

Ionizáló sugárzások dozimetriája-1: dózisfogalmak, sugárterápia

2021-03-22
Károly Liliom

Sugárzás = energia terjedése

energia > ionizációs energia

→ ionizáló sugárzás

Ionizáló sugárzások

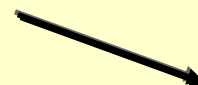
csoportosításuk az elsődlegesen kiváltott hatás alapján.



Közvetlenül (direkt) ionizáló

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

Pl. α - és β -sugárzás, protonok



Közvetve (indirekt) ionizáló

A sugárzás részecskéi (fotonjai) által keltett (elsődleges) elektronok hozzák létre a töltéseket (másodlagos ionpárok).

Pl. γ - és röntgensugárzás

Ionizáló sugárzások



A dozimetria feladatai

Az egészségügyi kockázat becslése megelőzés céljából.

Az egészségkárosodás felmérése.

A terápiás folyamat tervezése.

*Megfelelő
mennyiségek
megfogalmazása*



Méréstechnika



Kockázatbecslés

Mennyiségek – dózisok

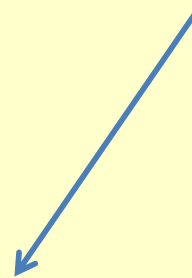
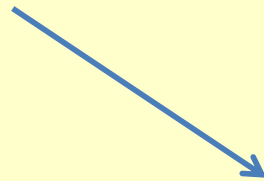
- Legyen a hatás (károsodás) mértékére jellemző sugármennyiség!
- Legyen arányos a károsodás mértékével, kockázatával!
- Legyen additív!
- Lehetőleg ne függjön más tényezőktől!

Dózisfogalmak

Fizikai dózisok:
elnyelt dózis,
besugárzási dózis

Biológiai dózisok:
egyenértékdózis,
effektív dózis

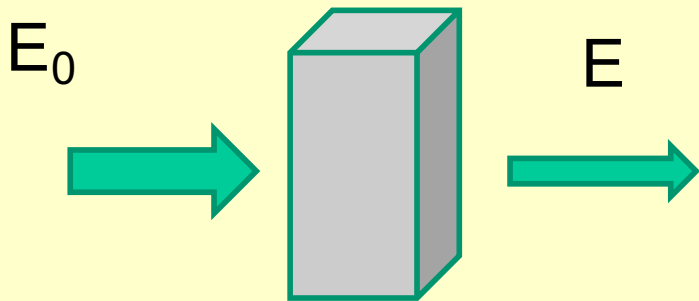
Származtatott dózisok:
kollektív dózisok,
dózisteljesítmény



Fizikai dózisok

1. Elnyelt dózis

$$\Delta E = E_0 - E$$



Egységnyi tömegben elnyelt energia

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

Érvényesség: minden abszorbeáló anyagra és mindenfajta sugárzásra.



Louis Harold Gray
(1905-1965).

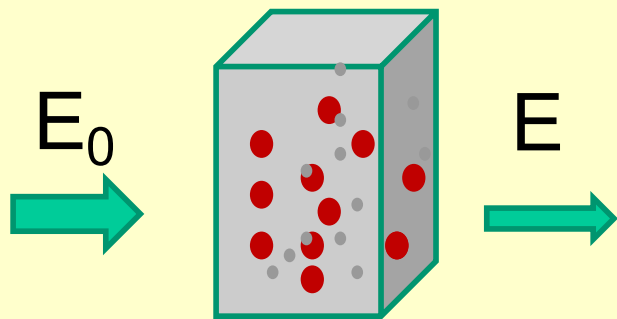
Mértékegység: $[J / kg] \equiv Gy$

Hogyan tudjuk megmérni?

Fizikai dózisok

2. Besugárzási dózis

Egységnyi tömegű levegőben keltett pozitív, vagy negatív töltések mennyisége.

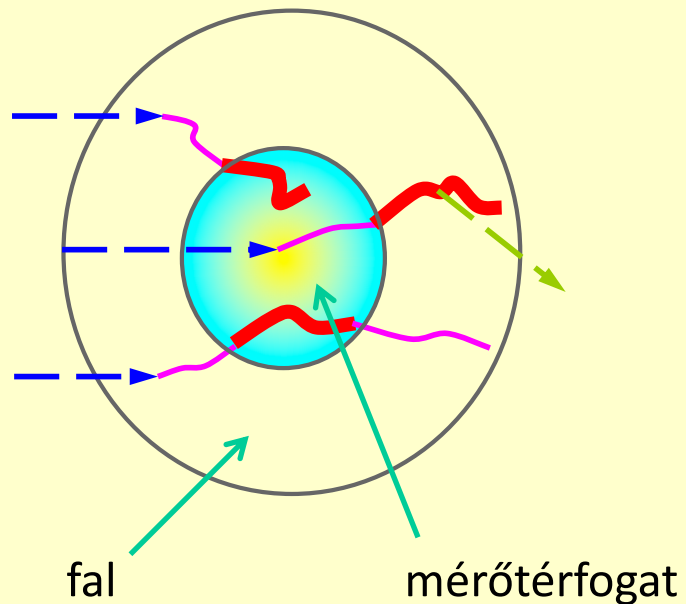


$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} [C / kg]$$

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

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

$$D_{lev} = f_0 X$$

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

~ 34 J/C

Levegőben az átlagos ionizációs
energia
~ 34 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

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

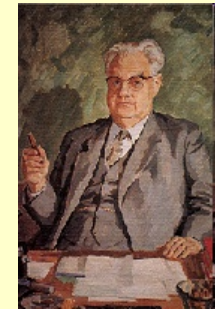
*A hatást elszenvedő biológiai objektum
érzékenységétől,
biológiai funkciójától*



Elnyelő szövetre jellemző
korrekciós faktor

Dózisegyenérték (H)

Rolf Sievert
1896-1966



A sugárzások „ionizációs hatékonysága” eltérő.

