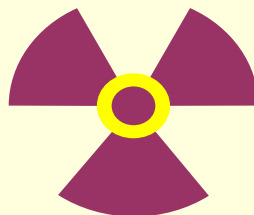


Ionizáló sugárzások dozimetriája



Ionizáló sugárzások



Ionizáló sugárzások

csoportosításuk a kiváltott hatás alapján.

Közvetlenül (direkt) ionizáló

A sugárzással töltések lépnek a közegbe, a sugárzást alkotó részecskék hozzák létre a töltéseket.

Pl. α -és β -sugárzás.



Közvetve (indirekt) ionizáló

A sugárzás fotonjai által keltett elektronok hozzák létre a töltéseket Pl. γ -sugárzás, röntgen.



A dozimetria feladata

Az egészségügyi kockázat becslése megelőzés céljából.

Az egészségkárosodás felmérése.

A terápiás folyamat tervezése.

*Megfelelő
mennyiségek
megfogalmazása*

Méréstechnika

Kockázatbecslés

1. Mennyiségek, azaz dózisok

- Legyen a károsodás, hatás mértékére jellemző sugármennyiség!
- Legyen arányos a károsodás mértékével, kockázatával!
- Legyen additív!
- Lehetőleg ne függjön más tényezőtől!

Dózisfogalmak

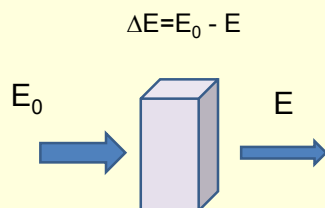
Fizikai dózisok:
elnyelt dózis,
besugárzási dózis

Biológiai dózisok:
egyenértékdózis,
effektív dózis

Származtatott dózisok:
kollektív dózisok,
dózisteljesítmény

Fizikai dózisok

1. Elnyelt dózis



Egységnyi tömegben elnyelt energia

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} [J / kg]$$

Érvényesség: minden abszorbeáló anyagra és mindenfajta sugárzásra.

Mértékegység: $[J / kg] \equiv Gy$

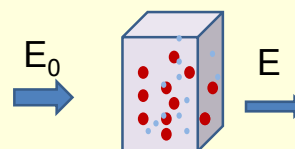
Mérés ????



Louis Harold Gray
(1905-1965).

Fizikai dózisok

2. Besugárzási dózis



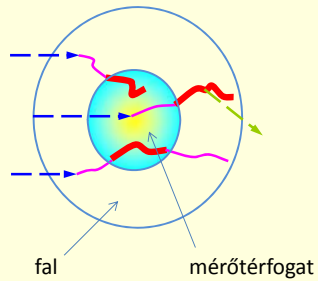
Egységnyi tömegű levegőben keltett pozitív, vagy negatív töltések mennyisége.

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} [C / kg]$$

Érvényesség: levegőben, csak γ - és rtg.-sugárzásra, elektron-egyensúly* esetében.

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} [C / kg]$$

ΔQ – szekunder elektronok!!



Elektron-egyensúly : A határfelületen átlépő szekunder elektronok nettó mennyisége nulla.

Befolyásolja:

- a környezet (a kamra falának) anyaga – **levegőekvivalens**
- a kamra falának vastagsága
- a foton energiája

$$E < 0.6 \text{ MeV}$$

Az elnyelt dózis és a besugárzási dózis kapcsolata

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} [C / kg]$$

$$D_{lev} = f_0 X \quad D = \frac{\Delta E}{\Delta m} [J / kg]$$

$$\sim 34 \text{ J/C}$$

Levegőben az átlagos ionizációs energia
 $\sim 34 \text{ eV}$.

