

Elektromágneses sugárzások kölcsonhatása szövetekkel és szöveti komponensekkel II. **Röntgen és gamma tartomány, előállítás, felhasználás orvosi szempontból**



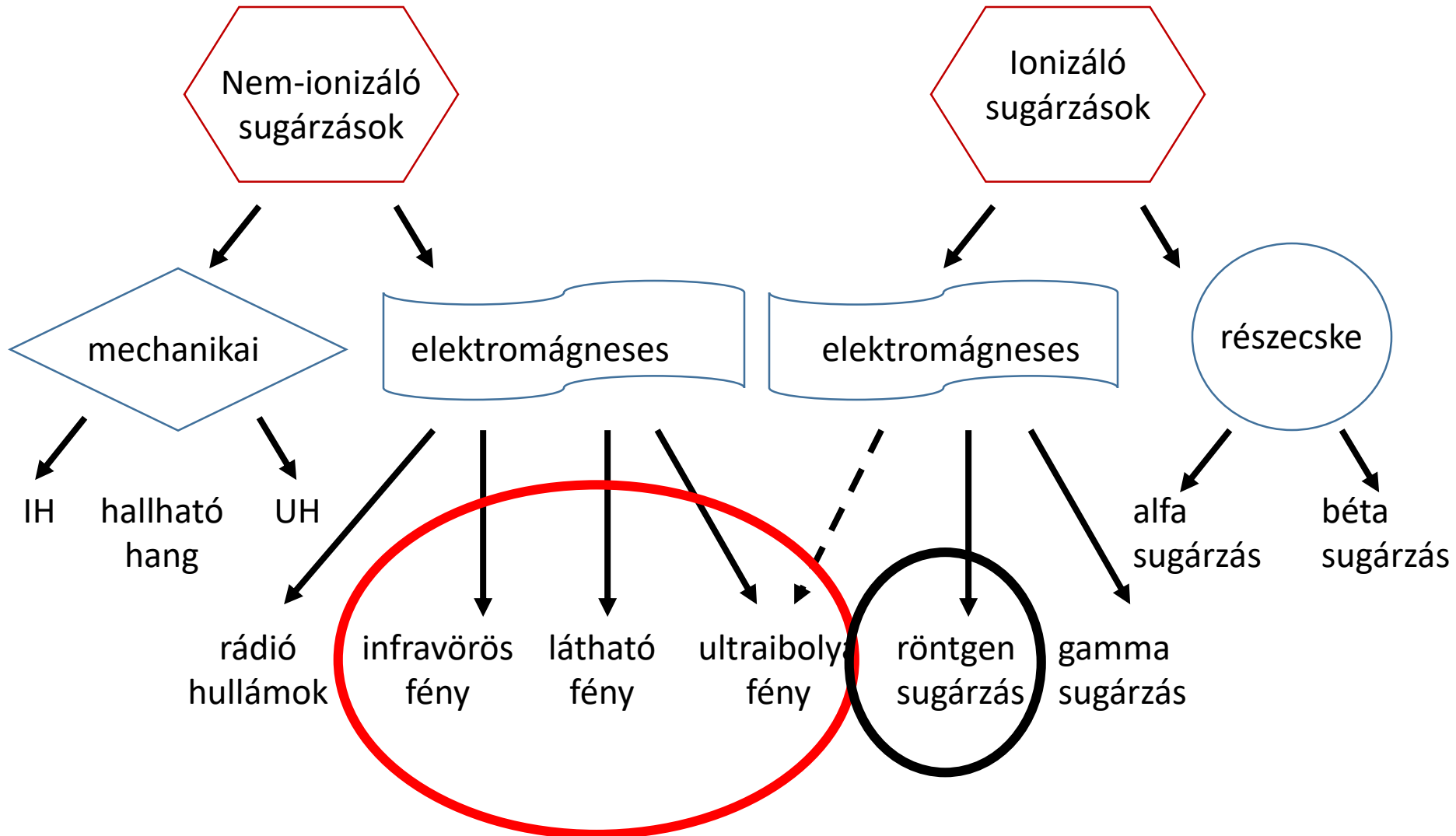
Jedlovsky-Hajdú Angéla

2020.04.15.



Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet,
Nanokémiai Kutatócsoport

Sugárzások



Eddig: fény

Következik: röntgensugárzás

fény

röntgensugárzás
(rtg. cső)

Fotonenergia 1.5 – 3 eV

20 – 200 keV

Primér hatás e^- gerjesztés

e^- ionizáció

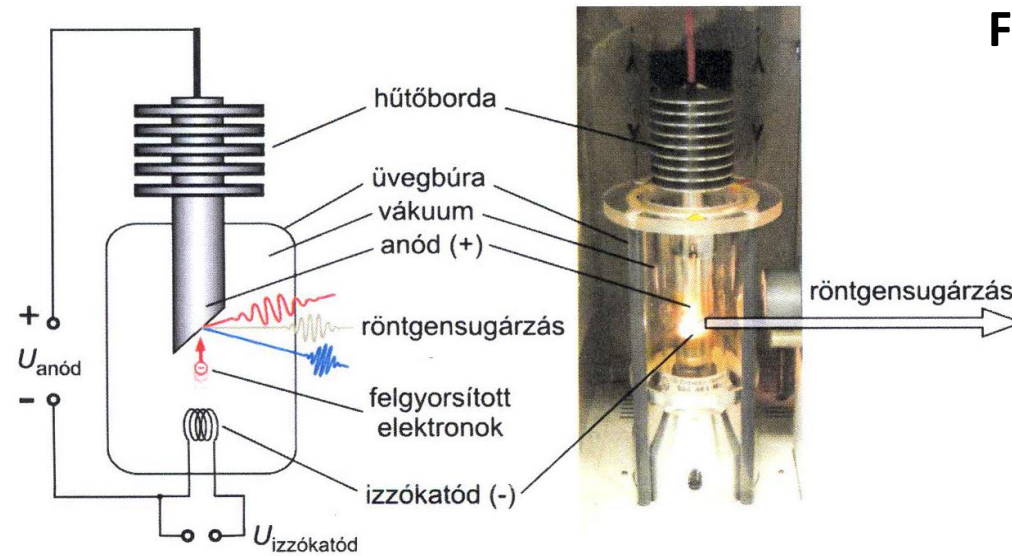
Elnyelődés diszkrét fotonenergiáknál
valószínűsége

energia folytonos függvénye

Forrása diszkrét elektron-átmenet
(spontán vagy indukált emisszió)
fekete-test sugárzás

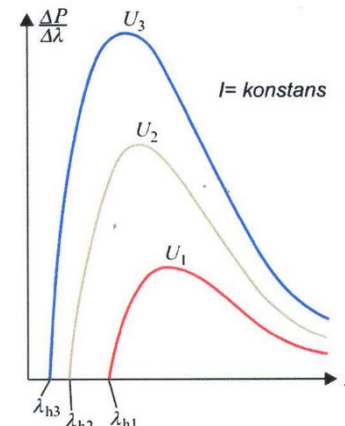
diszkrét elektron- átmenet
elektronok fékeződése

Röntgen cső felépítése és működése - ISMÉTLÉS



Anód anyaga: W , Mo – magas olvadáspont

Fékezési RTG sugárzás



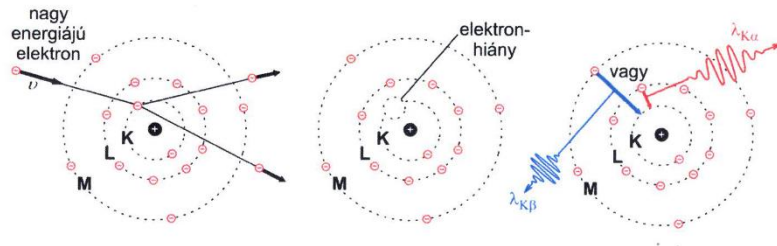
- Folytonos spektrum
- Határhullámhosszal rendelkezik

$$\lambda_h = \frac{k}{U}$$

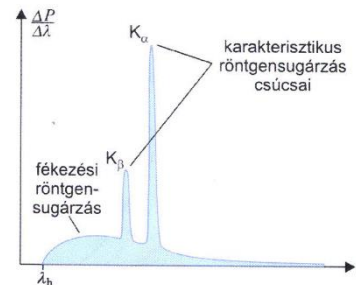
Duane-Hunt törvény

$$P_{rtg} = konst * U^2 * I * Z$$

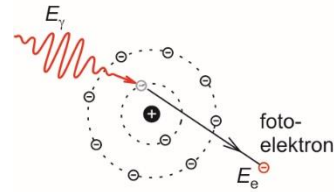
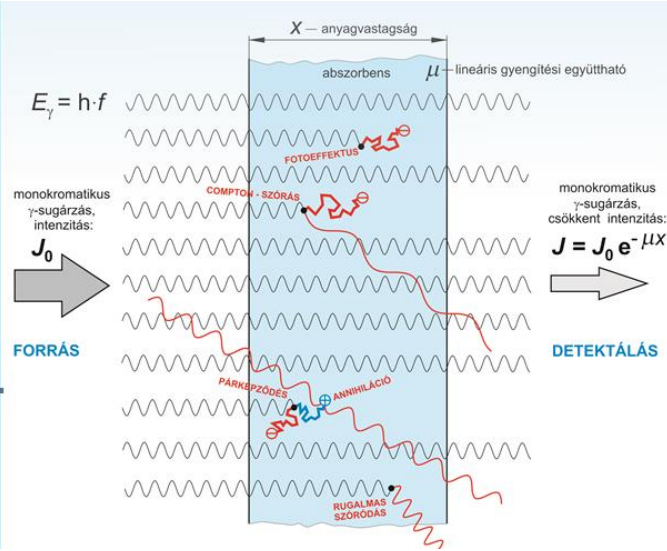
Karakterisztikus röntgensugárzás



