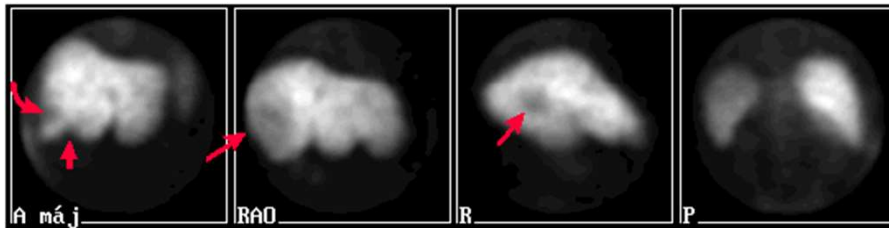
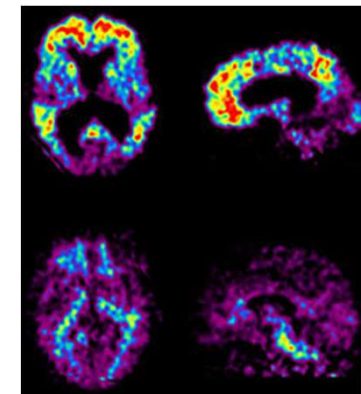


Ionizáló sugárzások diagnosztikai (és terápiás) alkalmazásai



Smeller
László



Semmelweis Egyetem
Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

1. Az izotópdiagnostika fizikai alapjai

- **Bevezetés**
- **Az izotóp kiválasztásának szempontjai**
- **Izotópdiagnostikai vizsgálati technikák**

Izotópdiagnosztika: olyan módszer, amely során a radioaktív **izotópok** által kibocsátott **sugárzás mennyiségének**, térbeli és időbeli **eloszlásának** detektálásával nyerünk **diagnosztikai információt**.

Milyen információt kaphatunk?

A vizsgált szerv mérete,
működőképessége, a
metabolizmus sebessége
(pl. pajzsmirigy jódfelhasználása
gyorsan növekvő tumorok,
metasztázisok kimutatása)



Hevesy György
1885-1966
1943 Nobel díj

Az izotóp kiválasztásának szempontjai

1. Melyik **elem** izotópját használjuk?
2. Mekkora **aktivitást** használjunk?
3. Milyen hosszú legyen az izotóp **felezési ideje**?
4. Milyen **sugárzást** emittáljon az izotóp?

1. Melyik elem izotópját használjuk?

Amelyik felhalmozódik a vizsgálandó szervben (kritikus szerv)

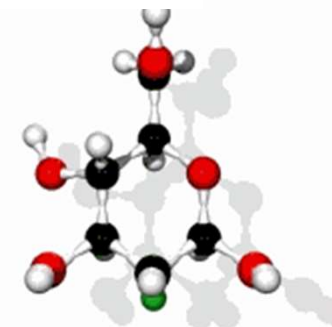
Tipikus pl. ^{123}I pajzsmirigyvizsgálathoz
 ^{59}Fe vörösvértest felépülés

De! Nincs minden szervhez ilyen izotóp
=> hordozómolekulára kell ültetni

Radiofarmakon=hordozómolekula+izotóp

↑ ↑
cél szerv megtalálása mérés

előny: (majdnem) szabadon választható az izotóp,
az izotóp tulajdonságai **optimalizálhatóak** a
sugárvédelem és a mérés szempontjából



Radioactive Sugar

2. Mekkora aktivitást használjunk?

sugárvédelem:
kicsit

detektálás:
nagyot

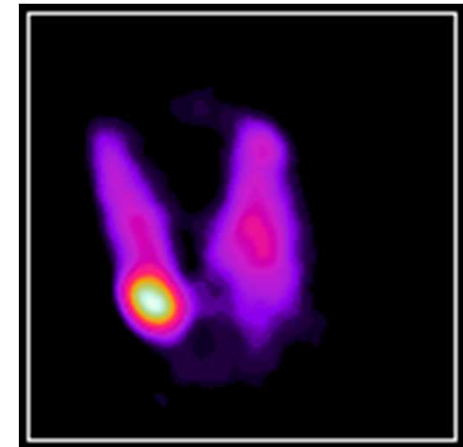
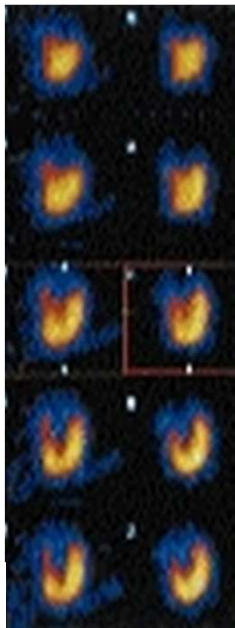
„arany középút”