A szövetben elnyelt dózis

$$\frac{\Delta E}{\Delta m} \approx \mu_m \cdot J$$

$$D_{lev} = \frac{\Delta E}{\Delta m} [J / kg]$$

$$\frac{D_{lev}}{D_{szövet}} = \frac{\mu_{m,levegő}}{\mu_{m,szövet}}$$

Fotonenergia (MeV)	$\mu_{m,lev.}/\mu_{m,szövet}$ (lágyszövetek)	$\mu_{m,lev.}/\mu_{m,szövet}$ (csont)
0,1	1,07	3,54
0,2	1,08	2,04
0,4	1,10	1,24

A szövetben elnyelt dózis

$$E > 0.6 \text{ MeV}$$

$$\frac{D_{lev}}{D_{szövet}} = \frac{s_{m,levegő}}{s_{m,szövet}}$$

Elektron energia (MeV)	$s_{m,szén}/s_{m,lev.}$
1.0	0.985
3.0	0.946

s: tömegfékezőképesség (LET)

Biológiai dózisok

Az elnyelt energia (abszorbeált dózis) nem jellemzi egyértelműen a biológiai következmények mértékét.

A biológiai hatás mértéke függ:

A sugárzás fajtájától.



Sugárzásra jellemző korrekciós faktor

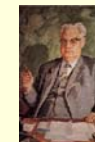
A hatást elszenvedő biológiai objektum érzékenységétől, biológiai funkciójától



Elnyelő szövetre jellemző korrekciós faktor

Dózisegyenérték (H)

Rolf Sievert
1896-1966



A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

$$H_T = w_R D_T$$

Sugárzás hatékonyságára jellemző **sugárzási súlytényező**

szövetben elnyelt dózis

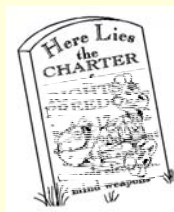
H mértékegysége: **Sievert (Sv)**

sugárzás	w_R
foton	1
elektron	1
neutron	5-20
proton	5
α -sugárzás	20

Miért hal meg az egyik nyuszi, míg a másik...

2 Gy elnyelt dózis - röntgen

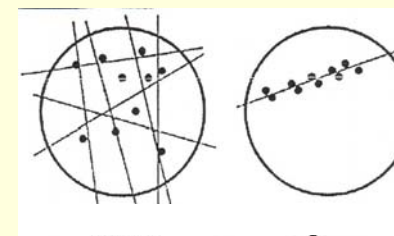
2 Gy elnyelt dózis - α -sugárzás



Dózisegyenérték (H)

A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

$$H_T = w_R D_T$$

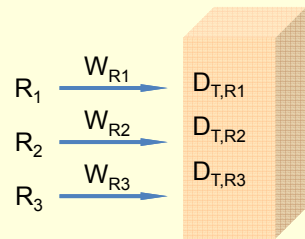


Alacsony LET
Pl. γ , rtg

Magas LET
pl. α , proton

sugárzás	w_R
foton	1
elektron	1
neutron	5-20
proton	5
α -sugárzás	20

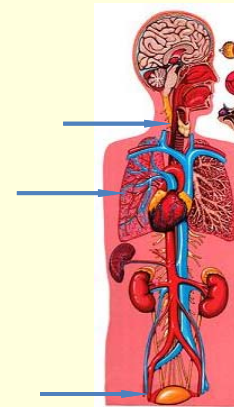
Többféle egyidejű sugárzás esetén az egyes sugárzások elnyelt dózisa súlyozottan adódnak össze.



$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

Effektív dózis (E)

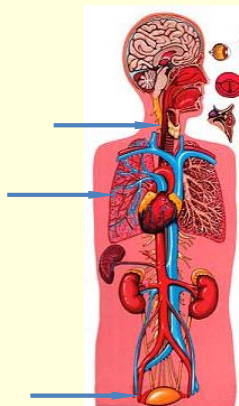
A szövetek eltérő érzékenységét megfelelő súlyozással vehetjük figyelembe.



$$E = \sum_T w_T H_T$$

E mértékegysége: **Sievert (Sv)**

$$E = \sum_T w_T H_T$$



szövet	w_T	szövet	w_T
gonádok	0,2	emlő	0,05
vörös csontvelő	0,12	máj	0,05
vastagbél	0,12	nyelőcső	0,05
tüdő	0,12	pajzsmirigy	0,05
gyomor	0,12	bőr	0,01
hugyhólyag	0,05	csontfelszín	0,01

$$\sum_T w_T = 1$$

Dózisteljesítmény

Egységnyi idő alatt elszenvedett dózis.