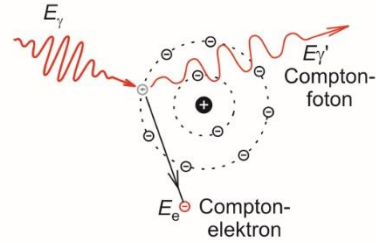
- ezen alapul a röntgendiagnosztika



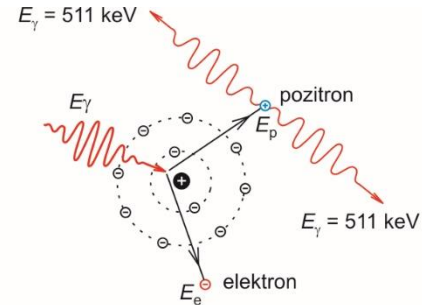
Röntgen sugárzás kölcsönhatása az anyaggal - ISMÉTLÉS



a.) fotoeffektus
 $E_\gamma = A + E_e$
 A = kilépési munka



b.) Compton-szórás
 $E_\gamma = A + E_e + E'_\gamma$



c.) párképződés, annihiláció
 $E_\gamma = 2 m_e c^2 + E_e + E_p$
 (ha $E_\gamma > 1022 \text{ keV}$)

$$J = J_0 e^{-\mu_m \cdot x_m}$$

$$\mu_m = \tau_m + \sigma_m + \kappa_m$$

$$\tau_m = C \lambda^3 Z^3$$



(a)

Figure 4.10 Two radiographs taken by Röntgen. (a) The hand of Mrs. Röntgen. (The Bettmann Archive/Bettmann Newsphotos.) (b) Radiograph of a fully clothed man, showing not only the man's skeleton but also the keys in his pockets, the nails of his shoes, and the metal clasps of his garters. (Deutsches Museum, München.)



(b)

Karakterisztikus Rtg sugárzás alkalmazása

1. Kémiai analízis

- igen kis mennyiségből elemzés
- a minta az anód szerepében → kriminológia

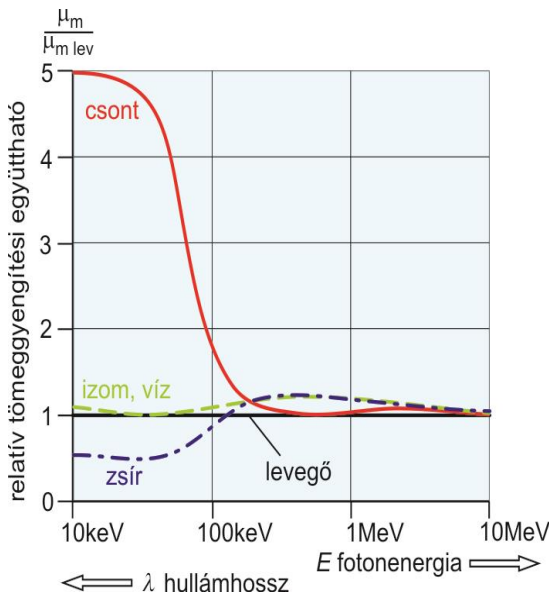
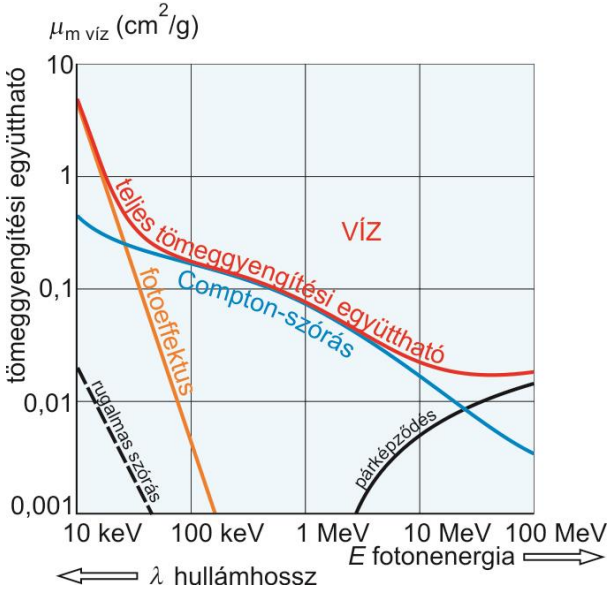
2. Mo anód karakterisztikus röntgensugárzása

Mammográfia ~17.5 keV monokromatikus sugárzás



Röntgendiagnosztikai alkalmazások (fékezési sugárzás)

*A diagnosztikai alkalmazások a rtg sugárzás szöveti **elnyelődésén** alapulnak*



τ_m erősen függ Z-től és a fotonenergiától

Röntgen-kép kontrasztja függ
- **sűrűségkülönbségektől**
- **rendszám-különbségektől**

Rtg-kép kontrasztja függ a

- **Sűrűségkülönbségektől**
-> **negatív kontrasztanyagok**
- **rendszám-különbségektől**
-> **pozitív kontrasztanyagok**



$$\mu_m = \tau_m + \sigma_m + \kappa_m$$

$$\mu = \mu_m \times \rho$$

$$\tau_m = C \lambda^3 Z^3$$

$$Z_{\text{eff}} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^n w_i Z_i^3}$$



Figure 4.10 Two radiographs taken by Röntgen. (a) The hand of Mrs. Röntgen. (The Bettmann Archive/Bettmann Newsphotos.) (b) Radiograph of a fully clothed man, showing not only the man's skeleton but also the keys in his pockets, the nails of his shoes, and the metal clasps of his garters. (Deutsches Museum, Munchen.)



Wilhelm Konrad Röntgen
(1845-1923)

1895: a sugárzás felfedezése és publikálása

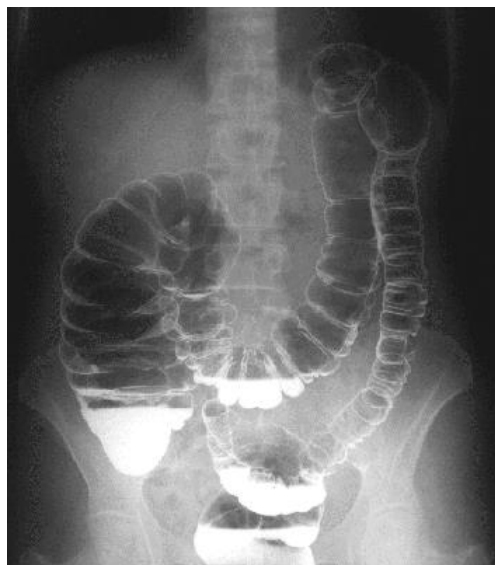
1896 jan. javaslat orvosi alkalmazásra
1901 fizikai Nobel-díj



A hagyományos röntgenképek röntgensugár segítségével készülnek. Ez az erős sugárzás áthatol a testen és csak bizonyos szervekben, legfőképpen a csontokban nyelődik el, szóródik szét.

Az áthatoló, szétszóródó sugarak a test mögé helyezett filmre érkeznek. A filmekben tulajdonképpen a szervek röntgenárnyéka jelenik meg.