10 MBq...100 MBq

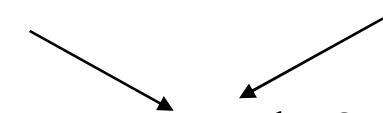
függ a mérés idejétől is!

gyors méréshez nagy aktivitás kell!

pl. szív



3. Felezési idő

$$A = \left| \frac{\Delta N}{\Delta t} \right| \qquad \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

$$A = \lambda N = \frac{\ln 2}{T} N$$

A bevitt radioaktív atomok száma: $N = \frac{AT}{\ln 2}$

Mivel (majdnem) az összes radioaktív atom a testben bomlik el:

$N \sim$ sugárterhelés

$\Rightarrow T$ legyen minél rövidebb

de nem legyen rövidebb, mint a
vizsgálandó folyamat karakterisztikus ideje!

4. Milyen sugárzást emittáljon az izotóp?

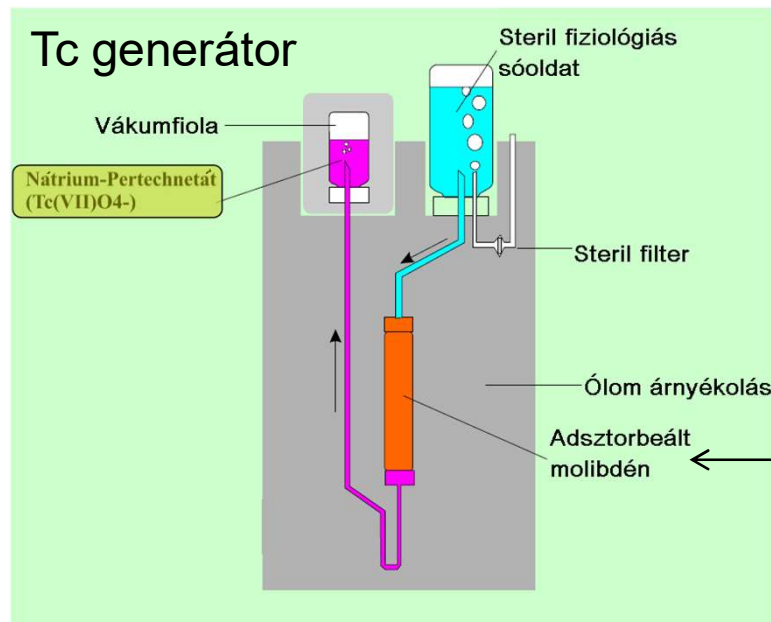
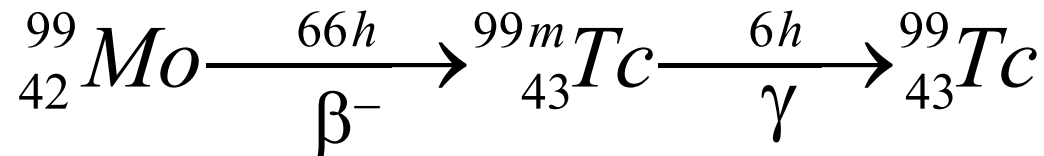
Az optimális izotóp **csak** γ sugárzást emittál!

kivétel PET, ahol β^+ izotópot használunk. (ld. később)

A tisztán γ -sugárzó izotóp:

- ritka
- izomer magátalakulás során bocsát ki γ -sugárzást pl. ^{99m}Tc

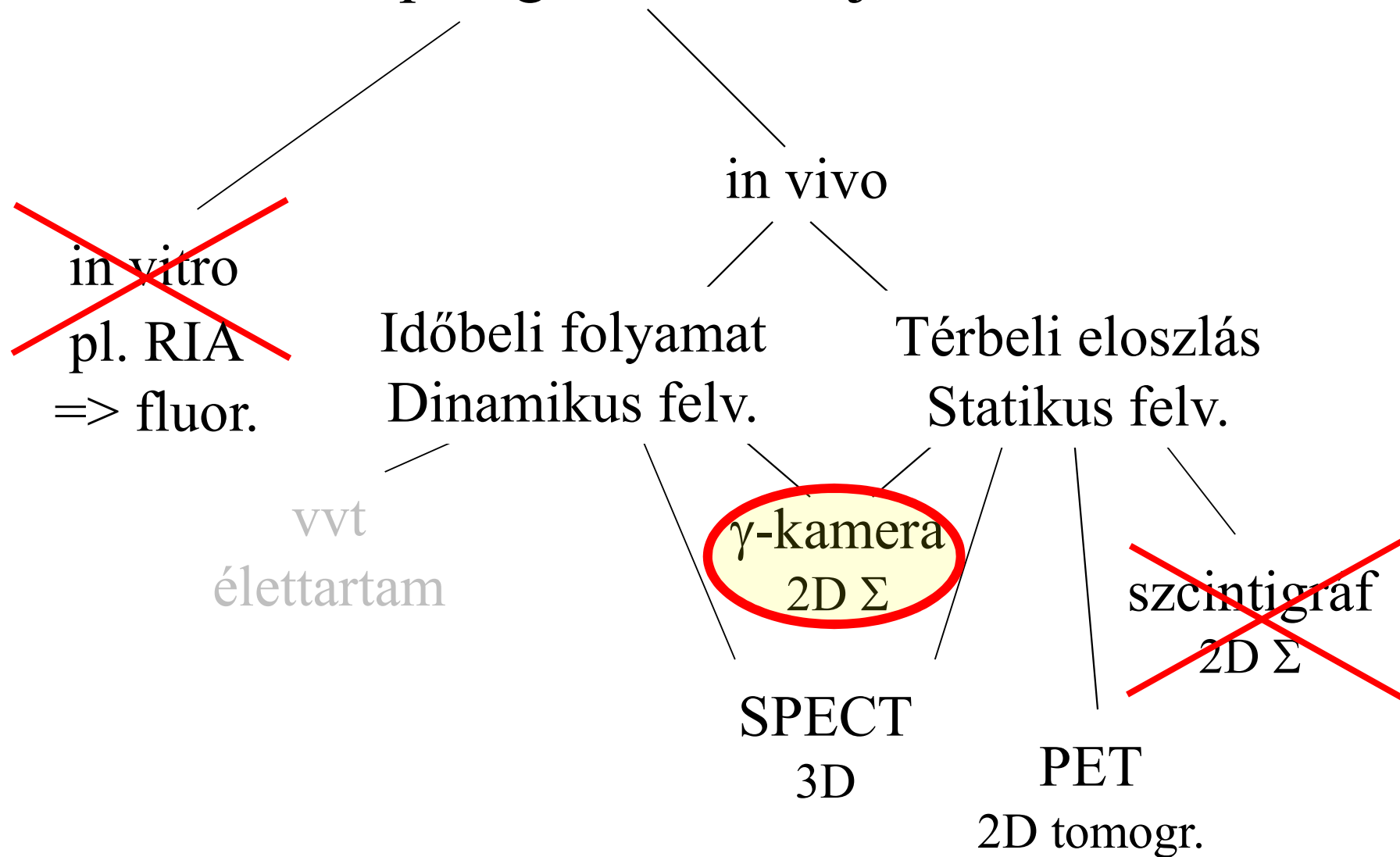
Az α és β sugárzás hatótávolsága kicsi, nem lép ki a testből, csak károsít!