Mértékegysége változatos, a dózistól és az időtartamtól függ (pl. Gy/hónap, mSv/év stb.)

Kollektív dózisok

Az emberek egy meghatározott csoportjában, meghatározott időre vonatkozóan összegzett dózismennyiségek.

Kollektív dózisok

Az emberek egy meghatározott csoportjában, meghatározott időre vonatkozóan összegzett dózismennyiségek.

$$S = \sum_i N_i E_i$$

N_i személy

E_i effektív dózist

Ionizáló sugárzások elnyelődésének következményei

1. Fizikai történések

Direkt vagy indirekt ionizáció

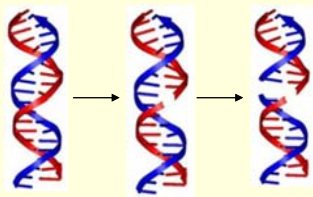
2. Kémiai reakciók

Direkt vagy indirekt sugárhatás

Direkt sugárhatás

Közvetlenül a biológiai szempontból fontos molekulában létrejövő sérülés.

Legfontosabb a **DNS károsodása!**



egyszeres
lánc-törés



kromoszómatörés

Indirekt sugárhatás

Reaktív ionok (pl. OH^-) és gyökök (pl. $\cdot\text{OH}$)
keletkezése elsősorban vízből.
(Az emberi test kb. 65-70%-a víz)



Általuk kiváltott kémiai reakciók a
makromolekulákban vagy
membránszerkezetekben.

1. Biológiai következmények

Makromolekulák, sejtalkotók károsodása.

Sejtek pusztulása, szervek működésképtelensége.

Súlyos egészségkárosodás, halál.

A különböző események az időskálán

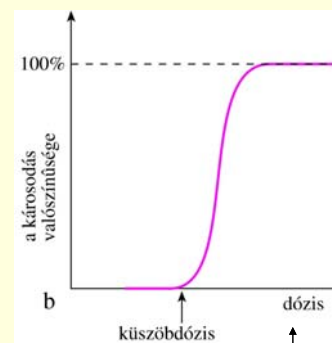
Fizikai	$10^{-20} - 10^{-8}$ s	Ionizáció, gerjesztés
Kémiai	$10^{-18} - 10^{-9}$ s	Direkt/indirekt kémiai reakciók
	$10^{-3} -$ néhány óra	Sérülések reparációja
Korai biológiai	órák – hetek	Setdestrukció, az egyed halála
Késői biológiai	évek	Daganatok, genetikai elváltozások

Sugárhatások típusai

Determinisztikus hatás

Stochasztikus hatás

Determinisztikus hatás



Gy

Küszöbdózis: alatta nem lép fel.

Determinisztikus hatás

Küszöbdózis fölött a károsodás mértéke arányos a dózissal.

Rövid idővel a hatás után megjelenik.

Diagnosztikai eljárások kapcsán nem várható.

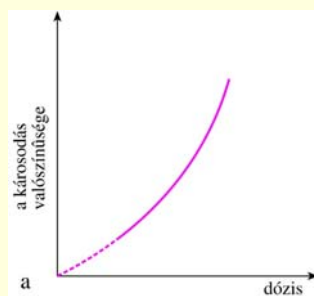
Pl. eritéma, hajhullás, katarakta

*1% halálozás 60 nappal az esemény után

Dózis (Gy)	Biológiai hatás
0,15-0,2	A kimutatható sugársérülés küszöbdózisa.
0,5	Hematológiai módszerekkel kimutathatóság határa.
0,8	Az akut sugárbetegség küszöbdózisa
2,0	Minimális halálos dózis (LD1/60)*
4,0	Félhalálos dózis (LD50/60)
7,0	Minimális abszolút letális dózis LD99/60.

Mellkasi röntgenfelvétel: kb. 160 μ Gy a bőrben

Stochasztikus hatás



Nincs küszöbdózis.