Példa kontrasztanyag használatára



Vastagbél
felvétel negatív
és pozitív
kontrasztanyag
használatával
Ablakozás

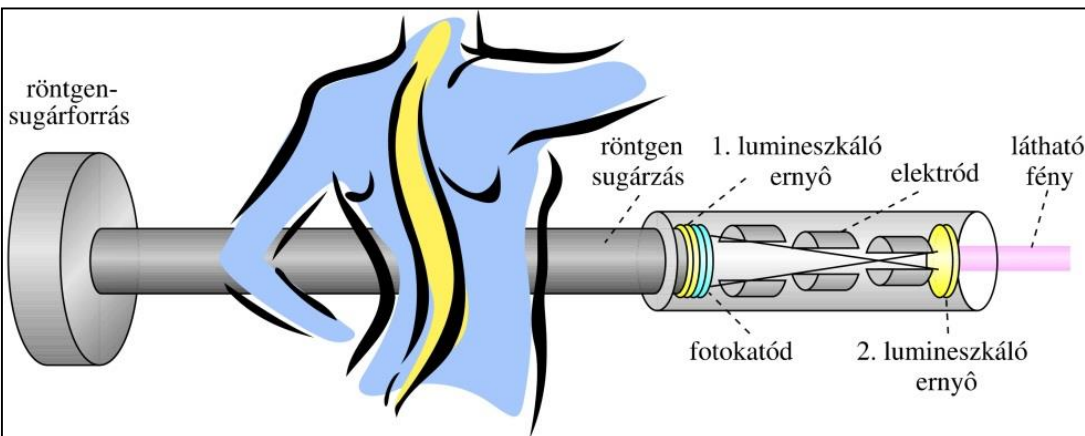
$$Z_{\text{eff}} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^n w_i Z_i^3}$$

**Rtg-diagnosztikai szempontok →
lágy sugárzási komponensek
kiszűrése**

Rtg-diagnosztikai szempontok → a sugárterhelés csökkentése, digitalizálás

Rtg-kép erősítő:

- optikai kép, de kicsinyített
- sugárterhelés csökken



Új lumineszkáló anyagok fejlesztése

C-karos készülék
rtg.-kép erősítővel

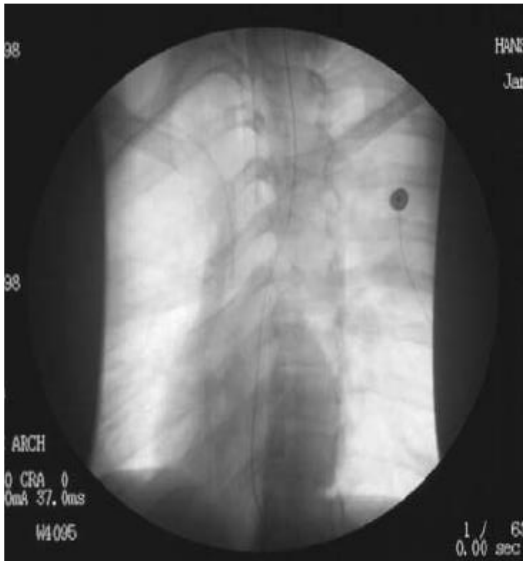


Rtg-diagnosztikai szempontok → a digitalizálás jelentősége: DSA

DSA: Digital Subtraction Angiography

Menete:

1. Hagyományos rtg felvétel -> digitalizálás, tárolás
2. Kontrasztanyag beadása (beteg nem mozdul)
3. Második felvétel kontrasztanyaggal -> digitalizálás, tárolás
4. Pixelenként a két kép különbsége -> megjelenítés



natív

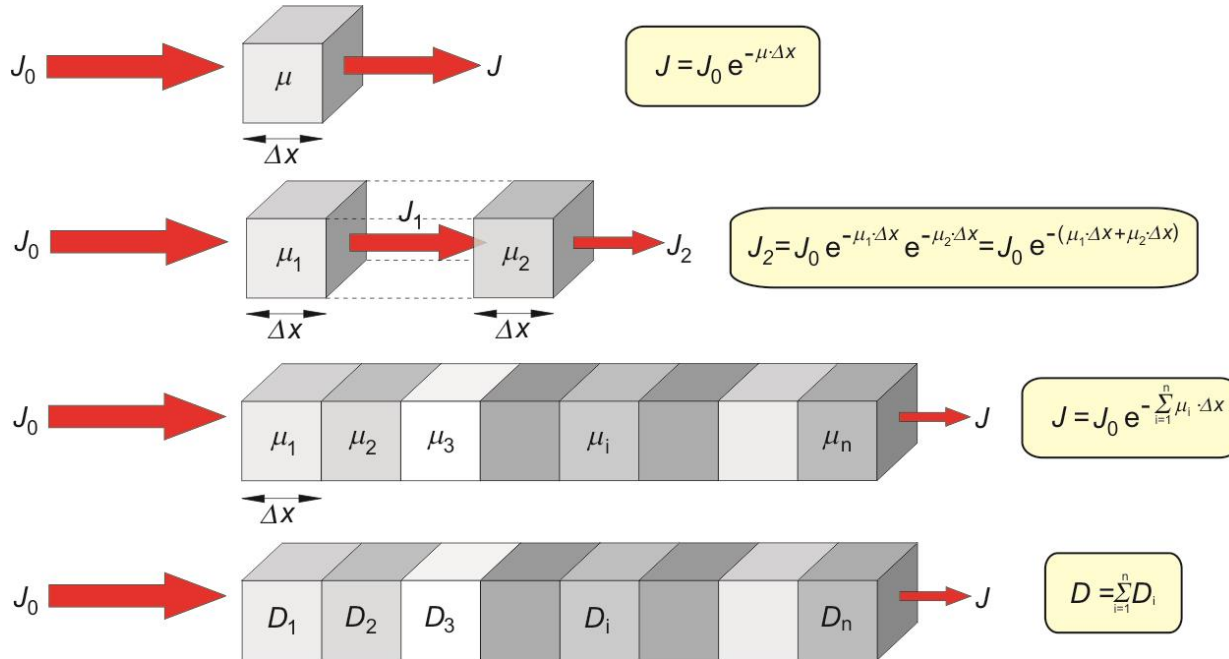


kontrasztanyag



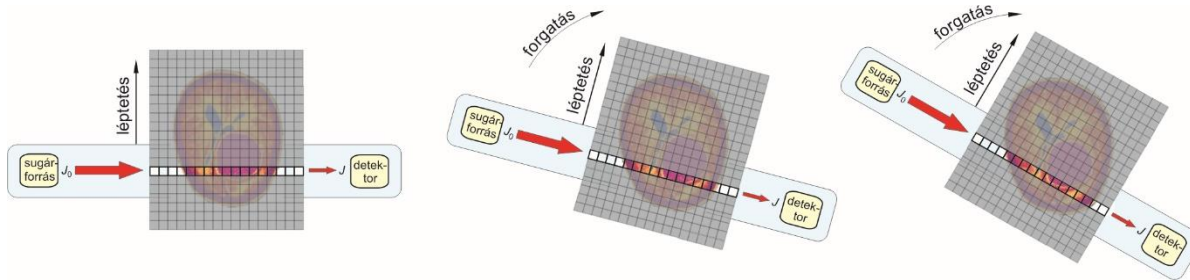
kontraszt - natív

Rtg-diagnosztikai szempontok – az átvilágításban „szummációs” kép keletkezik



Megoldás: egy testszelet többirányú átvilágítása → minden képelem több kombinációban → **Röntgen- CT** (gyakorlaton)

$$D = \lg \frac{J_0}{J}$$

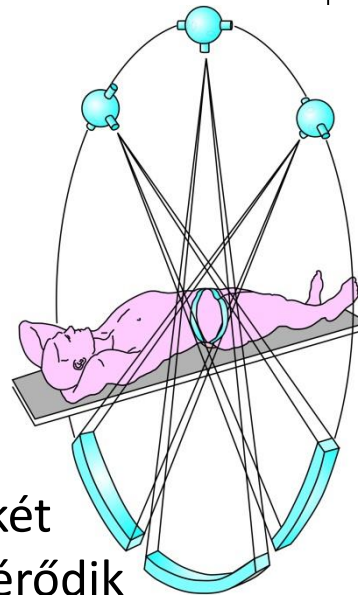
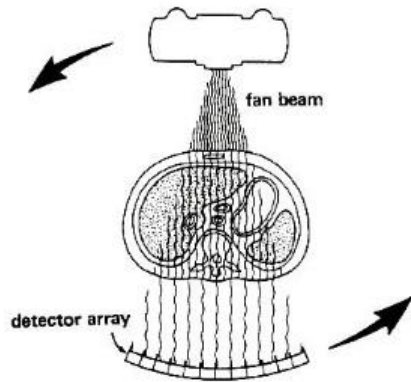


Gyakorlat!!!!

