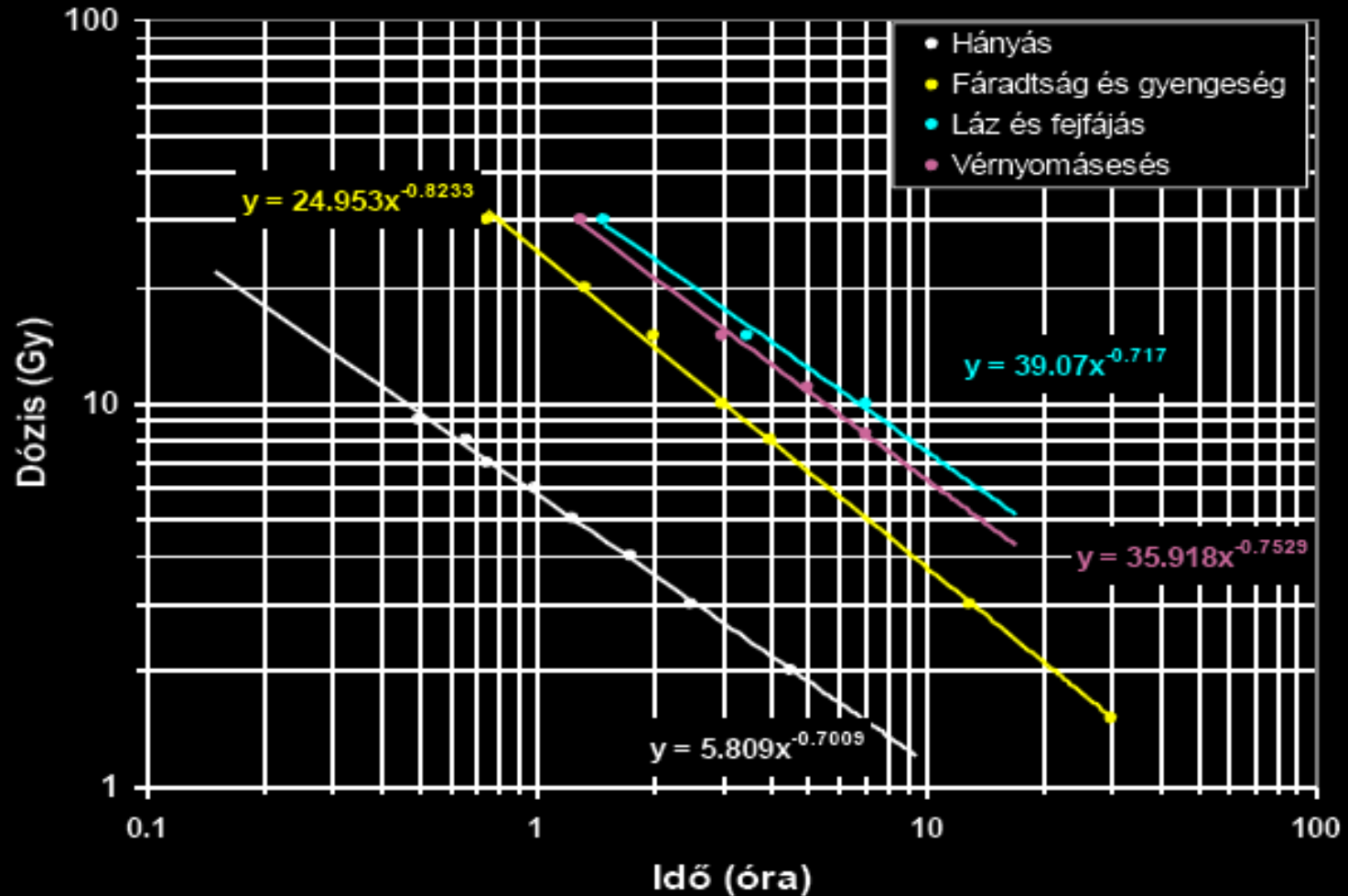
Dózis-hatás emberben

0.15 - 0.2 Gy	● Citogenetikai küszöbdózis
> 0.5 Gy	● Vérsejtszám csökkenés küszöbdózisa
> 0.8 Gy	● Az akut sugárbetegség küszöbdózisa
0.8 - 2 Gy	● Enyhe (I. fokú) akut sugárbetegség
~ 2 Gy	● LD1/60 (Halálozási küszöbdózis)
2 - 4 Gy	● Közepesúlyos (II. fokú) ASB
3,5 – 4,5 Gy	● LD50/60
4 - 6 Gy	● Súlyos (III. fokú) ASB
> 6 Gy	● Rendkívül súlyos (IV. fokú) ASB
~ 7 Gy	● LD99/60 (minimális abszolút letális dózis)

Az ASB klinikai lefolyása



Dózisbecslés a prodromális tünetek fellépési ideje alapján (+ egyéb biodozimetria...)