$$H_T = w_R D_T$$

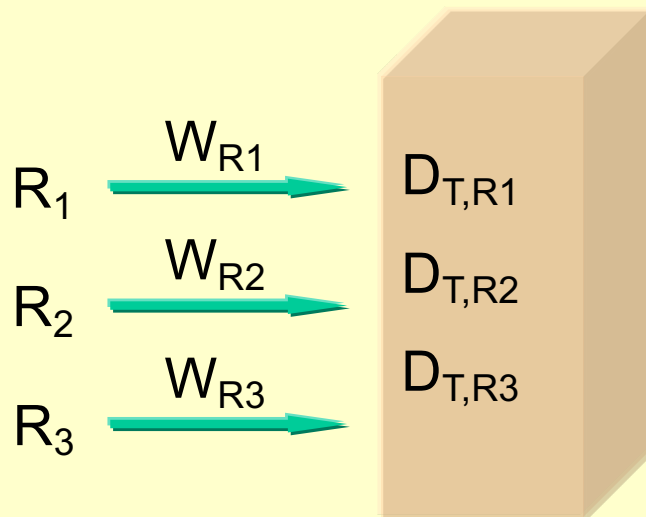
Sugárzás hatékonyságára
jellemző **sugárzási**
súlytényező

szövetben elnyelt
dózis

***H** mértékegysége is J/kg,
de az elnevezése **Sievert (Sv)***

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

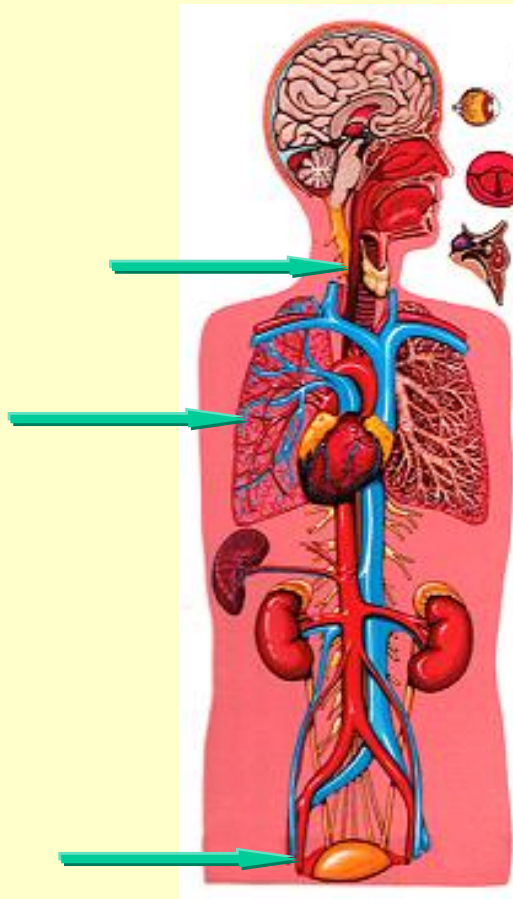
Többféle egyidejű sugárzás esetén az egyes sugárzások elnyelt dózissai súlyozottan adódnak össze.



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

Effektív dózis (E)

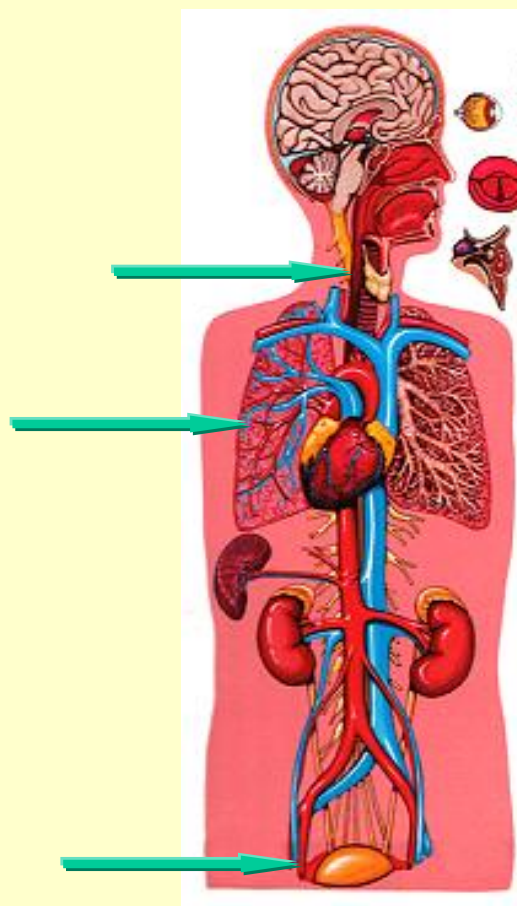
A szövetek eltérő érzékenységét megfelelő súlyozással vehetjük figyelembe.



$$E = \sum_T w_T H_T$$

E mértékegysége: *Sievert (Sv)*

$$E = \sum_T w_T H_T$$

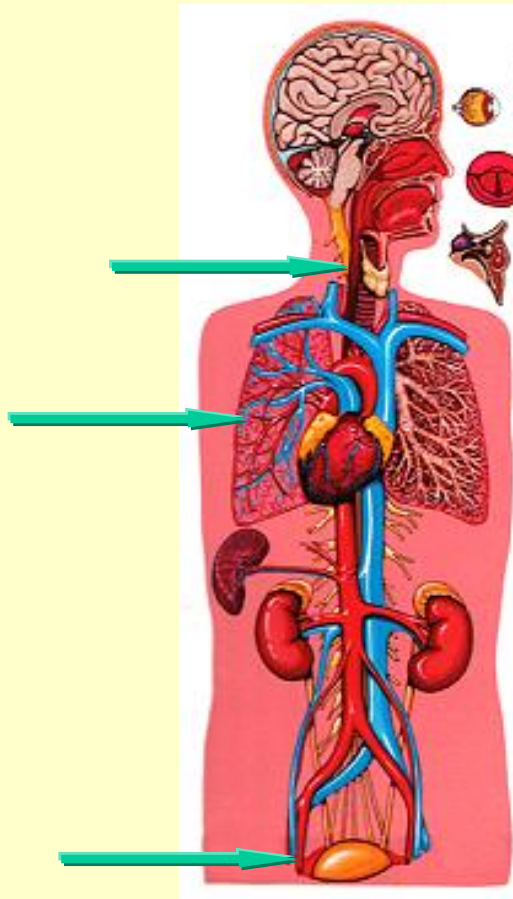


szövet	W_T	szövet	W_T
gonádok	0,2	emlő	0,05
vörös csontvelő	0,12	máj	0,05
vastagbél	0,12	nyelőcső	0,05
tüdő	0,12	pajzsmirigy	0,05
gyomor	0,12	bőr	0,01
hugyhólyag	0,05	csontfelszín	0,01

$$\sum_T w_T = 1$$

$$E = \sum_T w_T H_T$$

$$\sum_T w_T = 1$$



Organ or tissue	W_T ICRP 30 (1979) ^a	W_T ICRP 60 (1991)	W_T ICRP 103 (2007)
Gonads	0.25	0.20	0.08
Red bone marrow	0.12	0.12	0.12
Large intestine		0.12	0.12
Lung	0.12	0.12	0.12
Stomach		0.12	0.12
Bladder		0.05	0.04
Breast	0.15	0.05	0.12
Liver		0.05	0.04
Oesophagus		0.05	0.04
Thyroid	0.03	0.05	0.04
Skin		0.01	0.01
Bone surface	0.03	0.01	0.01
Rest ^b	0.30	0.05	0.12
Brain			0.01
Total	1.00	1.00	1.00

^a ICRP 30 W_T are used to calculate EDE, whereas ICRP 60 W_T and ICRP 103 W_T give E values.