Röntgen-CT

Mérési adatgyűjtés:

-jól definiált sok irány mentén, egy síkban



G.H.Hounsfield A.M.Cormack
Nobel díj 1979

Nagy sugárterhelés

~ 500x hagyományos

-minden képelem járuléka legalább két
független irány mentén megmérődik

-kiértékelés: számítással $\rightarrow m_i$ képelemenként \rightarrow metszeti eloszlások
vizualizálása

Röntgen-CT

Hounsfield-skála - ablakozás

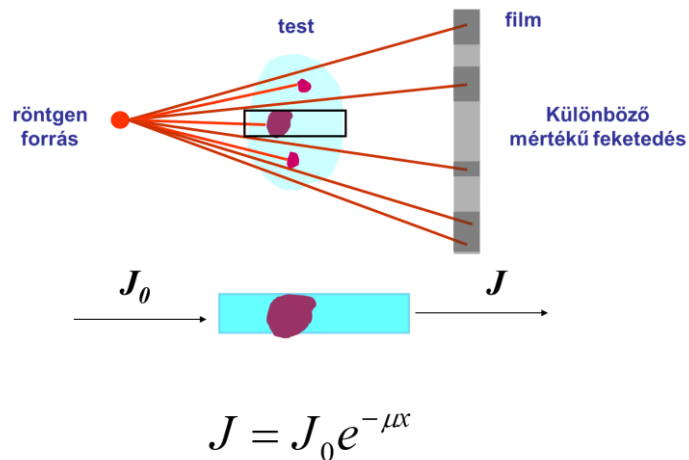
$$HU = \frac{\mu - \mu_{\text{víz}}}{\mu_{\text{víz}}} * 1000$$

Tömör csont	250-1000
Szivacsos csont	130-100
Máj	65
Izom	45
Vese	30
Koagulált vér	80
Vér	55
Plazma	27
Zsírszövet	-65
Tüdő	-500, -800

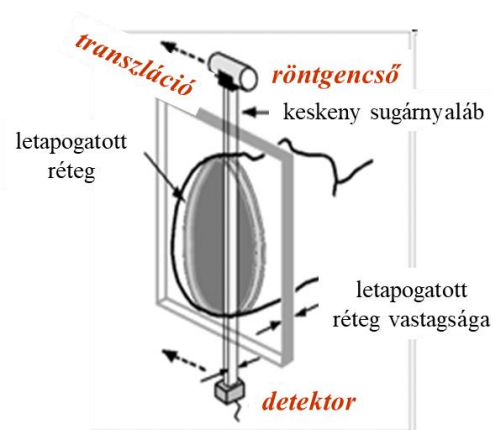
Ablakozás: egy adott tartomány
széthúzása a teljes
szürke-skálán



Szummációs kép



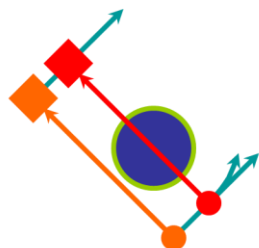
Első generációs CT



Egymást követő detektálási pozíciók

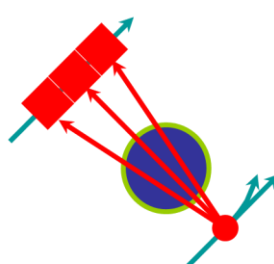
CT generációinak fejlődése

első generáció



Egy detektor
"Haladás és elfordulás"
Párhuzamos sugarak

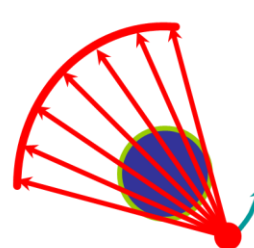
második generáció



Több detektor
"Haladás és elfordulás"
Enyhe legyezőnyaláb

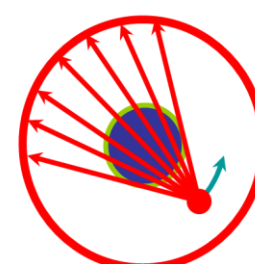
CT generációinak fejlődése

harmadik generáció



Számos detektor
Csak elfordulás
Széles legyezőnyaláb

negyedik generáció



Rögzített detektorgyűrű
Csak a sugarforrás elfordulása
Széles legyezőnyaláb

második generáció

5 perc

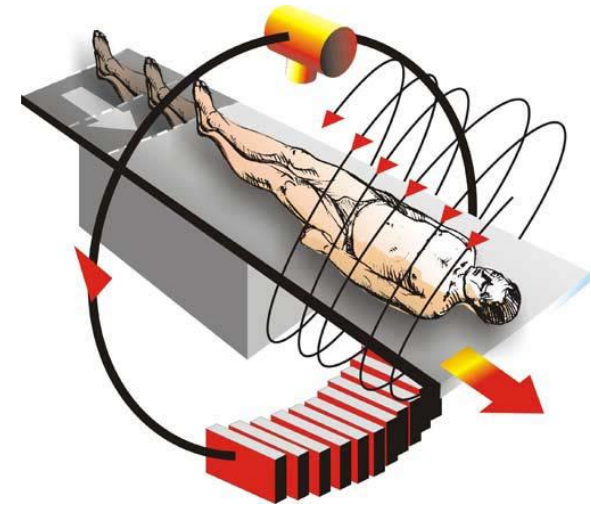


negyedik generáció

2 másodperc



- A detektor és a forrás forgása mellett a test is mozog. A mérési adatok egy spirál mentén származnak.
- A számítógép ezekből az adatokból rekonstruálja első lépésben a szeleteket.
- Pontosabb 3D rekonstrukció



Röntgen sugárzás terápiás alkalmazások

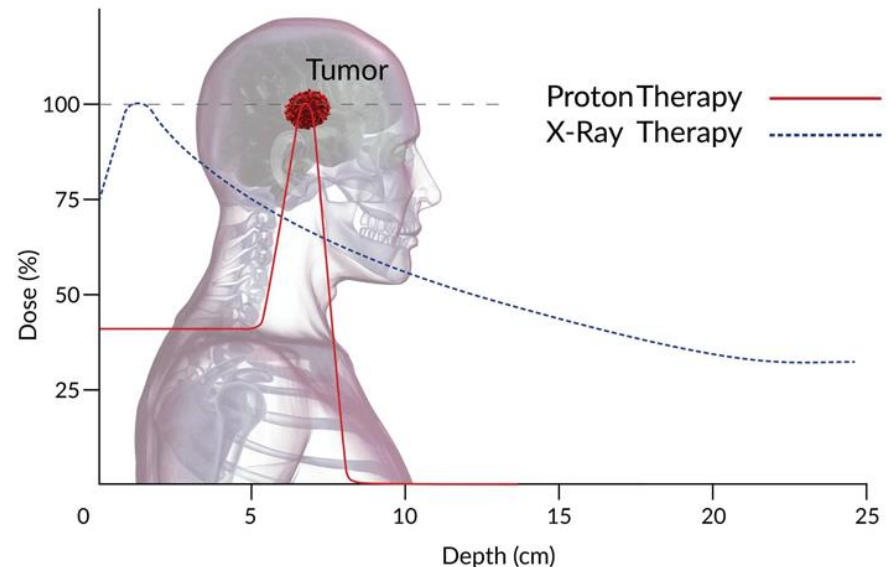
NCI (National Cancer Institute) → A type of radiation therapy that uses high-energy radiation from x-rays to kill cancer cells and shrink tumors.

Hogyan? → DNS károsításával

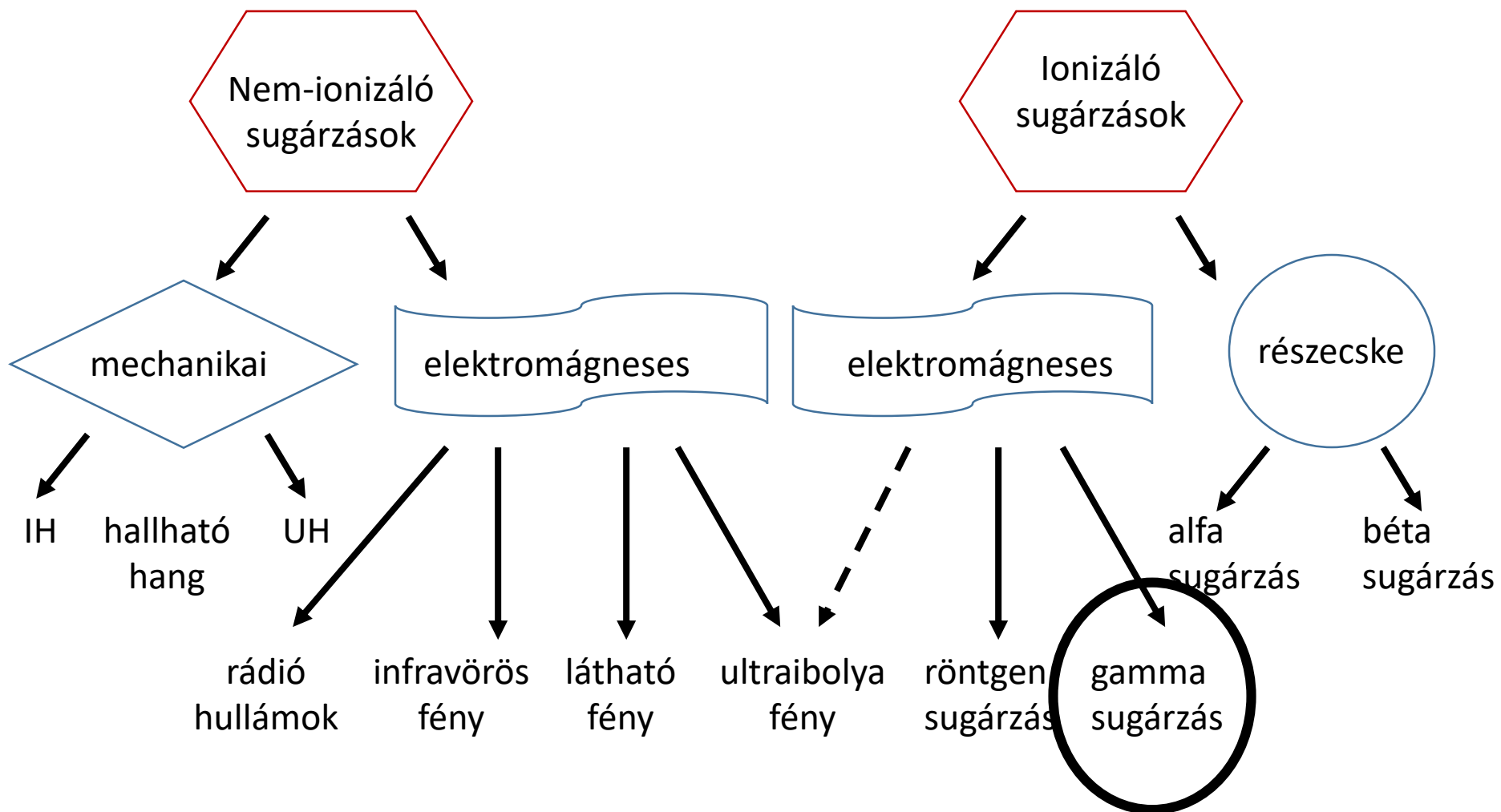
Napok vagy hetek kellene hozzá, hogy annyira károsítsa egy daganatos területen a DNS-t, hogy elpusztuljon a sejt, viszont a kezelés után még napokig, hetekig tart az elhalás, vagyis maga a hatása a kezelésnek.

