

# Sugárterápia



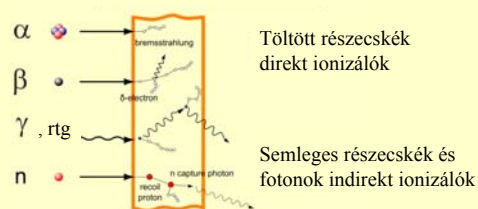
**Sugárterápia:** ionizáló sugárzások klinikai alkalmazása malignus daganatok eltávolításában.

A sugárkezelés során célunk az ionizáló sugárzás terápiás dózisének elérése a kezelt daganatban a környező szövetekben okozott lehető legkisebb károsodás okozása mellett.

## Ionizáló sugárzások elnyelődésének következményei

### 1. Fizikai történések

Direkt vagy indirekt ionizáció



Primer és szekunder ionizáció

A szekunder ionizációk száma függ az anyagtól; a primer ionizáció akár 10-szerese is lehet.

A 137-es tömegszámú cézium magja által emittált gamma foton fotoeffektus során nyelődik el. Az elnyelő közeg levegő, a kilépési munkát vegyük 34 eV-nak. Mekkora lesz a fotoelektron mozgási energiája eV-ban.

$$E_{137\text{Cs}} = 0,661\text{MeV}$$

$$hf = A + 1/2mv^2$$

$$1/2mv^2 \approx 661\,000\text{ eV}$$

Maximum hány ionpár létrehozására képes a kilépő fotoelektron a szekunder ionizáció során?

$$n_{\text{max}} = 661\,000\text{ eV} / 34\text{eV}$$

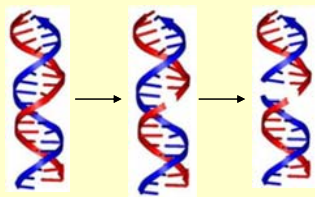
$$n_{\text{max}} = 19440$$

## 2. Kémiai reakciók

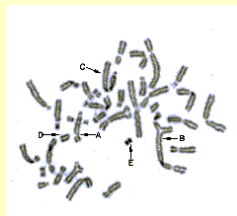
### Direkt sugárhatás

**Közvetlenül** a biológiai szempontból fontos molekulában létrejövő sérülés.

Legfontosabb a **DNS károsodása!**



egyszeres  
lánc törés



kromoszómatörés

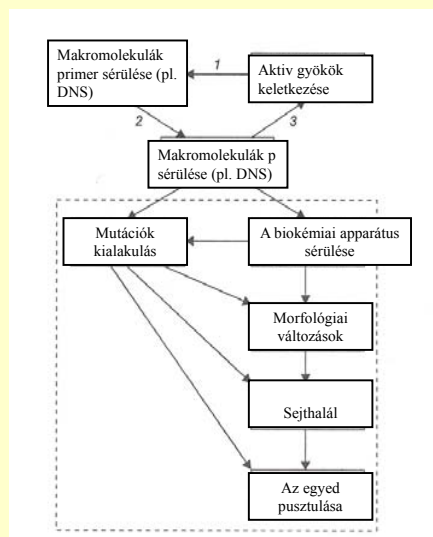
### Indirekt sugárhatás

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. Biological consequences



### 3. Biológiai következmények

Makromolekulák, sejtalkotók károsodása.

Sejtek pusztulása, szervek működésképtelensége.

Súlyos egészségkárosodás, halál.

## A különböző események az időskálán

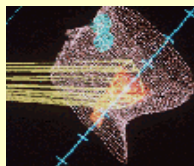
Fizikai	$10^{-20} - 10^{-8}$ s	Ionizáció, gerjesztés
Kémiai	$10^{-18} - 10^{-9}$ s	Direkt/indirekt kémiai reakciók
	$10^{-3}$ s – néhány óra	Sérülések reparációja
Korai biológiai	órák – hetek	Sejtdestrukció, az egyed halála
Késői biológiai	évek	Daganatok, genetikai elváltozások

**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)?

## Megközelítések

- **Palliative radioterápia** fájdalom csökkentésére és akut következmények akadályozására – pl. csontáttét, gerincvelpi nyomás stb.
- **Radikális sugárterápia** mint elsődleges megoldások a tumor eltávolításában – pl. fej nyak tumorok, agydaganatok eltávolítása
- **Adjuváns tarápia** hagyományos sebészeti beavatkozást követően – pl. mell-daganatok kezelése



## A sugárterápiában használható sugárzások

### Elektromágneses sugárzás

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

**Elektron/ $\beta^-$**  – energia tartomány 6 – 21 MeV

**Proton** –

**Nehéz ionok** – limitáltan

**Neutron** – limitáltan

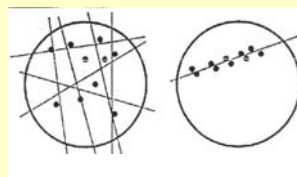
A sugárzások „hatékonysága” eltérő.

