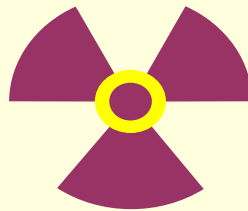
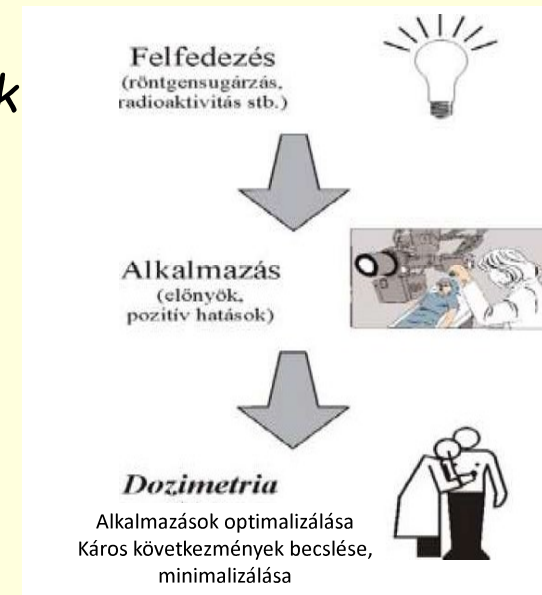


# Ionizáló sugárzások dozimetriája



## 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 tényezőktől! ?

## Dózisfogalmak

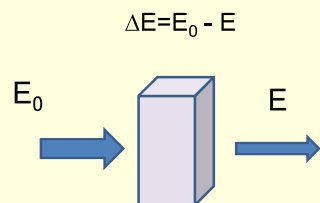
**Fizikai dózisok:**  
elnyelt dózis,  
besugárzási dózis

**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).

80 g tömegű pajzsmirigyben 0,2 GBq aktivitású  $^{131}I$  izotóp 7,5 nap effektív felezési idővel bomlik. Számítsuk ki a pajzsmirigy által az izotóp teljes lebomlásáig elnyelt dózist, ha a kibocsátott  $\beta$ -részecskék átlagos energiája 0,18 MeV.

$$\Lambda = \frac{\ln 2}{T} N \quad N = \frac{0,2 * 10^9 [Bq] * 6,48 * 10^5 [s]}{0,693} = 1,87 * 10^{14}$$

$$E = 0,18 * 10^6 [eV] = 2,88 * 10^{-14} [J]$$

$$E_{\text{össz}} = N * E \quad E_{\text{össz}} = 1,87 * 10^{14} * 2,88 * 10^{-14} = 5,38 [J]$$

$$D = \frac{E_{\text{össz}}}{m} \quad D = \frac{5,38}{0,08} = 67,28 \left[ \frac{J}{kg} \right] \equiv 67,25 [Gy]$$

## Fizikai dózisok

### 2. Besugárzási dózis

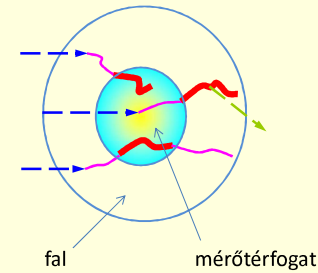
Egységnyi tömegű levegőben keltett pozitív, vagy negatív töltések mennyisége.



*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

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

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

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

$E > 0.6 \text{ MeV}$

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

| Elektron energia<br>(MeV) | $s_{m,\text{szén}}/s_{m,\text{lev.}}$ |
|---------------------------|---------------------------------------|
| 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.

A hatást elszenvedő biológiai objektum érzékenységtől, biológiai funkciójától

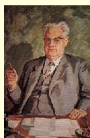
Sugárzásra jellemző korrekciós faktor

Elnyelő szövetre jellemző korrekciós faktor

## Dózisegyenérték (H)

A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

Rolf Sievert  
1896-1966



$$H_T = w_R D_T$$

Sugárzás hatékonyságára jellemző **sugárzási súlytényező** szövetben elnyelt dózis