A sugárforrás lehet külső vagy belső (Brachyterápia), ez függ attól, hogy:

- Milyen típusú a daganat
- Mekkora a mérete, kiterjedése
- Hol helyezkedik el a szervezetben belül
- Milyen közel helyezkedik el a daganato képest, leginkább az egészséges sejtek r sugárterhelésre
- A páciens általános egészségügyi állap
- Egyéb tumorelles kezelés folyik-e
- Egyéb faktorok (nem, életkor, kísérő be



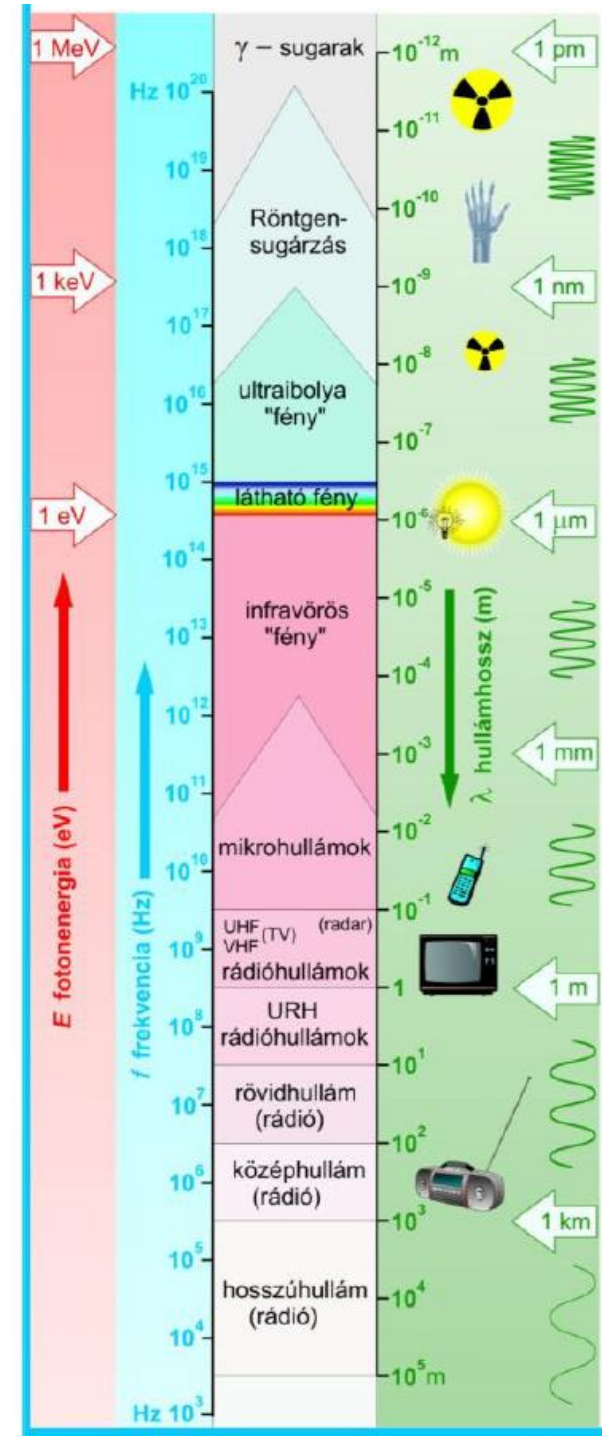
Sugárzások



Gamma-sugárzás

- $E = hf$
- $E = h \frac{c}{\lambda}$
- γ -sugárzás ($E > 100 \text{ keV}$)
 - radioaktív magok bomlása, kozmikus sugárzás
- Röntgensugárzás ($100 \text{ eV} - 1 \text{ MeV}$)
 - RTG cső (karakterisztikus és fékezési sugárzás)

A γ -sugárzás magreakciók során keletkezik. Az atommag energetikailag magasabb állapotban (aktivált) marad egy részecske kibocsátása után, és ez az állapot egy diszkrét értékkel csökken a stabil állapot eléréséhez. Az energiakülönbséggel egyenlő energiájú foton bocsátódik ki. => *meghatározott energiájú elektromágneses sugárzás*



Aktivitás (Λ)

$$\Lambda = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right|$$

N-bomlásra képes atomok száma

t- idő

ΔN - a Δt idő alatt elbomlott atomok száma

Aktivitás \rightarrow egységnyi idő alatt elbomlott atomok száma

mértékegysége: becquerel Bq

1 Bq = 1 bomlás/sec

Régi mértékegys: curie Ci

1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq = 37 GBq

A gyakorlatban: kBq, MBq, GBq, TBq PBq

mérhetetlenül
alacsony

természetes
radioaktivitás
szintje

in vivo
diagn.

óvatosan
dolgozzunk
vele!

terápiában
alkalmazott
aktivitás

Bomlástörvény

$$\Delta N \sim N$$

N a bomlásra képes (=elbomlatlan) atomok száma
 $(-\Delta N = a \Delta t)$ idő alatt elbomlott atomok száma

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

λ : bomlási állandó, bomlási valószínűség [1/s]
 $1/\lambda = \tau$ idő! átlagos élettartam

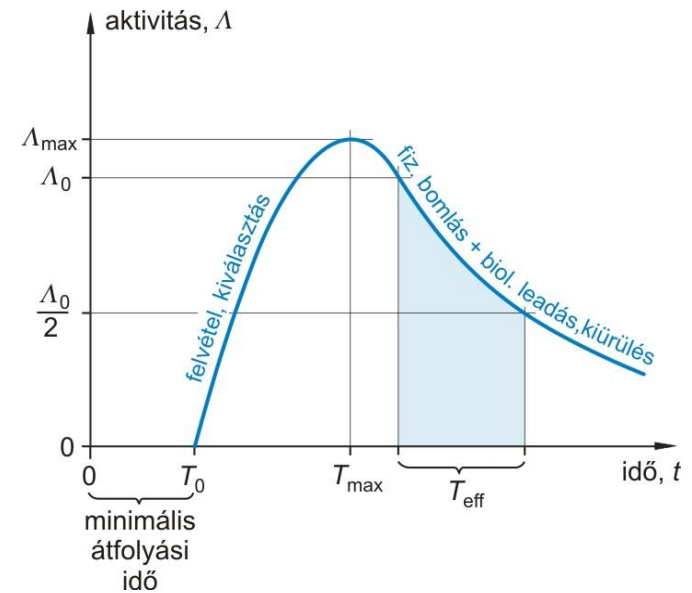
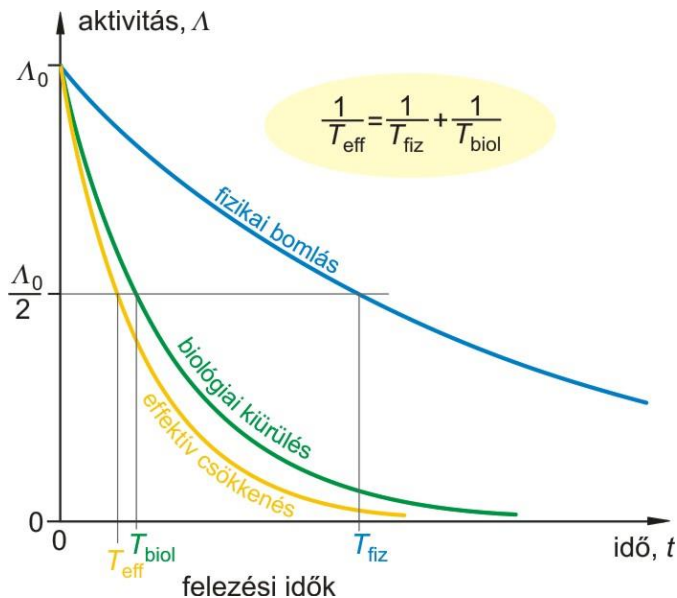
differentiálegyenlet

megoldása:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

exponenciális lecsengés!