*Lineáris ionsűrűség:*

egységnyi úthosszon létrehozott ionpárok száma ( $n/l$ )

*LET (Linear Energy Transfer)v. linearis energiaátadás:*

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



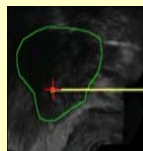
Alacsony LET  
Pl.  $\gamma$ , rtg

Magas LET  
pl.  $\alpha$ , proton

## Tipikus LET-értékek

LET-érték:	Sugárfajta:	Energia (MeV):	LET(keV/ $\mu$ m):
magas	$\alpha$ -részecske	5.0	90
	gyors neutron	6.2	21
	protonok	2.0	17
alacsony	röntgensugár	0.2	2.5
	60-Co $\gamma$ -sugárzás	1.25	0.3
	beta-sugár	2.0	0.3
	elektronok	10.0	

**$\alpha$**

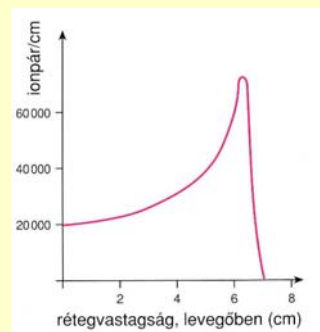


csak célzottan a tumorba juttatva  
(brachyterápia)

*LET (Linear Energy Transfer)v. linearis energiaátadás:*

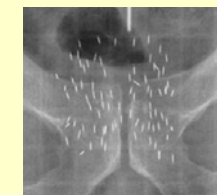
egységnyi úthosszon leadott energia ( $nE_{ionpár}/l$ )

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



**$\beta^-$**

Energiaja nem optimális  
folytonos energiaeloszlású  
tipikus energia: néhány MeV



csak célzottan a tumorba juttatva

**$e^-$**

gyorsított elektron - 10-20 MeV

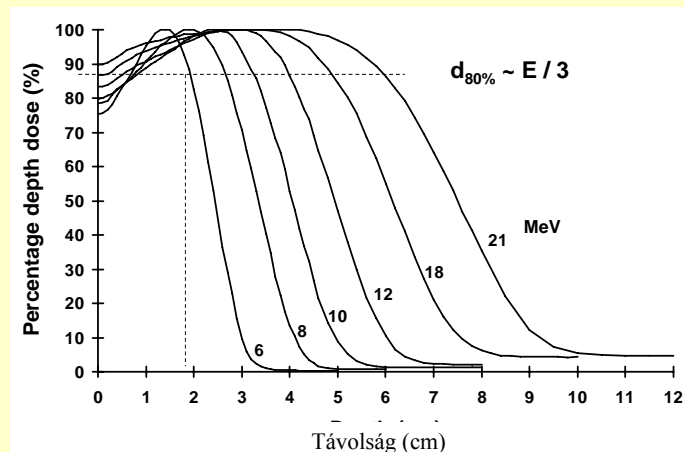
Előállítás: lineáris gyorsító

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

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

felületközei tumorok

## Elektron PDD (percentage depth dose) gördek különböző részecske energiáknál



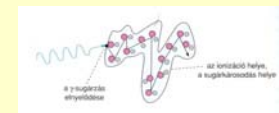
Konkluzió: csak felszínhez közeli tumorok kezelhető elektron besugárással

$\gamma$  :

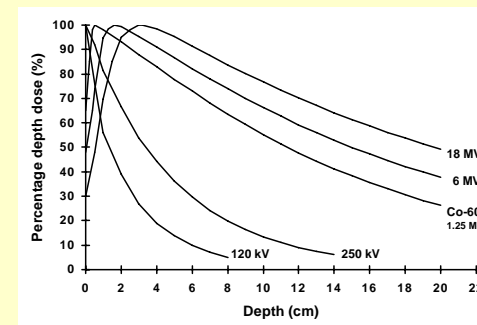
Probléma:

foton elnyelődésének helye  $\neq$  szekunder ionizáció helye = sugárkárosodás helye

Az átlagos úthossz a energiától függ.