^b 'Rest' includes adrenals, small intestine, kidney, muscle, brain (except ICRP 103 W_T), pancreas, spleen, thymus and uterus.

Dózisteljesítmény

Egységnyi idő alatt elszenvedett dózis.

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

Kollektív dózisok

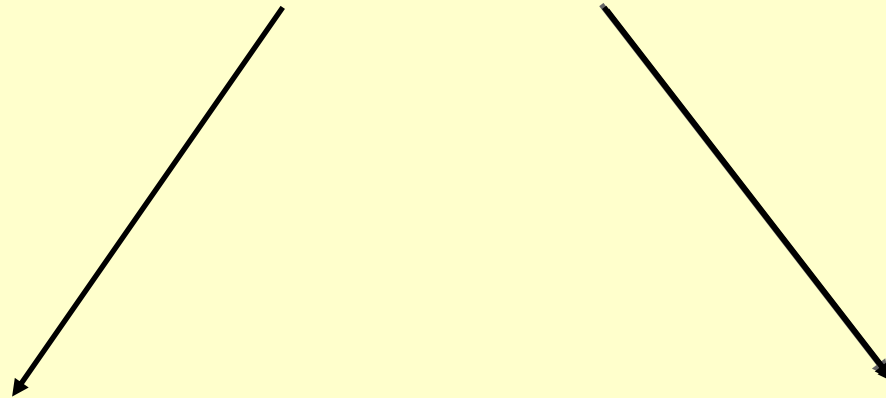
Az emberek egy meghatározott csoportjában,
meghatározott időre vonatkozóan összegzett
dózismennyiségek.

$$S = \sum_i N_i E_i$$

N_i személy

E_i effektív dózist

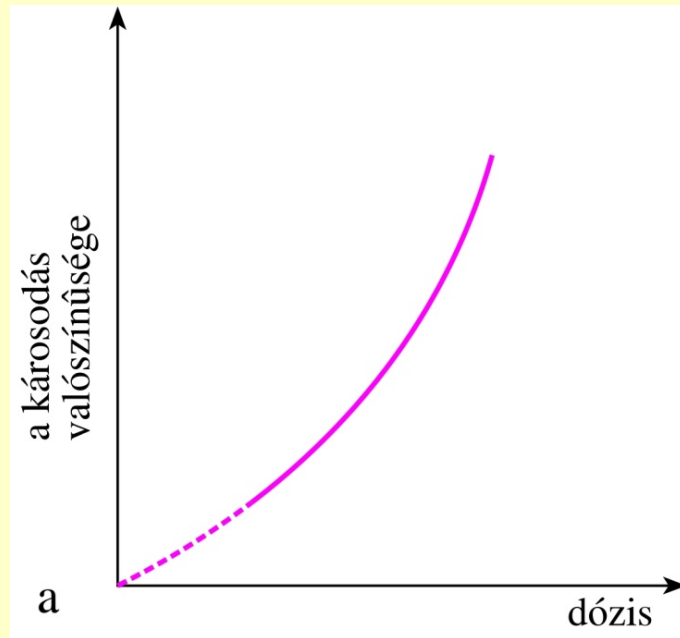
Sugárhatások típusai



Sztochasztikus hatás

Determinisztikus hatás

Stochasztikus hatás



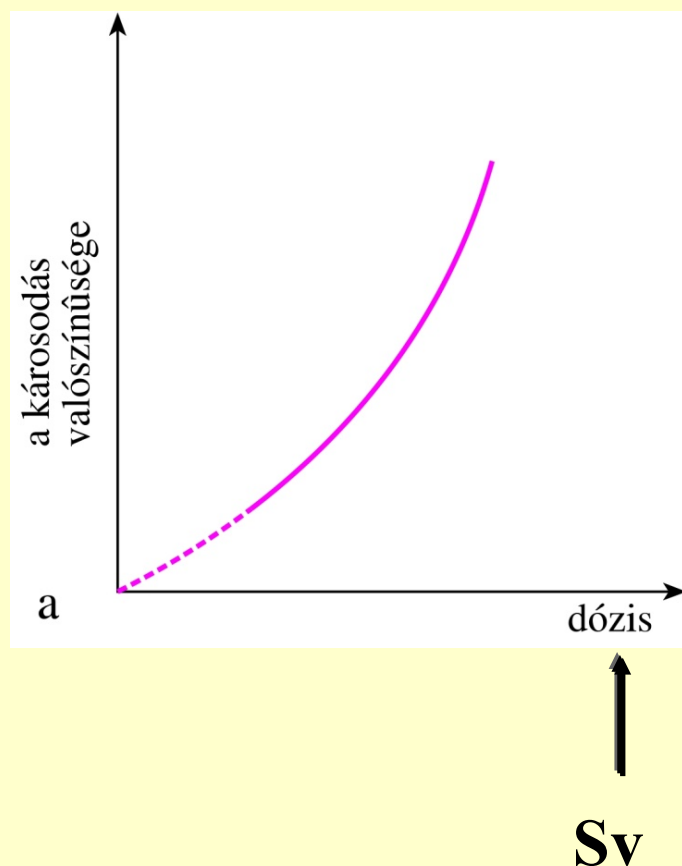
Nincs küszöbdózis.

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

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

A károsodás megjelenése időben elhúzódó is lehet (daganatok, magzati fejlődési rendellenességek).