N_0 az elbomlatlan atomok száma kezdetben ($t=0$)



az izotóp felezési ideje

$$\Lambda = \lambda N = \frac{0,693}{T} N$$

Csökkentésének határt szabnak a vizsgálat körülményei.

A betegsége védelmében minimalizáljuk!

Legyen minél rövidebb!

Csökkentésének határt szab vizsgálandó biológia folyamat időbeli lefolyása.

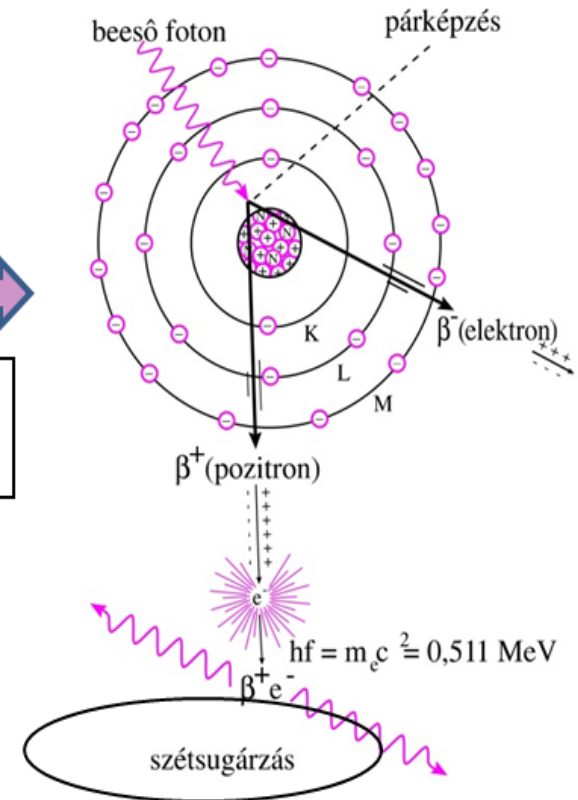
Érvényes az exponenciális abszorpció-törvény

$$J = J_0 e^{-\mu x} = J_0 e^{-\mu_m \rho x}$$

$$\mu_m = \tau_m + \sigma_m + \kappa_m$$

Harmadik mechanizmus ha $hf > 2 \times 0,511 \text{ MeV}$
párhépzés

$$hf = 2m_e c^2 + \frac{1}{2} m_e v_e^2 + \frac{1}{2} m_p v_p^2$$

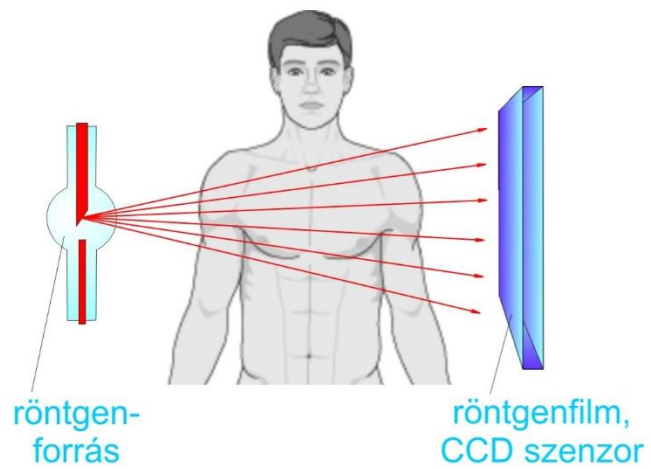


Pozitron-elektron annihiláció
 → 2 gamma foton ellentétes irányban
 0,511 MeV energiával

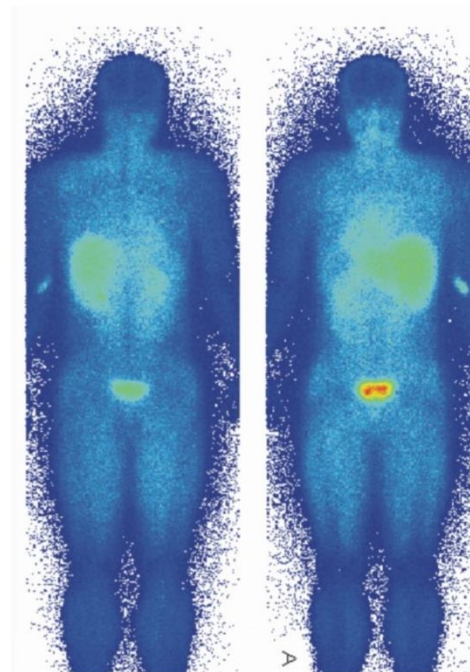
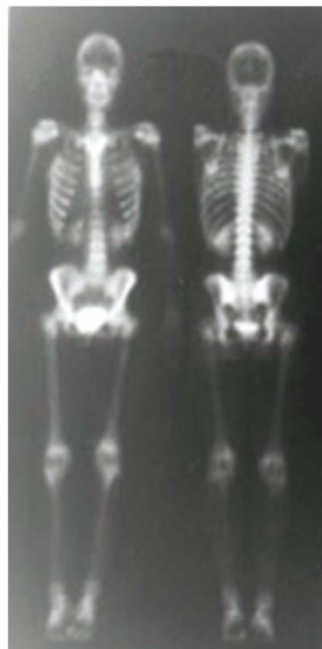
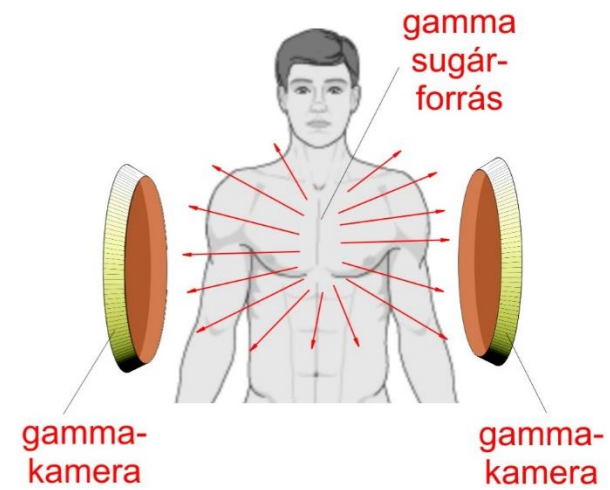
Diagnosztika – gamma kamera, SPECT (single photon emission computed tomography), PET (pozitron emission tomography)

Terápia – gamma kés

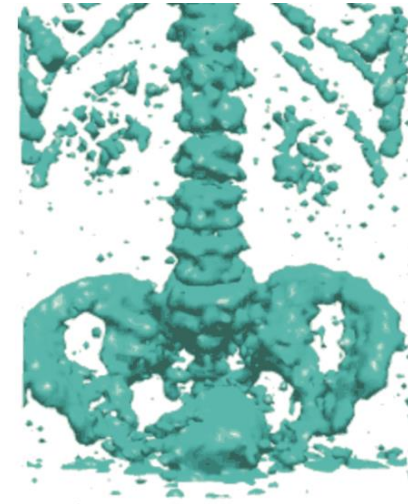
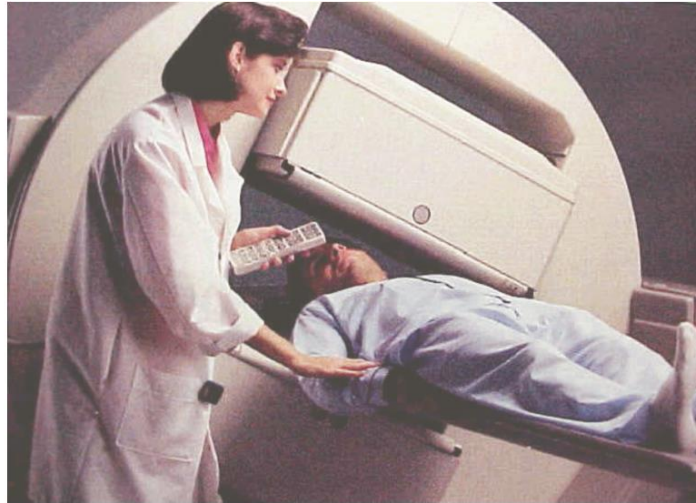
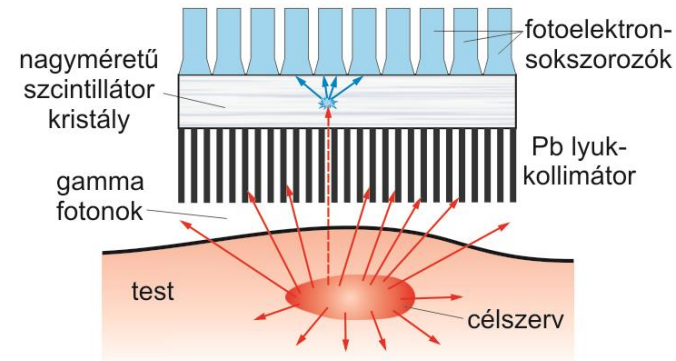
RÖNTGEN ÁTVILÁGÍTÁS