## Foton PDD gördek különböző energiáknál



$\gamma$  :

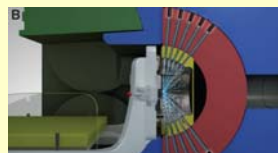
$\gamma$ -kés:

összesen kb. 200 db sugárnyaláb

pl.  $^{60}\text{Co}$ , használt aktivitás: TBq

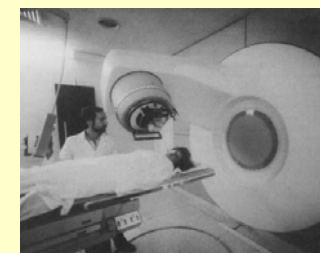
agysebészeti célra különösen alkalmas

**Izocentrum** - a mezők forgástengelyeinek metszéspontja



4, 8, 14, 18 mm-es kollimátorok

**Rtg:**

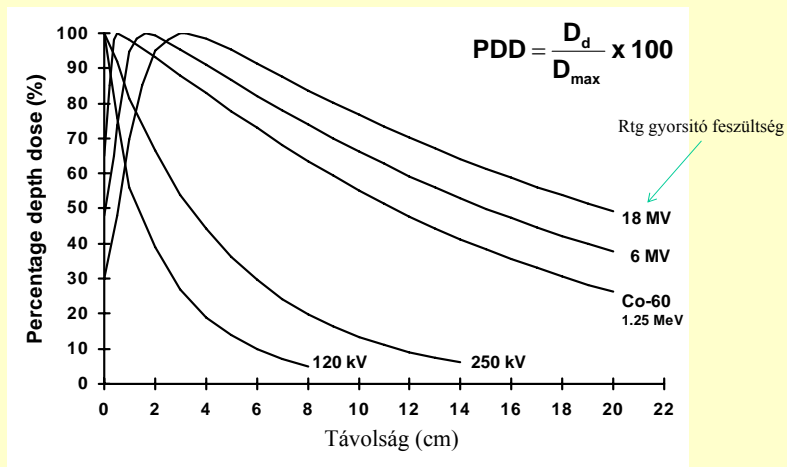


Részecskegyorsító a rtg. sugárzás előállításában.

Néhány MeV fotonenergia.

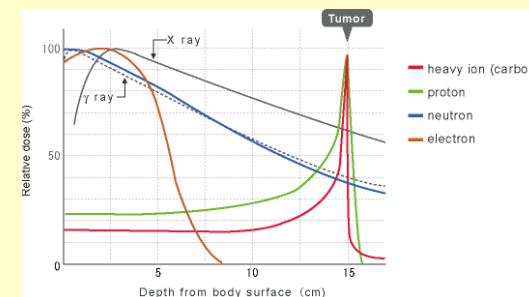
Besugárzás ideje jól szabályozható.

Foton PDD (percentage depth dose ) görbék különböző fotonenergiáknál

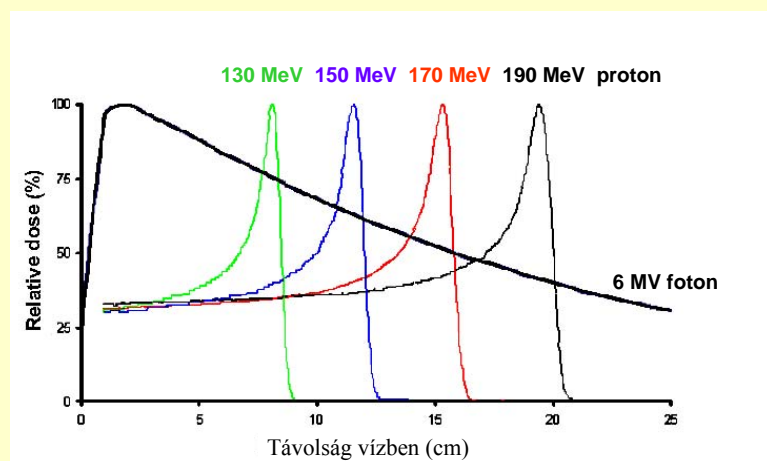


Ideális lenne, de nagyon drága!  
Óriási gyorsító kell!

p :



Foton és proton mélydózis összehasonlítása



A hét kérdése

Alfa- vagy gamma-sugárzást használna-e inkább brachyterápiában? Miért?

Kapcsolódó fejezetek:

*Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika*

IX. 3.