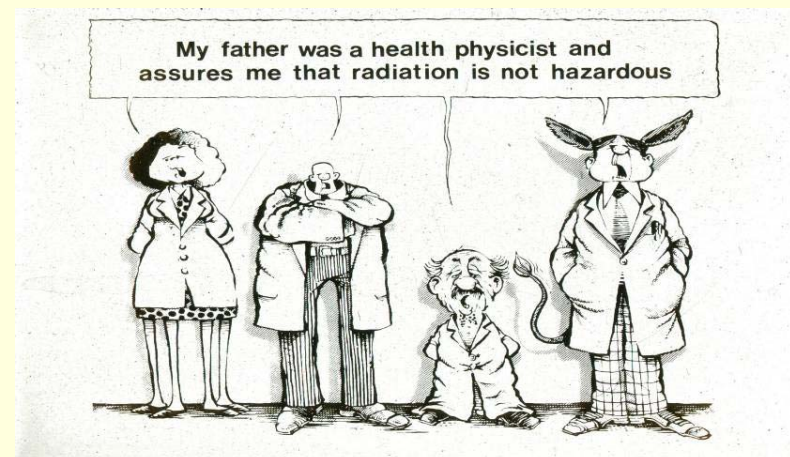
A károsodás bekövetkeztének **valószínűsége függ** a dózistól.

A károsodás bekövetkeztének **mértéke/súlyossága nem függ** a dózistól.

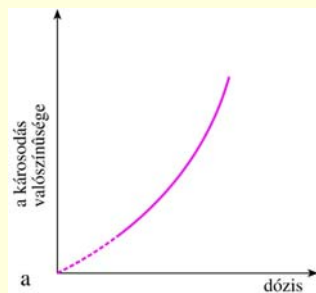
A károsodás megjelenése időben elhúzódó is lehet.

Pl. daganatok, magzati fejlődési rendellenességek

Apám egy egészséges fizikus volt, és biztosított arról hogy a sugárzás nem veszélyes



Stochasztikus hatás



Az *egyenérték* ill. *effektív* dózis alapján **becsülhetjük** a stochasztikus sérülések **valószínűségét**.

Ezek tartománya a determinisztikus sérülések küszöbdózisai alatt van.

Sv

vizsgálat

becsült effektív dózis
mSv

vizsgálat	becsült effektív dózis mSv
Mellkasi átvilágítás	0,04
Mellkasi CT	7,8
Koponya CT	1,8
Hasi átvilágítás	1,2
Hasi CT	7,6
Háti gerinc átvilágítás	1,0
Ágyéki gerinc átvilágítás	2,1
Vastagbél kontrasztanyag vizsgálata	8,7

Sugárterápia

Determinisztikus hatások **kiváltása**. (pl. Daganatsejtek elpusztítása.) Stochasztikus mellékhatások lehetnek.

Sugárvédelem

Determinisztikus hatások **kizárása**.
Stochasztikus mellékhatások valószínűségének csökkentése.

A becsült átlagos évi dózis természetes és mesterséges forrásokból 3.6 mSv.

környezeti



foglalkozási

katonai

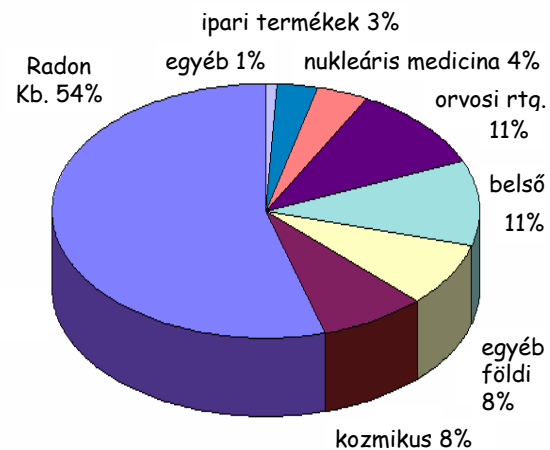


orvosi

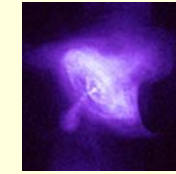


nukleáris ipari

A terhelés megoszlása a források között



Környezeti források



kozmosz sugárzás:
~ 0,4 mSv/év

radon: kb. 1,8 mSv/év



kálium: néhány tized mSv

Kockázati tényezők összehasonlítása

a várható átlagos élettartam csökkenése napokban

házastárs nélküli élet (férfiaknak)	3500
dohányzás (1 csomag naponta)	2250
házastárs nélküli élet (nőknek)	1600
szénbányász munkakör	1100
25% túlsúly	777
alkoholizmus	365
építőmunklás munkakör	227
közlekedés motorkerékpárral	207
1 mSv/év effektív dózis 70 éven át	10
kávézás	6

Orvosi tevékenység

Minden alkalmazás sugárterheléssel jár!