Stochasztikus hatás

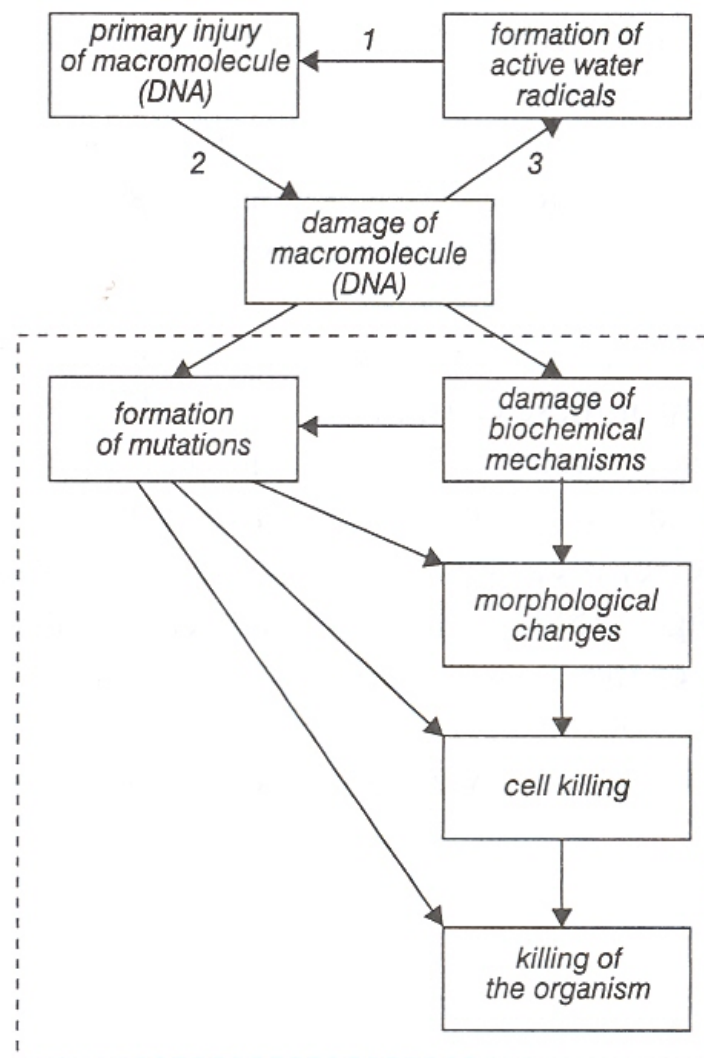
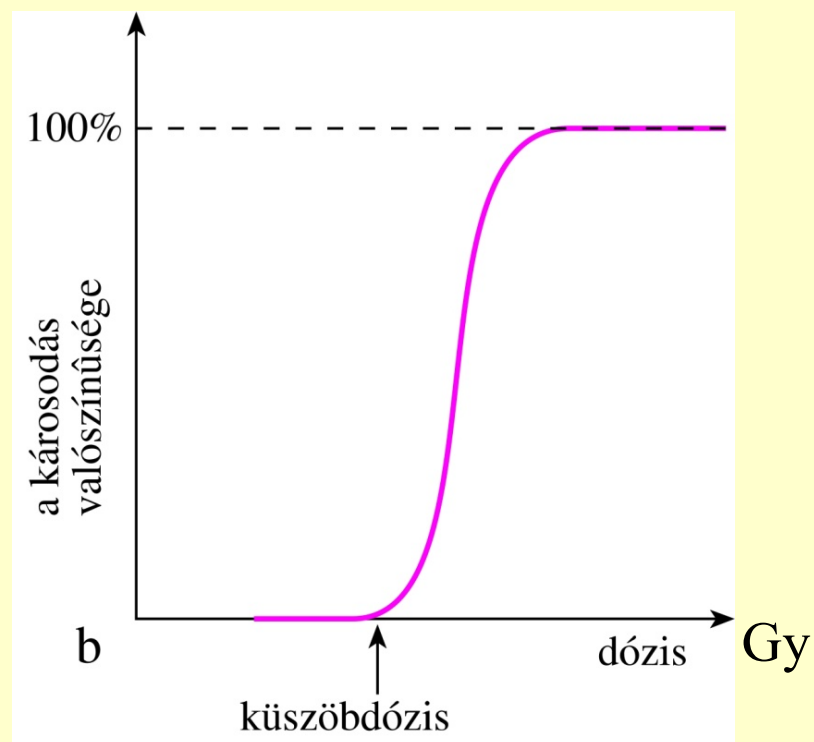


Az *egyenérték* ill. *effektív* dózis alapján **becsülhetjük** a stochasztikus sérülések **valószínűségét**.

Ezek tartománya a determinisztikus sérülések küszöbdózisai alatt van.

vizsgálat	becsült effektív dózis mSv
Mellkasi átvilágítás	0,4
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

Determinisztikus hatás



Küszöbdózis felett a károsodás súlyosság arányos a dózissal.

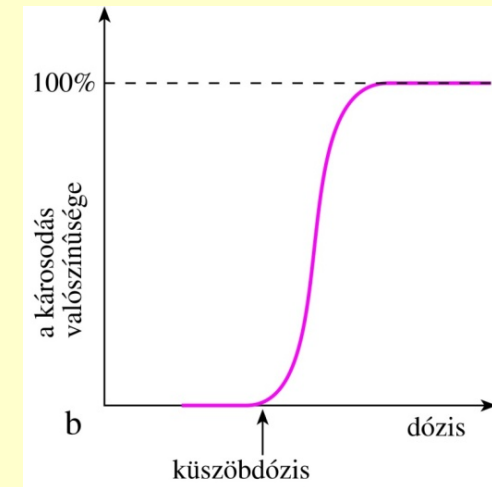
Determinisztikus hatás

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 μ Gy a bőrben

Sugárterápia

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

Sugárvédelem

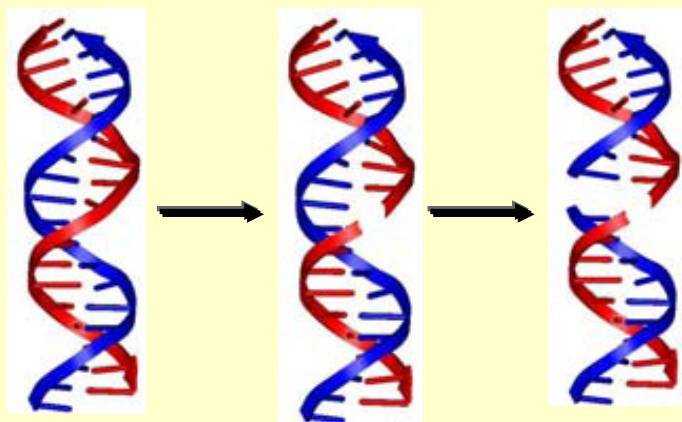
Determinisztikus hatások **kizárása**.
Stochasztikus mellékhatások valószínűségének csökkentése.

Kémiai reakciók

Direkt sugárhatás

Közvetlenül a biológiai szempontból fontos molekulában létrejövő sérülés.

Legfontosabb a **DNS károsodása!**



egyszeres
lánc-törés kétszeres

lánc-törés



kromoszóma-törés

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.

Sugárterápia: ionizáló sugárzás károsító hatásának felhasználása (elsősorban) daganatos szövetek elpusztítására

1. Milyen típusú sugárzást használjunk?
2. Mekkora dózist alkalmazzunk?
3. Hogyan állítsuk elő?
4. Hogyan juttassuk el a besugározandó
testrészbe (a többi szövet károsítása nélkül)?

