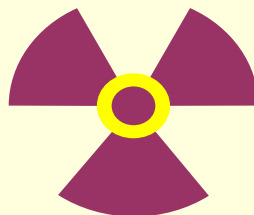


# *Ionizáló sugárzások dozimetriája*



## *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.  $\alpha$ -és  $\beta$ -sugárzás.



### *Közvetve (indirekt) ionizáló*

A sugárzás fotonjai által keltett elektronok hozzák létre a töltéseket Pl.  $\gamma$ -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

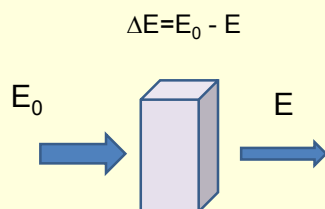
**Fizikai dózisok:**  
elnyelt dózis,  
besugárzási dózis

**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:  $[J / kg] \equiv Gy$

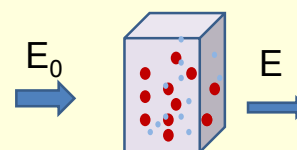
Mérés ????



Louis Harold Gray  
(1905-1965).

### Fizikai dózisok

#### 2. Besugárzási dózis



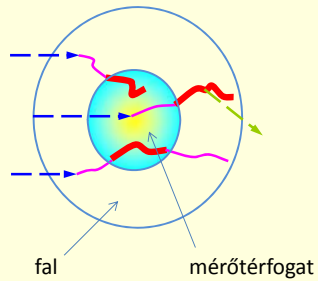
Egységnyi tömegű levegőben keltett pozitív, vagy negatív töltések mennyisége.

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

Érvényesség: levegőben, csak  $\gamma$ - és rtg.-sugárzásra, elektron-egyensúly\* esetében.

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

$\Delta Q$  – 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)

A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

$$H_T = w_R D_T$$

Sugárzás hatékonyságára jellemző **sugárzási súlytényező**

szövetben elnyelt dózis

**H** mértékegysége: **Sievert (Sv)**

Rolf Sievert  
1896-1966

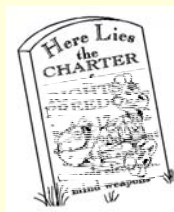


sugárzás	$w_R$
foton	1
elektron	1
neutron	5-20
proton	5
$\alpha$ -sugárzás	20

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

2 Gy elnyelt dózis - röntgen

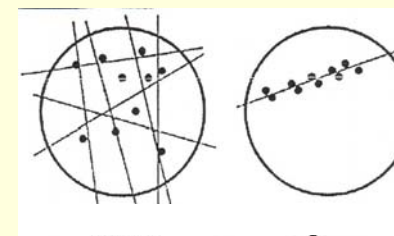
2 Gy elnyelt dózis -  $\alpha$ -sugárzás



## Dózisegyenérték (H)

A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

$$H_T = w_R D_T$$

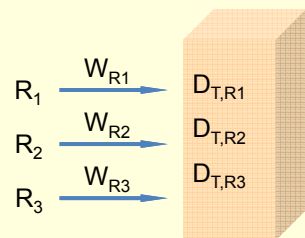


Alacsony LET  
Pl.  $\gamma$ , rtg

Magas LET  
pl.  $\alpha$ , proton

sugárzás	$w_R$
foton	1
elektron	1
neutron	5-20
proton	5
$\alpha$ -sugárzás	20

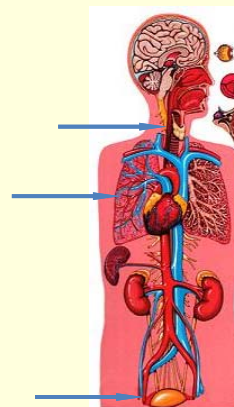
Többféle egyidejű sugárzás esetén az egyes sugárzások elnyelt dózisa súlyozottan adódnak össze.