*A várható előny és a kockázat
mérlegelése fontos!*

Foglalkozással összefüggő

A dózist olyan alacsonyra csökkenteni, hogy a kockázat mértéke „elfogadható” legyen.

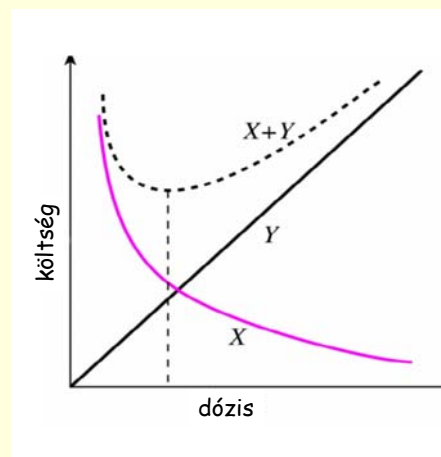


Teljes sugárvédelem nincs!

Sugárvédelmi szabályok dóziskorlátokat írnak elő.

ALARA-elv

As Low As Reasonably Achievable



X : sugárvédelmi kiadások

Y : sugárkárosodás kezelésének költségei

Optimum a minimum

Foglalkozással összefüggő



Sugárvédelmi dóziskorlátok

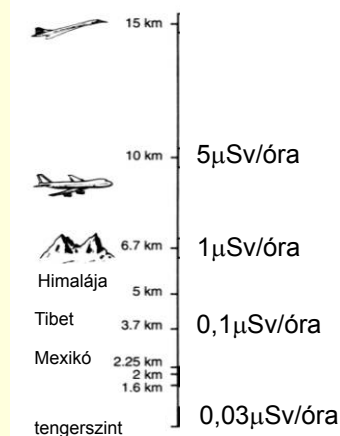
	Foglalkozási (mSv/év)	Lakossági (mSv/év)
Effektív dózis	20 *	1
Egyenérték-dózis (szemlencse)	150	15
Egyenérték-dózis (végtag/bőr)	500	50



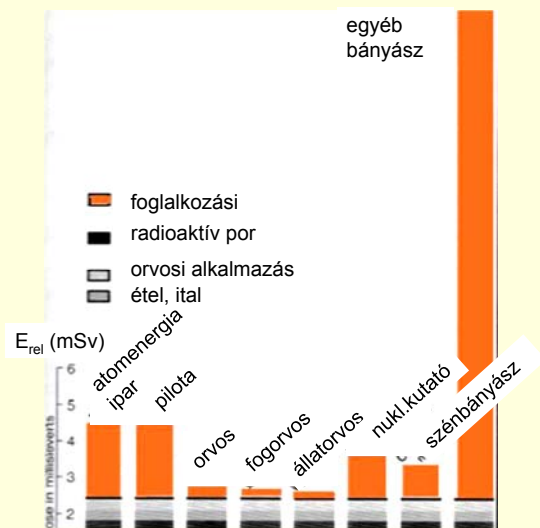
* 5 éves átlagban évi 20 mSv, feltéve, hogy egy évben sem haladja meg az 50 mSv-et.