Lokális sugársérülések

TESTRÉSZ	DÓZIS (Gy)	DOMINÁLÓ SZÖVETKÁROSODÁS	KEZELÉS
Kéz	> 5-től néhány százig	1-5 hét: gyulladással jelenségek, heveny elhalás 3-4 hónap : kiserek károsodása, vizenyő 6-10 hónap: osteoporosis, arthrosclerosis atrophia, necrosis	Konzervatív és/vagy Sebészi
Comb- és fartájék	➤ 5-30 ➤ 30-50 > 100	Kezdetben kis kiterjedésű bőrreakciók Szklerotizáló izomnekrózis Korai izomnekrózis	Többnyire sebészi
Gát-tájék	> 0,2 3,5-6	Férfiaknál átmeneti sterilitás Végleges sterilitás	

Lokális sugársérülések

TESTRÉSZ	DÓZIS (Gy)	DOMINÁLÓ SZÖVETKÁROSODÁS	KEZELÉS
Has	> 10	Nem generalizált GI-szindróma (fájdalom, hasmenés, később penetráló bélfekély)	Sebészi (bélresectio)
Mellkas	> 8-10 > 10-15 > 6 - 8 > 20-30 > 8 - 10	Szívizom nekrozis (2-3 hónap) Pericarditis (1-2 év) Pneumonitis (1-2 hónap) (kétoldali tüdő-besugárzás) Tüdőfibrozis (1-2 év) (részleges tüdőbesugárzás) nyelőcső (10 - 15 nap)	Konzervatív Sebészi, Tüneti
Fej	0.5-2 > 5 >50-100	Szürkehályog küszöbdózis, Obligát katarakta, nagy dózisok esetén glaukoma KIR - szindróma	Sebészi Tüneti

A szövetkárosodás kórfejlődése (Ir-192, Yanango, Peru, 1999.)

18

2^d



10^d



15^d



20^d

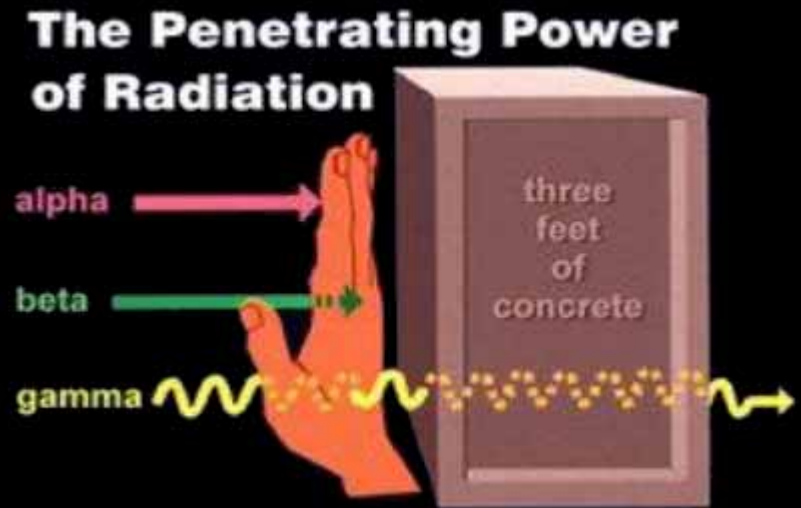


A klinikai következményeket meghatározó tényezők

A sérülés mélységi kiterjedése (súlyossága: I - II - III fokú)

A sugárexpozíció:

- sug. típusa (LET)
- E, elnyelt D, D-telj., frakcionálás
- szórt sug.



- A sérülés felszíni kiterjedése (a testfelszín %-a)

- Az érintett szövetek felépítése és sugárérzékenysége

Köszönöm a figyelmet!