A sugárterápiában használható sugárzások

Elektromágneses sugárzás

- röntgen – fékezési és karakterisztikus
- gamma
 - ^{60}Co (1,25 MeV) – teleterápia
 - ^{192}Ir , ^{125}I (35 keV), ^{137}Cs , ^{60}Co - brachyterápia

Elektron/ β^- – energia tartomány 6 – 21 MeV

Alfa - ^{225}Ac 6 MeV, ^{226}Ra 4,78 MeV

Proton –

Nehéz ionok – limitáltan

Neutron – limitáltan

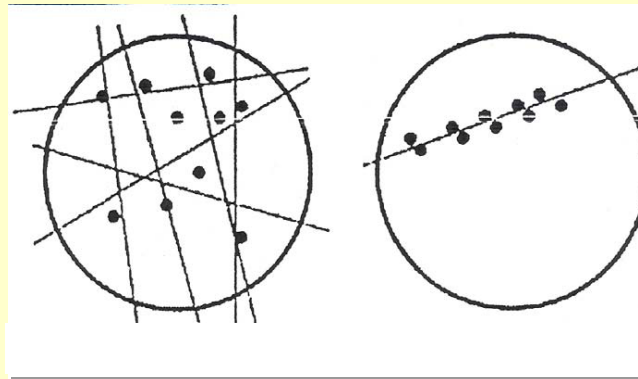
A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

Lineáris ionsűrűség:

egységnyi úthosszon létrehozott ionpárok száma (n/l)

LET (Linear Energy Transfer)v. lineáris energiaátadás:

egységnyi úthosszon leadott energia ($nE_{ionpár}/l$)



Alacsony LET

Pl. γ , rtg

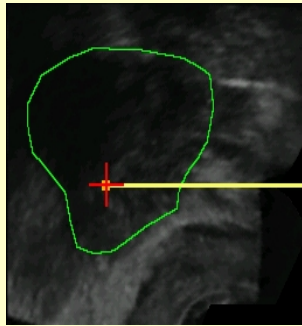
Magas LET

pl. α , proton

Tipikus LET-értékek

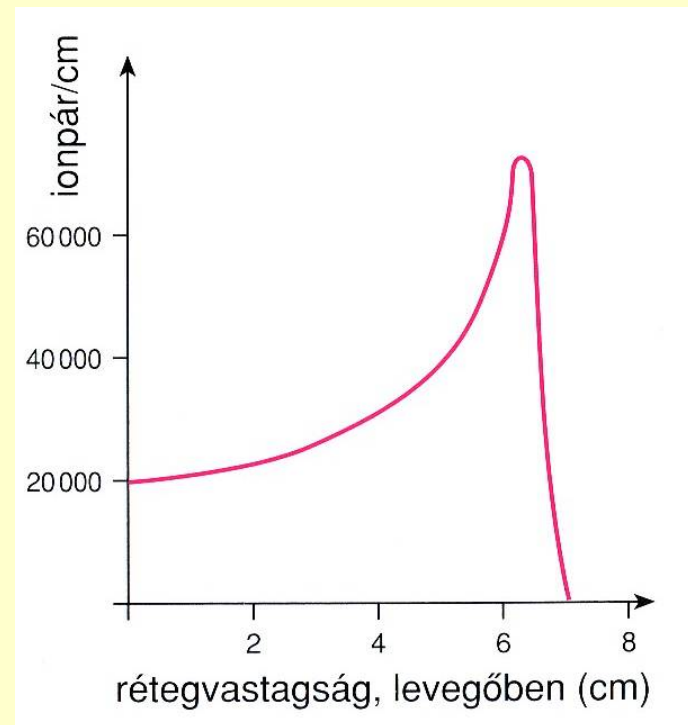
LET-érték:	Sugárfajta:	Energia (MeV):	LET(keV/μm):
magas	α -részecske	5.0	90
	gyors neutron	6.2	21
	protonok	2.0	17
alacsony	röntgensugár	0.2	2.5
	60-Co γ–	1.25	0.3
	sugarzás	2.0	0.3
	beta-sugár elektronok	10.0	

α



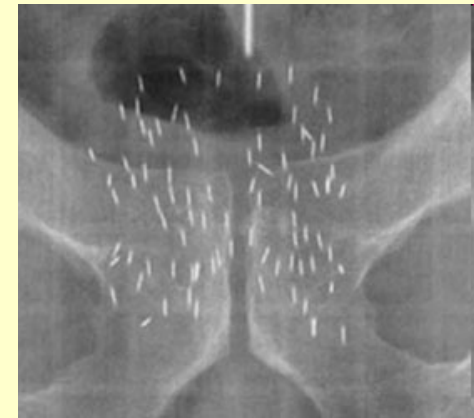
csak célzottan a tumorba juttatva
(brachyterápia)

levegőben: $E_{ionpár} = 34 \text{ eV}$



β^- :

Energiája nem optimális
folytonos energiaszórású
tipikus energia: néhány MeV



csak célzottan a tumorba juttatva

e^- :