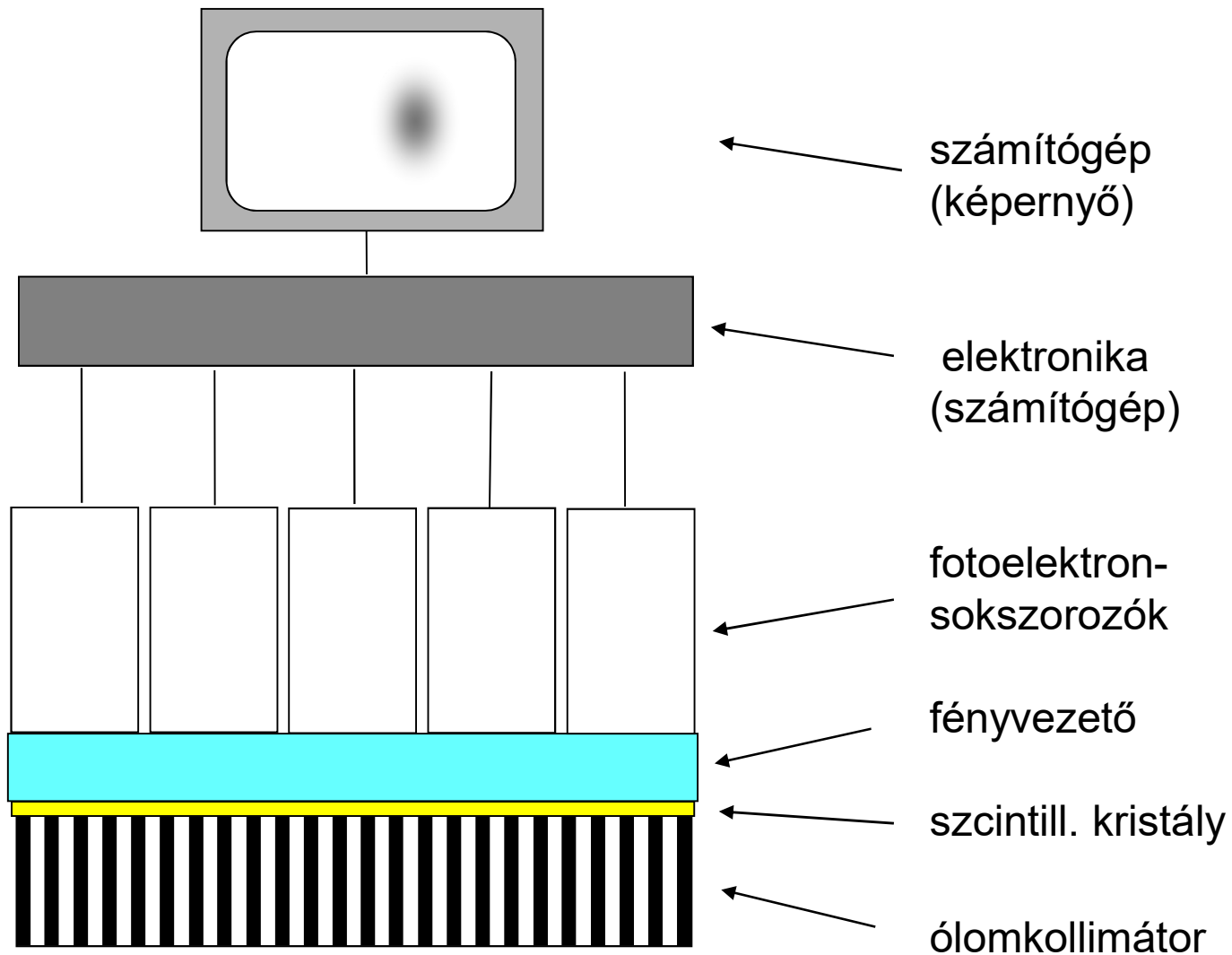
Időben szétválik a β^- és a γ kibocsátás. Elkülöníthető a ^{99m}Tc ami tisztán γ -sugárzó.

← ammónium-molibdenát (NH_4MoO_4)