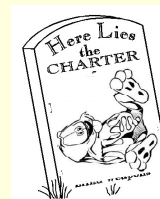
$H$  mértékegysége: **Sievert (Sv)**

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

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

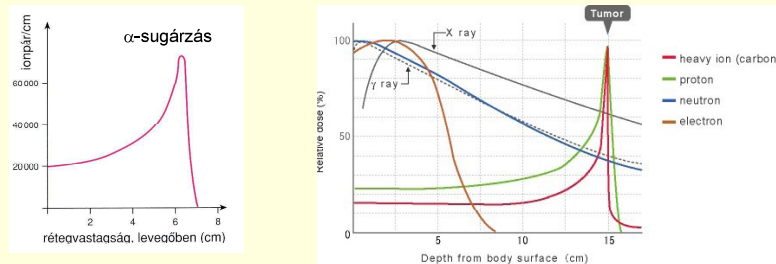
2 Gy elnyelt dózis - röntgen

2 Gy elnyelt dózis -  $\alpha$ -sugárzás



## Dózisegyenérték (H)

A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

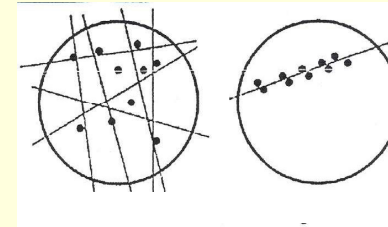


*LET (Linear Energy Transfer) v. linearis energiaátadás:*  
egységnyi úthosszon leadott energia ( $nE_{\text{ionpár}}/l$ )

## Dózisegyenérték (H)

A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

$$H_T = w_R D_T$$

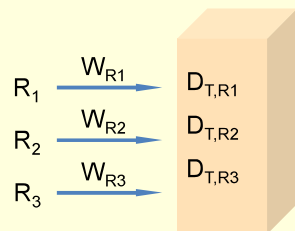


Alacsony LET  
Pl.  $\gamma$ , rtg

Magas LET  
pl.  $\alpha$ , proton

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

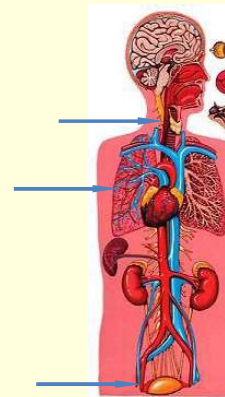
Többféle egyidejű sugárzás esetén az egyes sugárzások elnyelt dózisa súlyozottan adódnak össze.



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

## Effektív dózis (E)

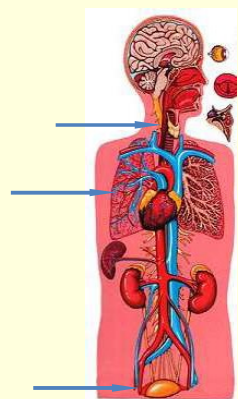
A szövetek eltérő érzékenységét megfelelő súlyozással vehetjük figyelembe.



$$E = \sum_T w_T H_T$$

$E$  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

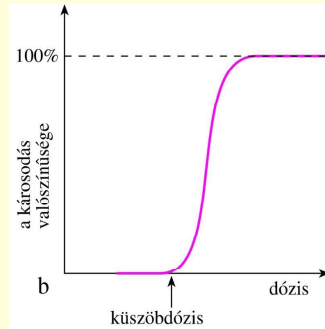
$E_i$  effektív dózist

## Sugárhatások típusai

*Determinisztikus hatás*

*Stochasztikus hatás*

## Determinisztikus hatás

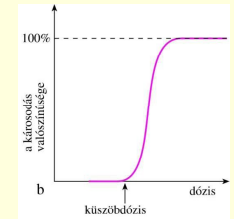


**Küszöbdózis:** alatta nem lép fel.

**Gy**

**Küszöbdózis felett a súlyosság arányos a dózissal.**

## Determinisztikus hatás



Küszöbdózis fölött a károsodás mértéke arányos a dózissal.

Rövid idővel a hatás után megjelenik.

Diagnosztikai eljárások kapcsán nem várható.

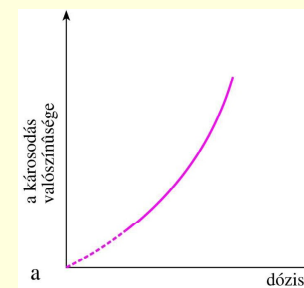
Pl. eritéma, hajhullás, katarakta, sejtek pusztulása, az egyed halála

\*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



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

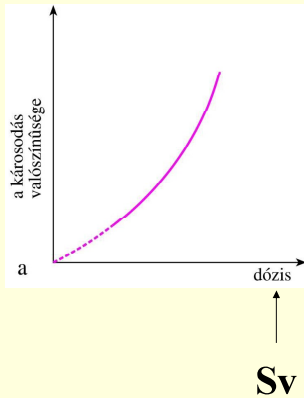
A károsodás bekövetkeztének **mértéke/súlyossága nem függ** a dózistól.

A károsodás megjelenése időben elhúzódó is lehet.

Nincs küszöbdózis.

Pl.daganatok, magzati fejlődési rendellenességek

## Stochasztikus hatás



| vizsgálat                           | becsült effektív dózis<br>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.

*Gyakorlati jegyzet: Dozimetria*