gyorsított elektron - 10-20 MeV

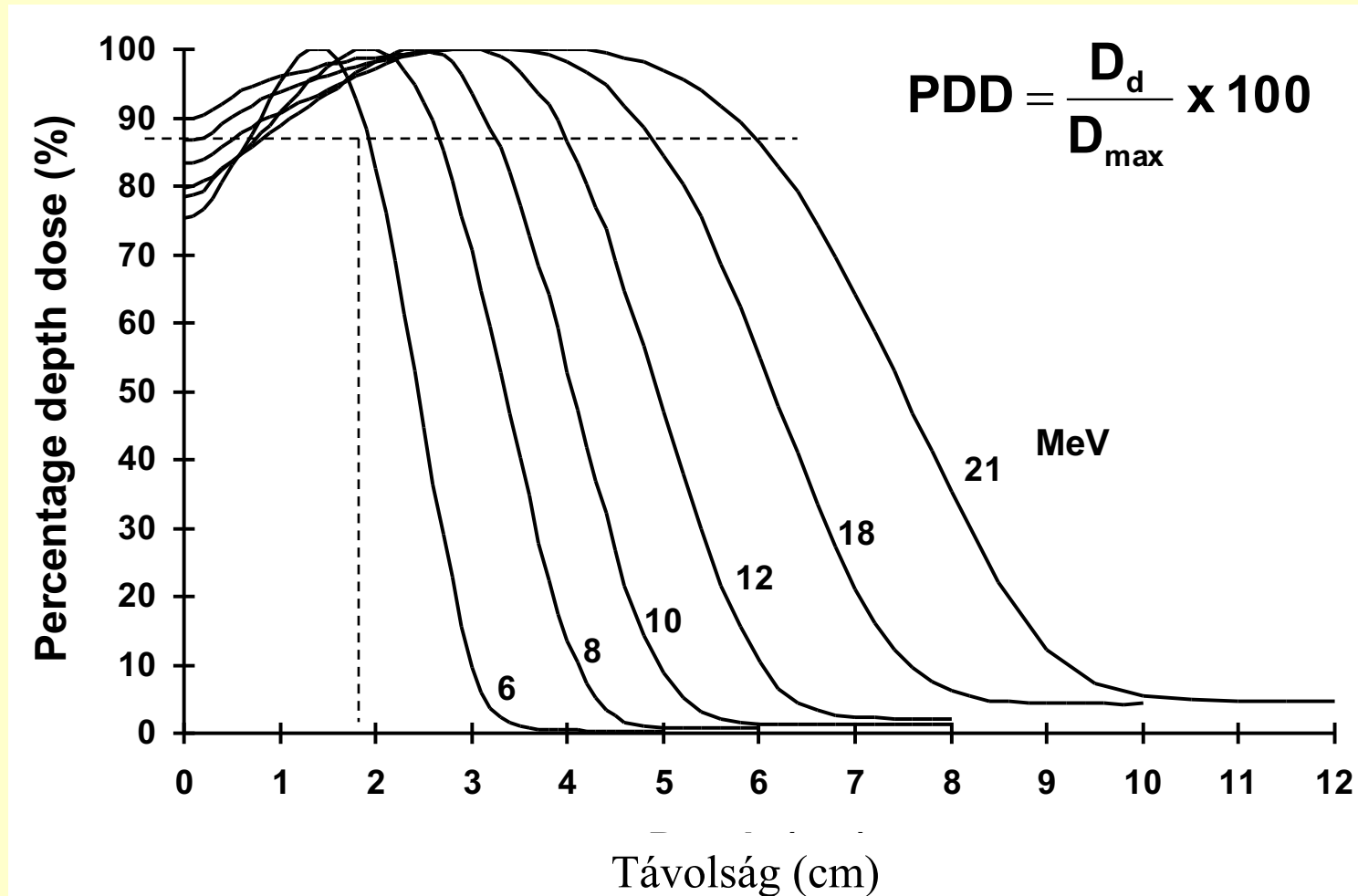
Előállítás: lineáris gyorsító

hatótáv! $\approx 1\text{cm}/3\text{MeV}$

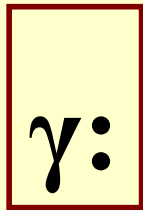
gyakorlatban: 6-21 MeV \Rightarrow 2-7 cm

felületközeleli tumorok

Elektron PDD (percentage depth dose) görbék különböző részecske energiáknál



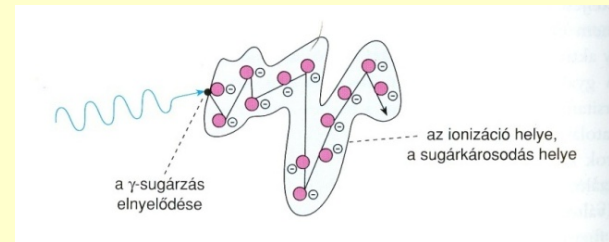
Konklúzió: csak felszínhez közeli tumor kezelhető elektron besugárzással



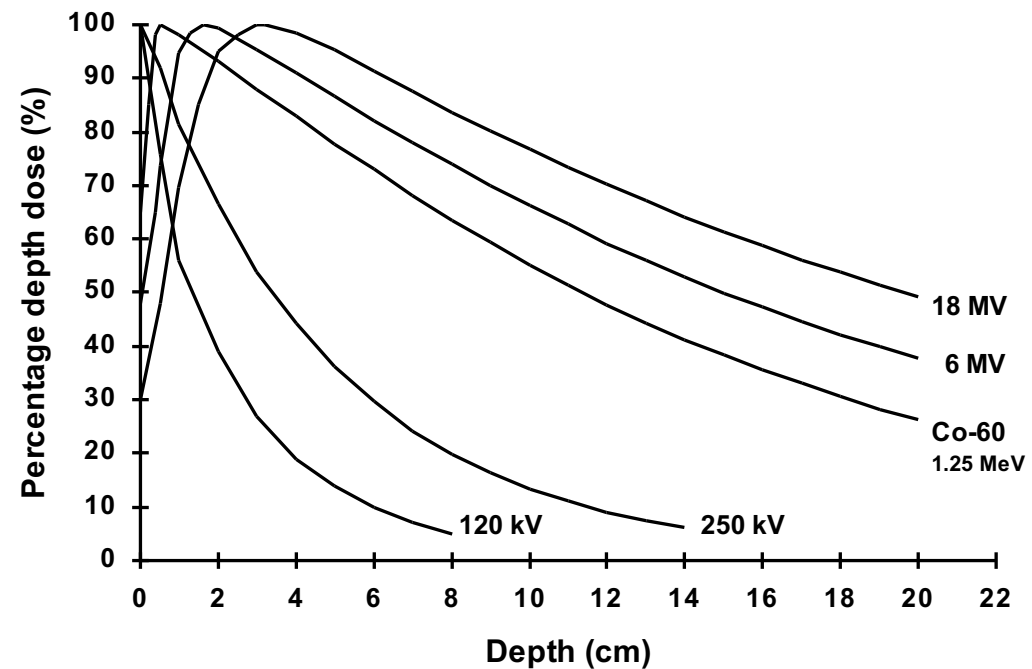
Probléma:

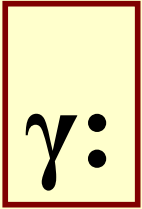
foton elnyelődésének helye \neq szekunder ionizáció helye = sugárkárosodás helye

Az átlagos úthossz a energiától függ.



Foton PDD görbék
különböző energiáknál





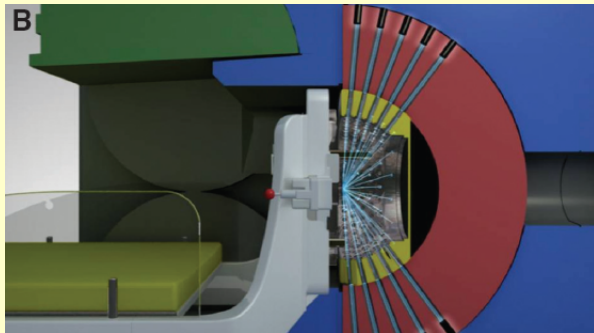
γ-kés:

összesen kb. 200 db sugárnyaláb

pl. ^{60}Co , használt aktivitás: TBq

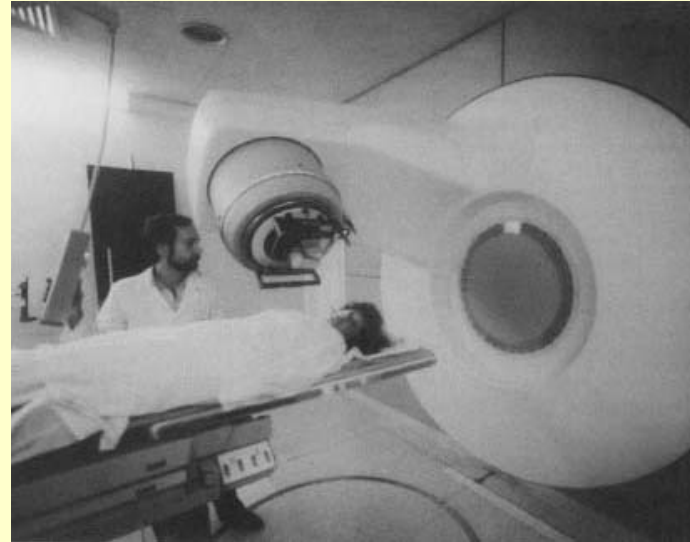
agysebészeti célra különösen alkalmas

Izocentrum - a mezők forgástengelyeinek metszéspontja



4, 8, 14, 18 mm-es kollimátorok

Röntgen:

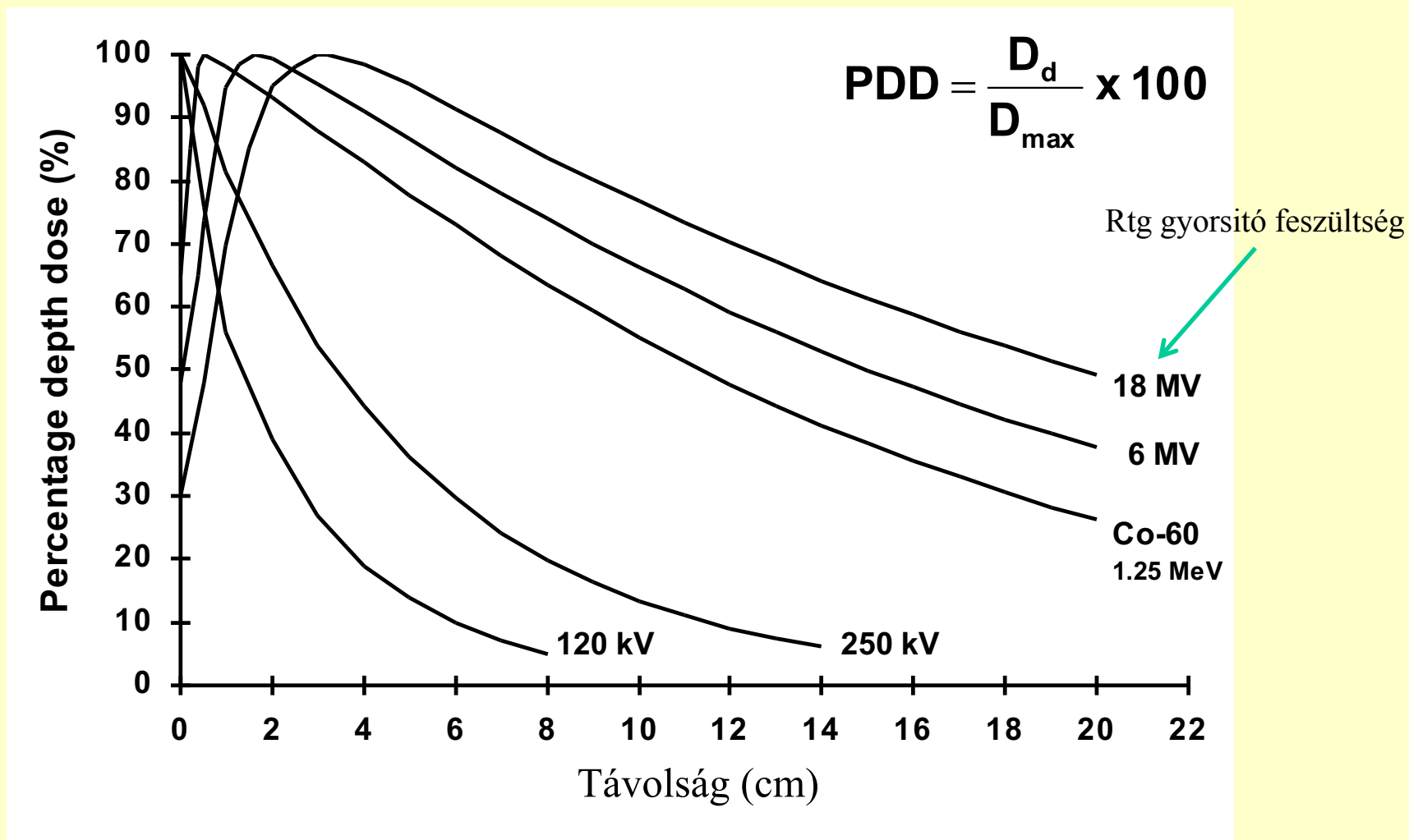


Részecskegyorsító a rtg. sugárzás előállítására.

Néhány MeV fotonenergia.

Besugárzás ideje jól szabályozható.

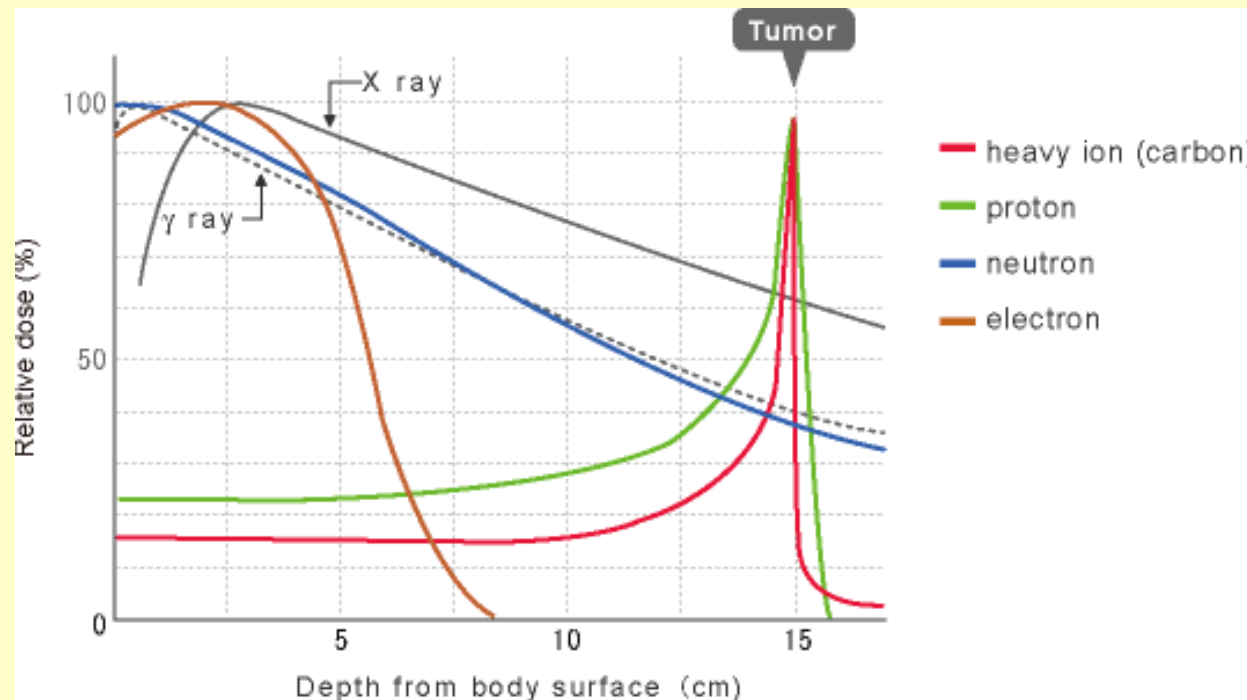
Foton PDD (percentage depth dose) görbék különböző fotonenergiáknál