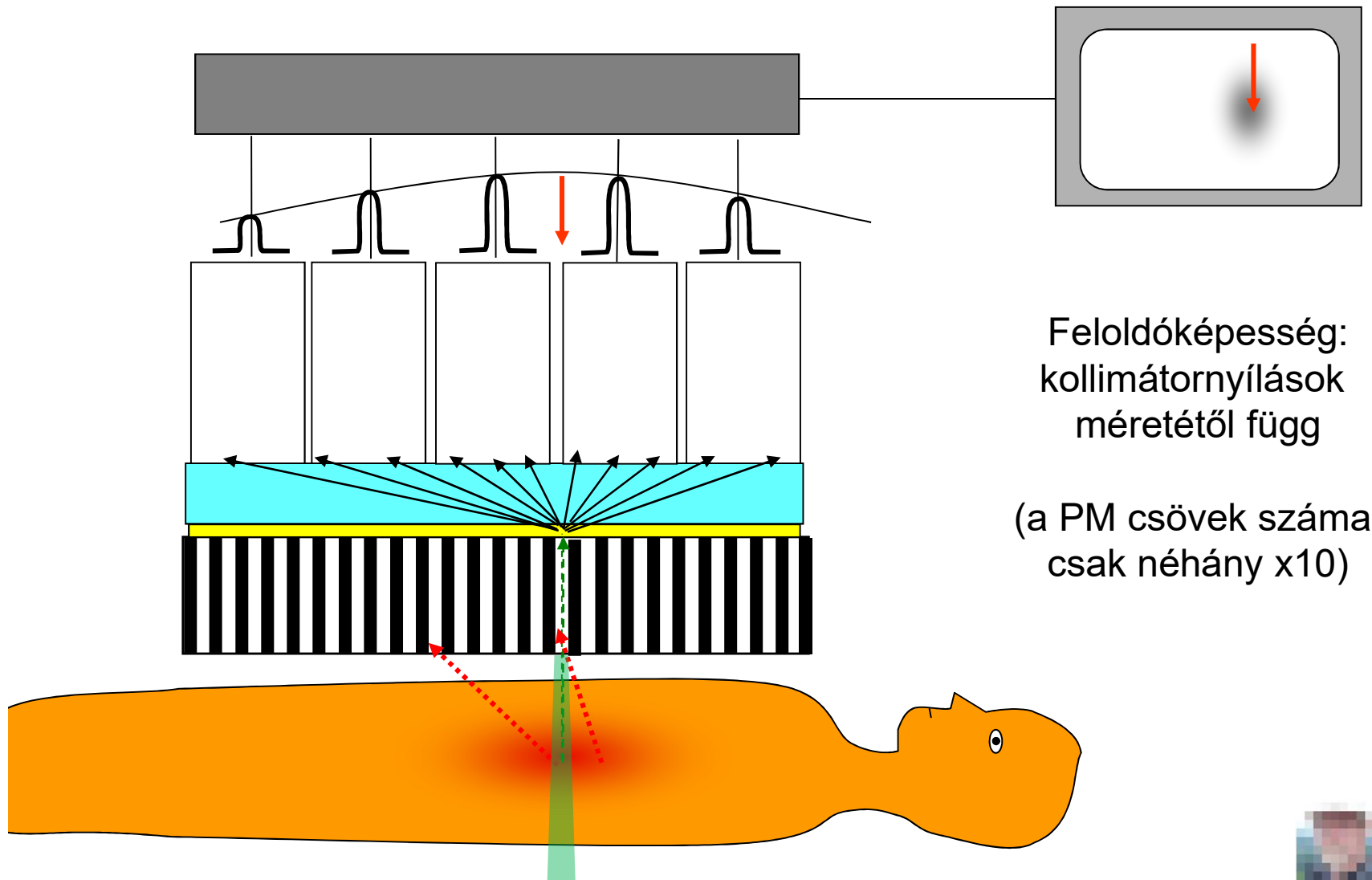
Izotópdiagnosztikai eljárások



In vivo > Térbeli eloszlás > γ -kamera



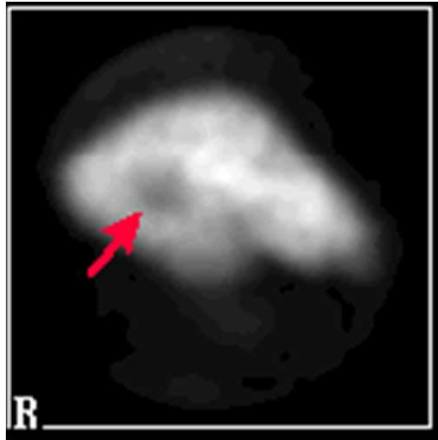
In vivo > Térbeli eloszlás > γ -kamera





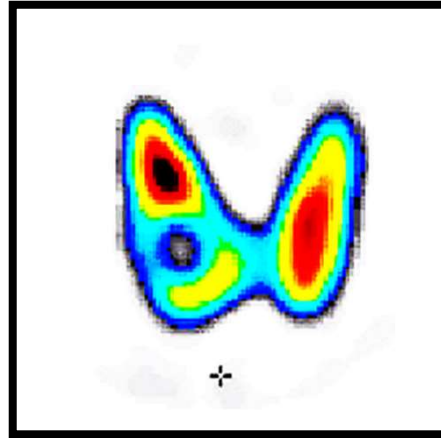


Néhány példa:

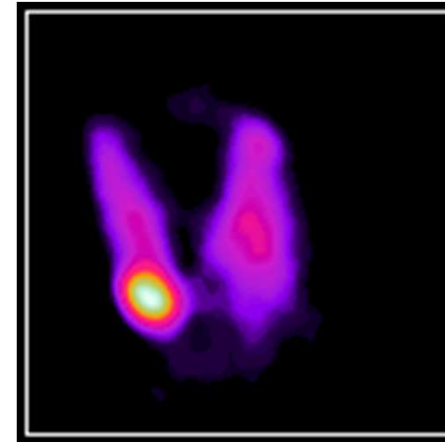


Máj metasztázis

^{99m}Tc fitát



pajzsmirigy
hideggöb



meleggöb

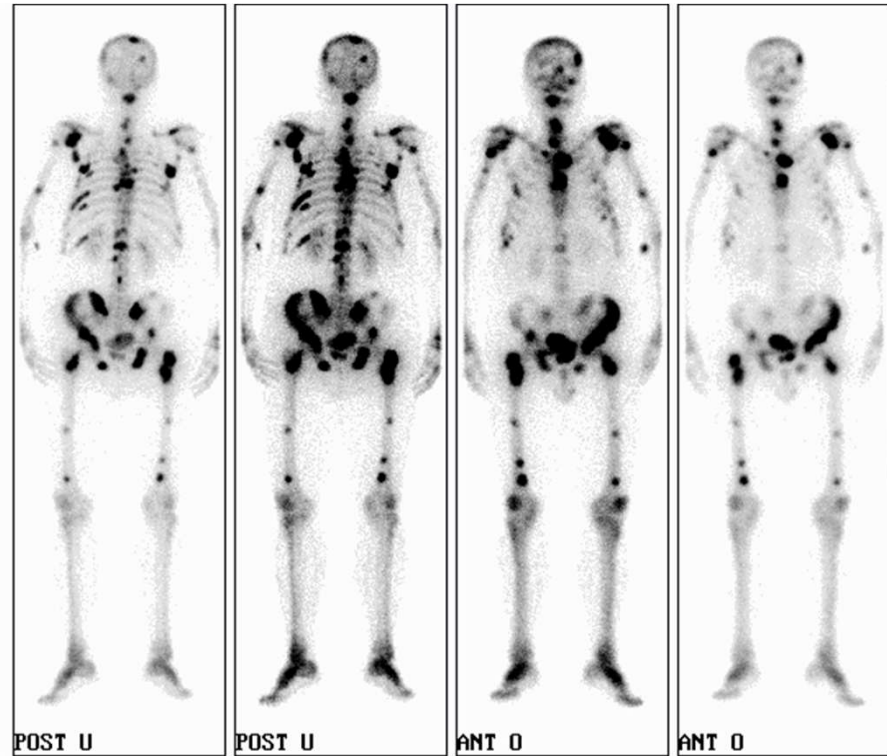
^{99m}Tc pertechnetát

Csontszcintigráfia

^{99m}Tc -MDP (^{99m}Tc -methyl diphosphonate): 600 MBq



normális

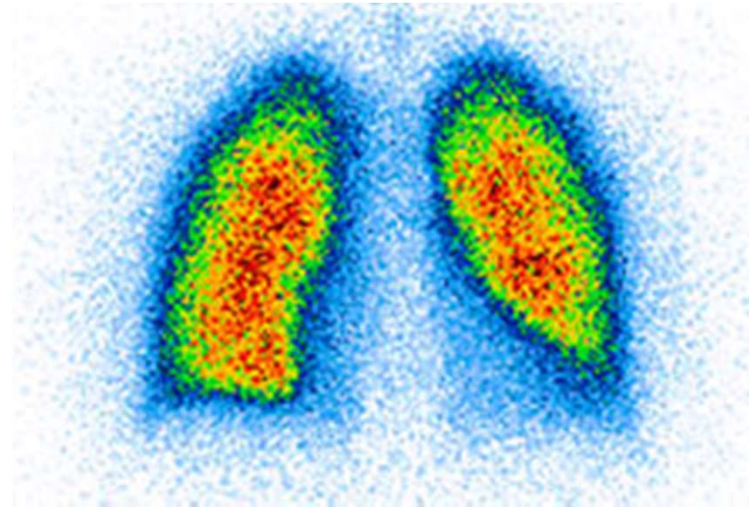


metasztázisok

Tüdő szcintigráfia

Perfúzió (vérkeringés)