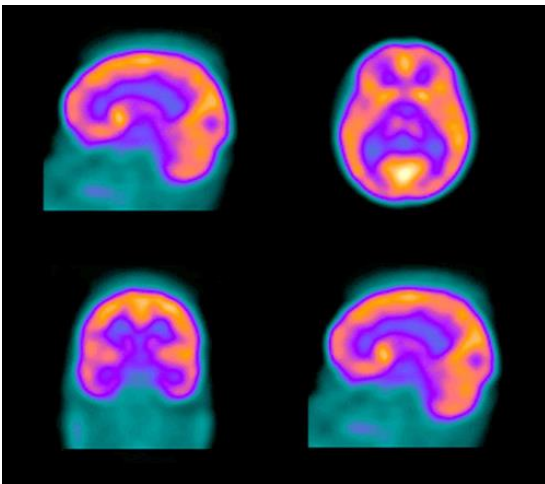
IZOTÓPDIAGNOSZTIKA



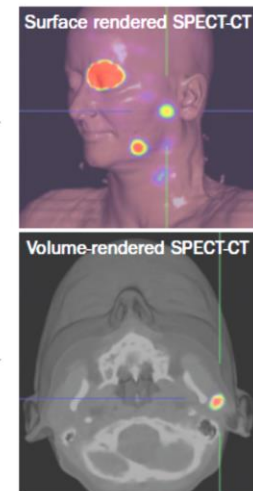
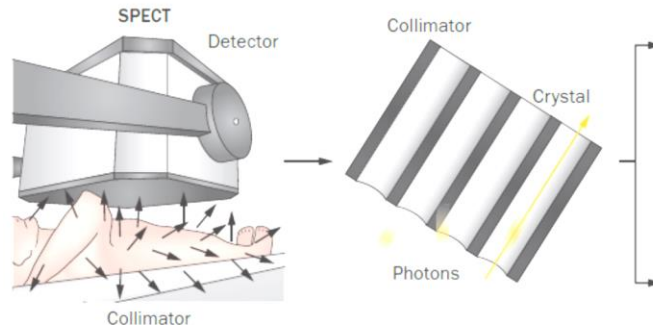
Gamma kamera, SPECT



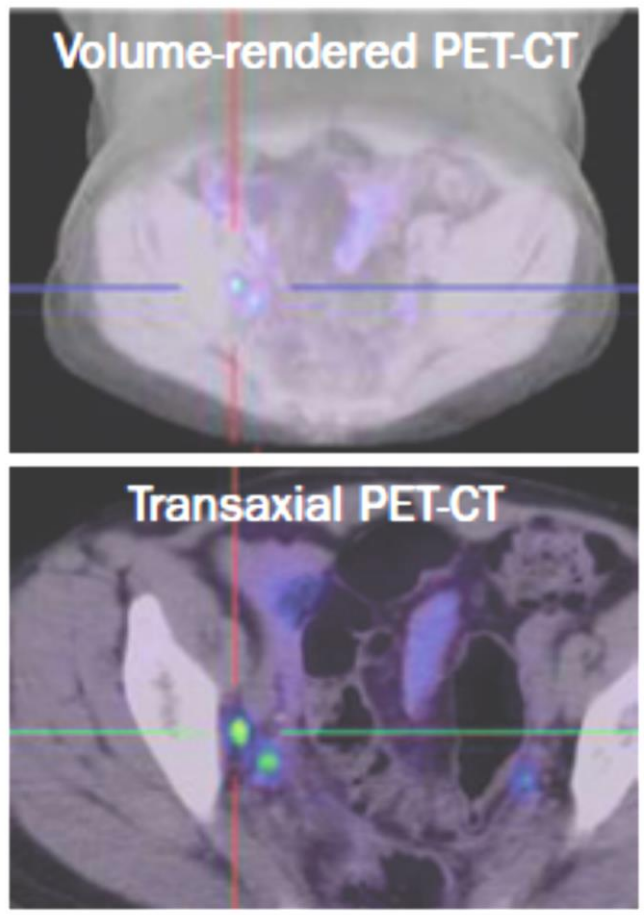
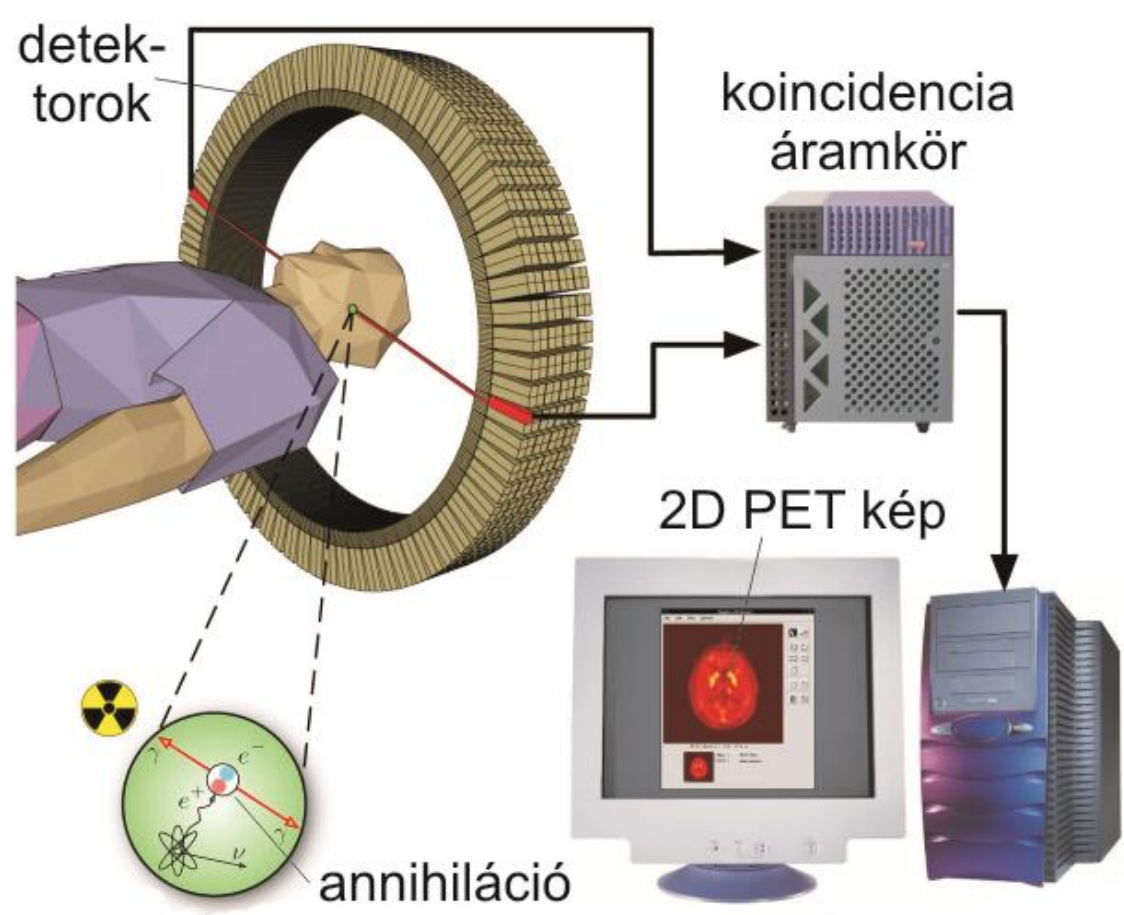
SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography): A gamma kamerával végzett planáris szcintigráfia továbbfejlesztett változata, amely egy, vagy több gamma kamera mérőfej többirányú felvételeit felhasználva az izotópeloszlás háromdimenziós képét (3D) állítja elő.