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

## Effektív dózis (E)

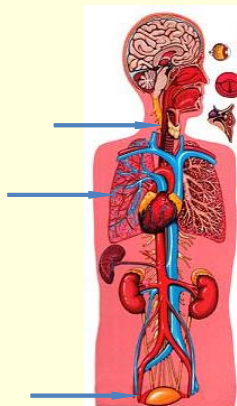
A szövetek eltérő érzékenységét megfelelő súlyozással vehetjük figyelembe.



$$E = \sum_T w_T H_T$$

$E$  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

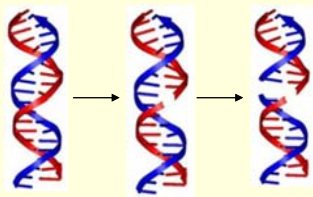
### 2. Kémiai reakciók

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.  $\text{OH}^-$ ) 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.

### 3. Biológiai következmények

Makromolekulák, sejtalkotók károsodása.

Sejtek pusztulása, szervek működésképtelensége.

Súlyos egészségkárosodás, halál.

### A különböző események az időskálán

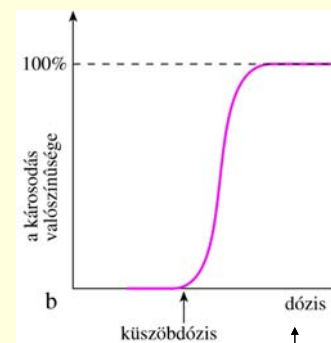
Fizikai	$10^{-20} - 10^{-8}$ s	Ionizáció, gerjesztés
Kémiai	$10^{-18} - 10^{-9}$ s	Direkt/indirekt kémiai reakciók
	$10^{-3}$ s – néhány óra	Sérülések reparációja
Korai biológiai	órák – hetek	Sejtdestrukció, az egyed halála
Késői biológiai	évek	Daganatok, genetikai elváltozások

### 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.

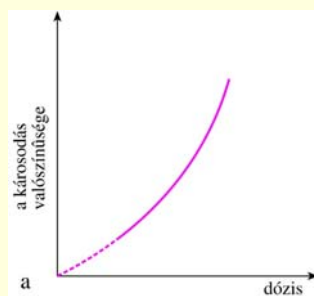
Pl. eritéma, hajhullás, katarakta

\*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  $\mu$ Gy a bőrben

## Stochasztikus hatás



Nincs küszöbdózis.

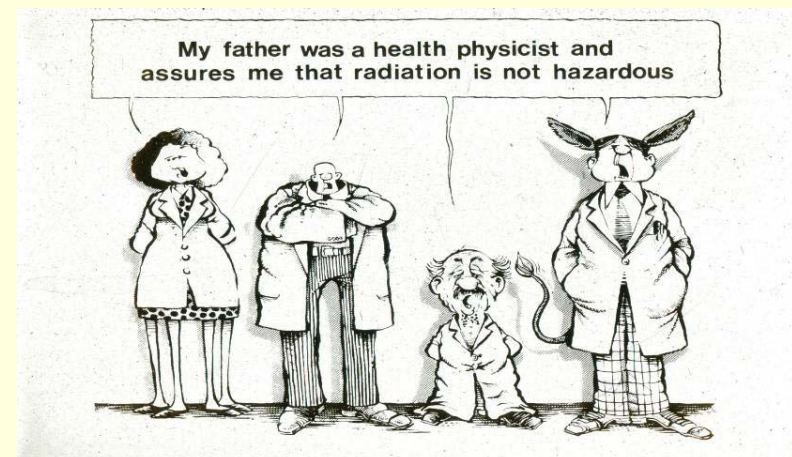
A károsodás bekövetkeztének **valószínűsége függ** a dózistól.

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

A károsodás megjelenése időben elhúzódó is lehet.

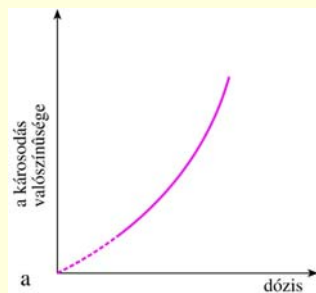
Pl. daganatok, magzati fejlődési rendellenességek

**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.

Kapcsolódó fejezetek:

*Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika*

II. 4.

4.1  
4.2  
4.3  
4.4  
4.5  
4.6

keretes: 184. 186.