A kozmikus sugárzásból származó
dózteljesítmény változása a
tengerszint feletti magassággal



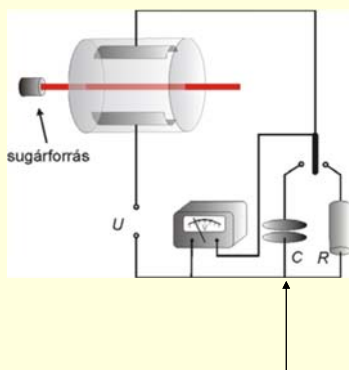
Különböző foglalkozásokkal járó relatív dózisterhelés



Dozismérés

fizikai jel változása ~ elnyelt dózis

Ionizációs kamra



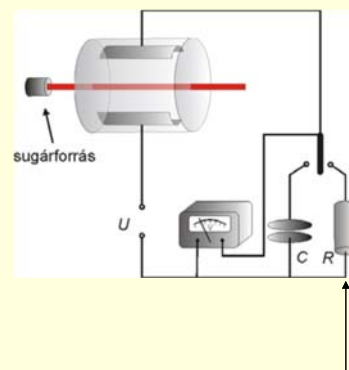
Dózismérés: a kondenzátoron felhalmozódik a keletkezett töltés.

A kondenzátor feszültsége a dózissal arányos.

$$U = \frac{Q}{C}$$

Mérés a kondenzátoron keresztül

Ionizációs kamra



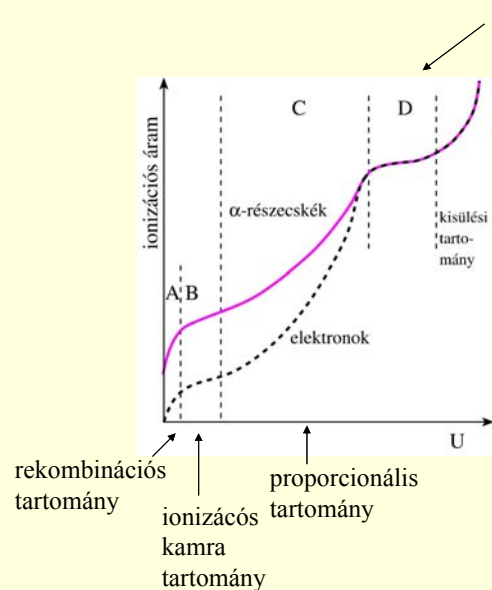
Dózisteljesítmény mérése: az időegység alatt keletkezett töltés mennyisége = áramerősség.

Az ellenálláson mért feszültség a dózisteljesítménnyel arányos.

$$U = \frac{QR}{t}$$

Mérés az ellenálláson keresztül

Ionizációs kamra



A feszültség és az
ionizációk számának
kapcsolata

Egyéni dózismérő eszközök

Filmдозимéter



A feketedés mértéke függ a
sugárzás fajtájától,
energiájától, az abszorbens
vastagságától, anyagától..

A fotófilm megfeketedésén alapuló eszközök.

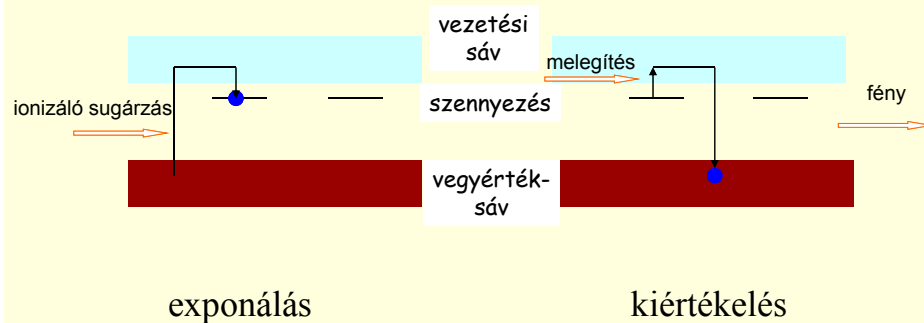
A feketedési rajzolat alapján értékelhető.

Egyéni dózismérő eszközök

Termolumineszcens dózismérő



Jellegzetes sávszerkezetű anyagok



Dózisszámolás

Csak a γ -sugárzással kapcsolatos dózist
veszi figyelembe

$$D_{lev} = K_{\gamma} \frac{\Lambda t}{r^2}$$

Λ : a forrás aktivitása

t : az expozíció ideje

r : forrástól mért távolság

K_{γ} : dóziskonstans
izotópra jellemző arányossági tényező

Kapcsolódó fejezetek:

Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika

II. 4.

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

4.6

keretes: 184. 186.