Ventilláció (légutak)



izotópok:

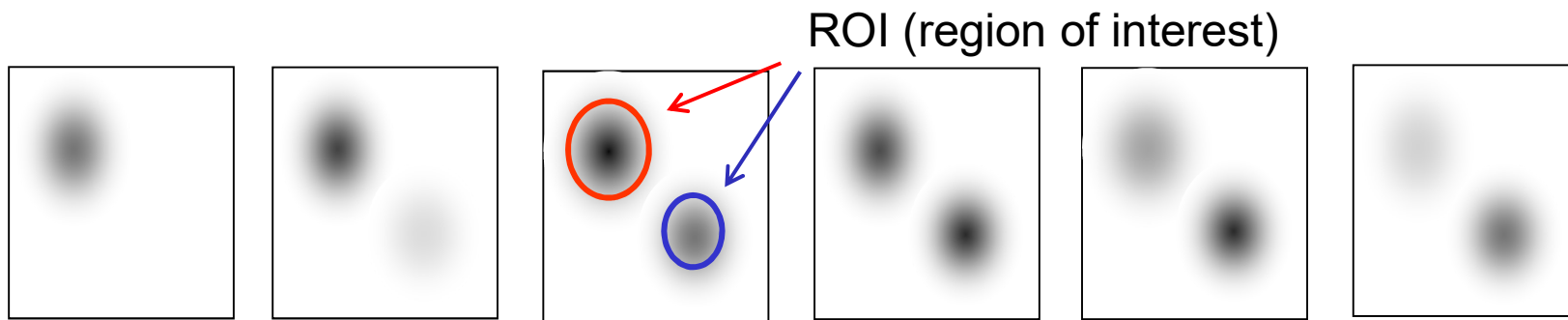
^{133m}Xe ^{99m}Tc

Kettős izotópjelzés detektálása: különböző energiájú γ -fotonok
(ld. gamma energia gyakorlat a 2. szemeszterben)

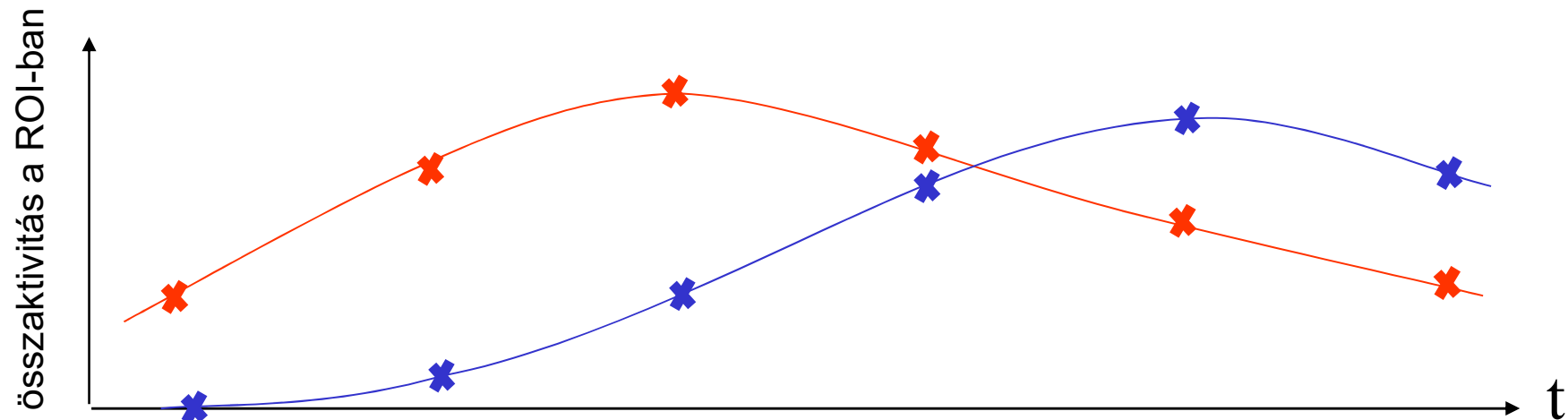
Időbeli és térbeli információ egyidejűleg