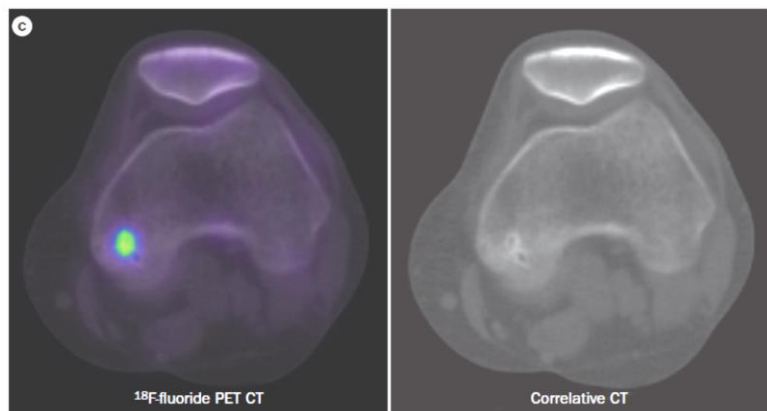
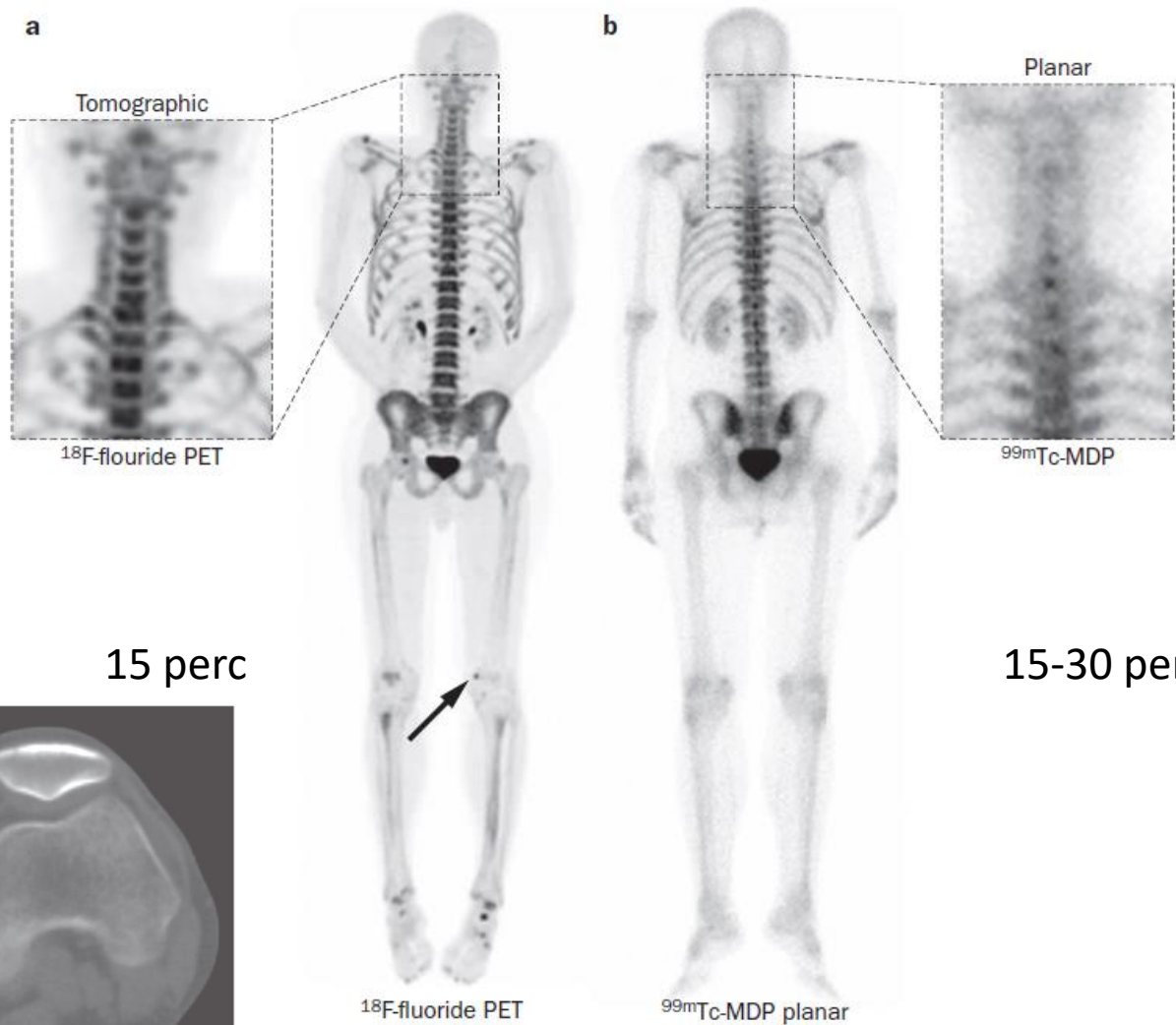
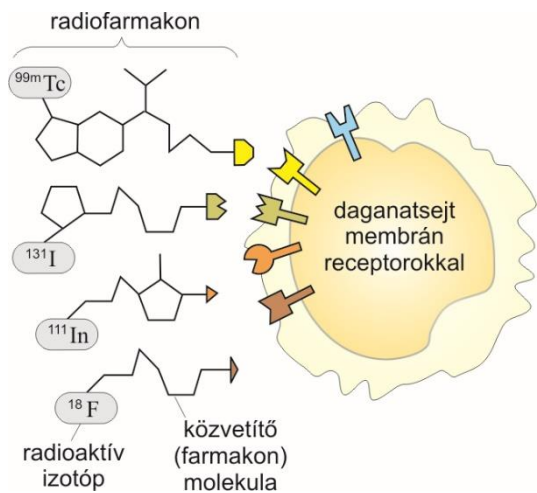
University of Utah



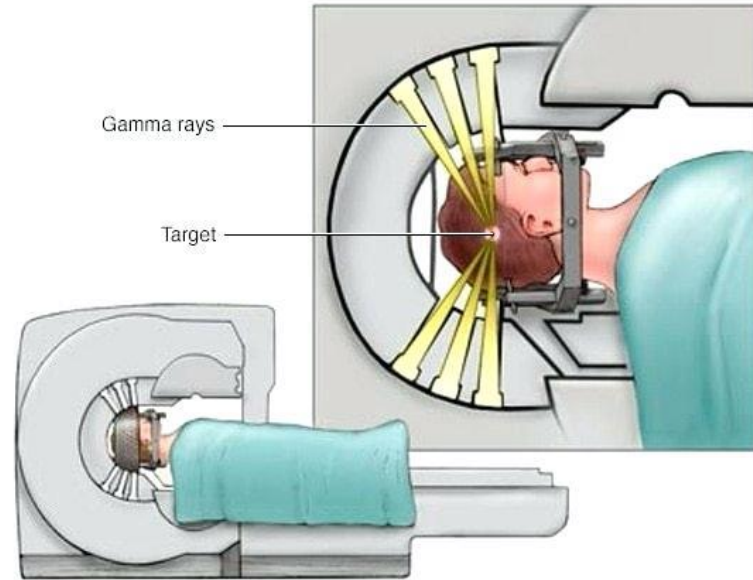
PET (Positron Emission Thomography): Rövid felezési idejű pozitronsugárzó izotóp által kibocsátott pozitron annihilációja két egymással ellenkező irányban távozó γ -fotont kelt, melyeket gyűrűben elrendezett, kollimátor nélküli szcintillációs detektorok fognak fel. A számítógép elemzi a detektált fotonok egyidejűségét, és kiszámítja a bomlások helyét, majd megjeleníti az izotóp két-, vagy háromdimenziós eloszlását.



Radiofarmakonok használata

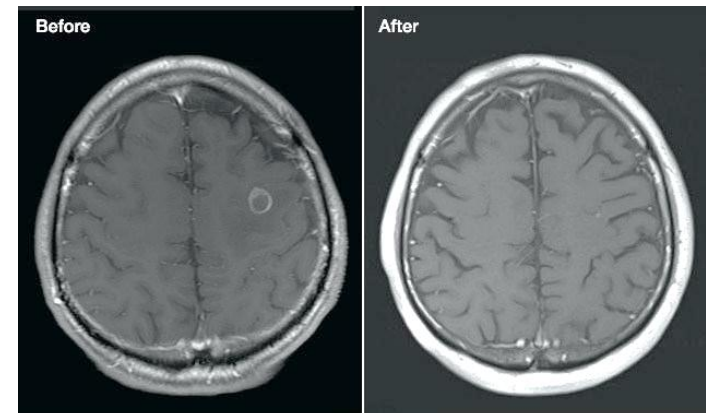


Gamma kés



© MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH

- Fókuszált gamma sugárzás
- Co^{60} mint sugárforrás (201 db)
- Gamma foton energiája 1MeV fölötti
- A szuperpozíció miatt van biológiai hatás
- Elsődleges indikáció: agydaganat, arcideg zsába, mielin hüvely degeneráció okozta problémák, stb



© MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH. ALL RIGHTS RESERVED.