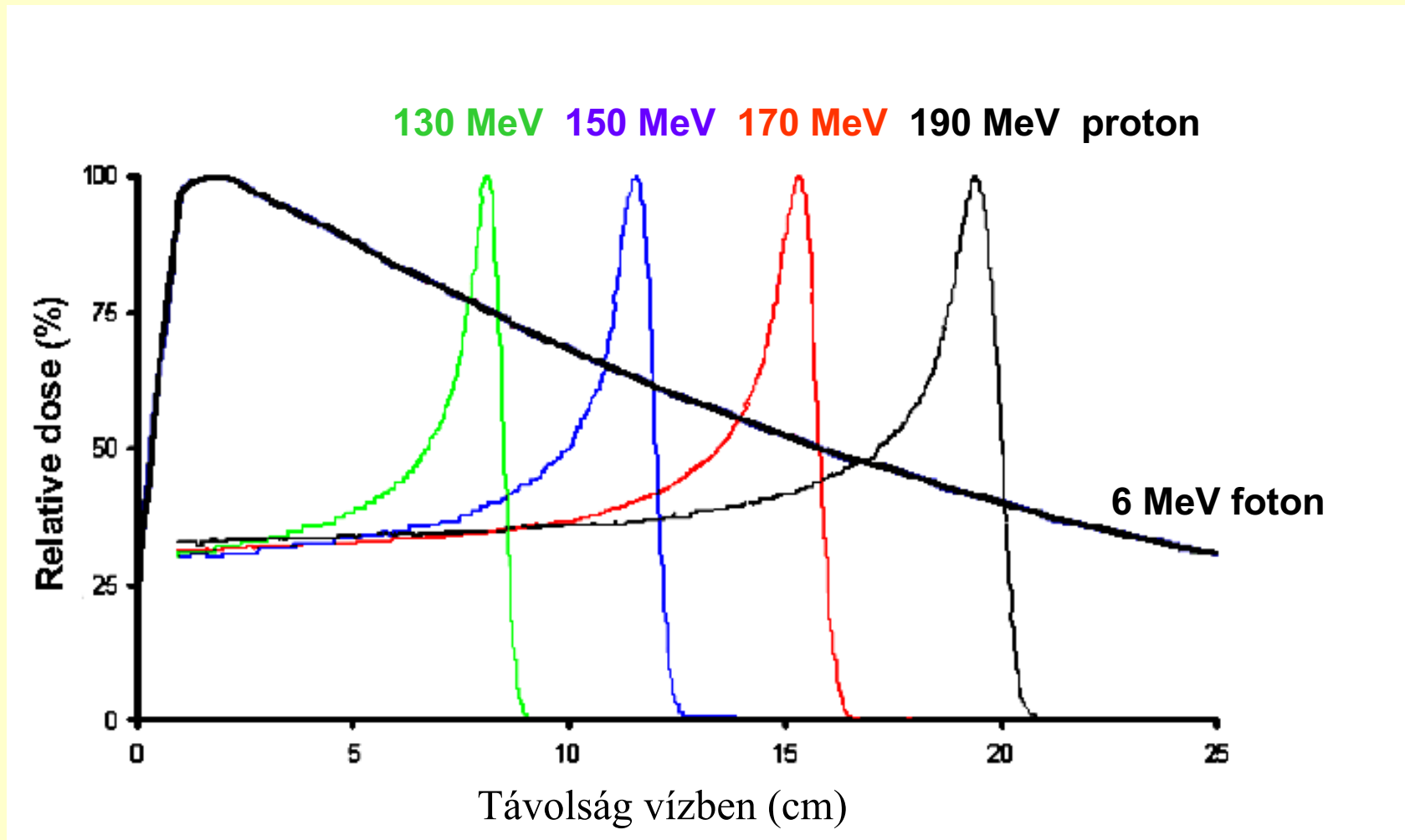


Ideális lenne, de nagyon drága!
Óriási gyorsító kell!

p:



Foton és proton mélydózis összehasonlítása



A radioterápia fejlődése*

**Tervezés:
3D CT
módszerek**

1960's

The First Clinac



Standard Collimator

The linac reduced complications compared to Co60

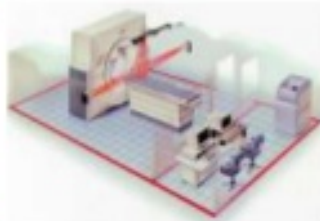
1970's



Cerrobend Blocking
Electron Blocking

Blocks were used to reduce the dose to normal tissues

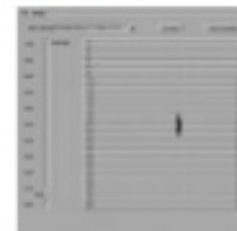
1980's



Multileaf Collimator

MLC leads to 3D conformal therapy which allows the first dose escalation trials.

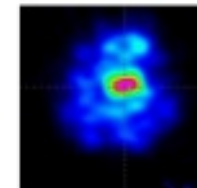
1990's



Dynamic MLC
and IMRT

Computerized IMRT introduced which allowed escalation of dose and reduced complications

2000's



Functional
Imaging

High resolution IMRT

**intensity-
modulated
radiotherapy**

9/25/2010

*1951 – az első Co-60 besugárzás Kanadában

Kapcsolódó fejezetek:

Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika

II. 4.

4.1

4.2

4.3

4.4

4.5

IX.3.

keretes: 184. 186.

Gyakorlati jegyzet: Dozimetria



<http://report.semmelweis.hu/linkreport.php?qr=JB0ULD09TK29W1YJ>