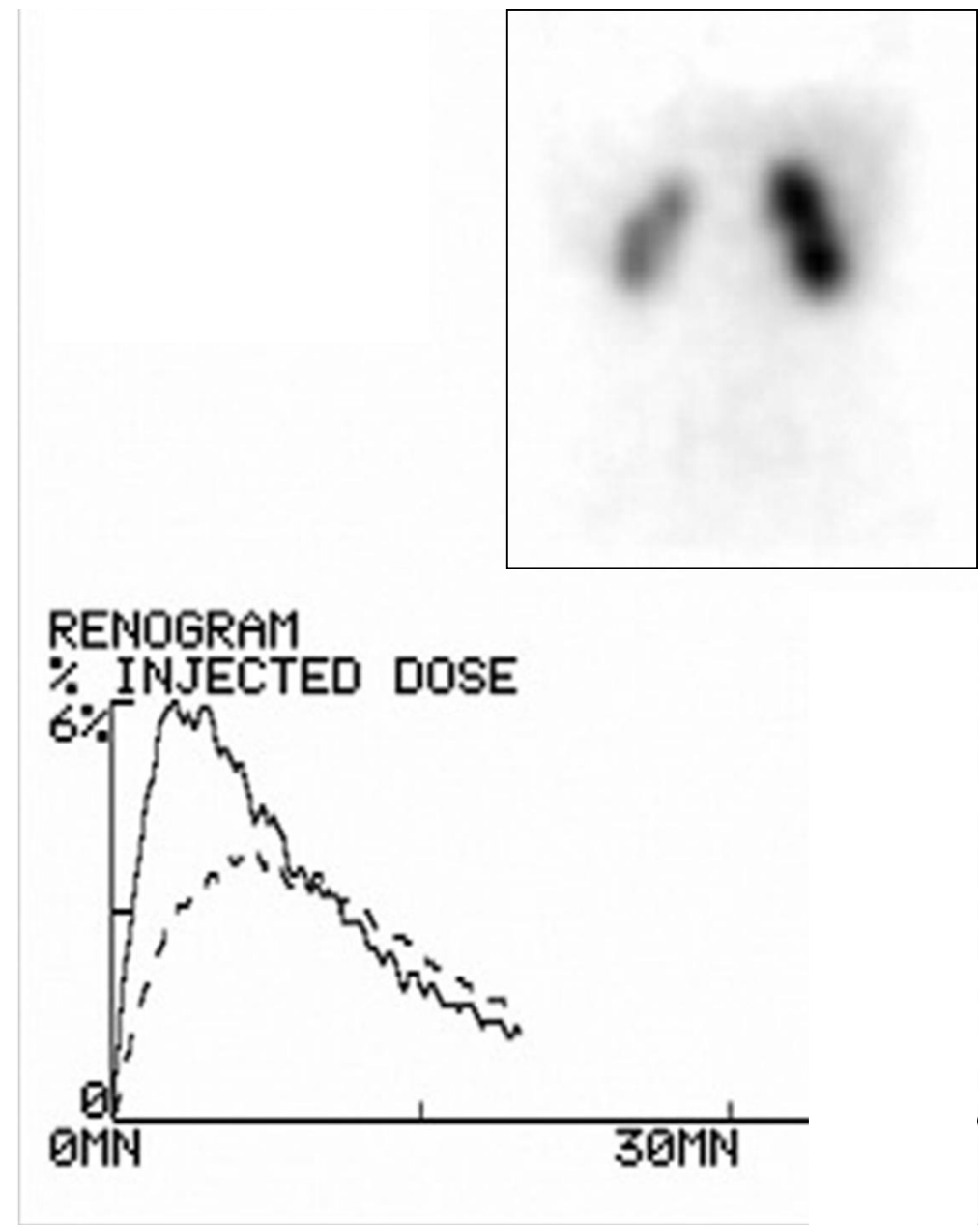
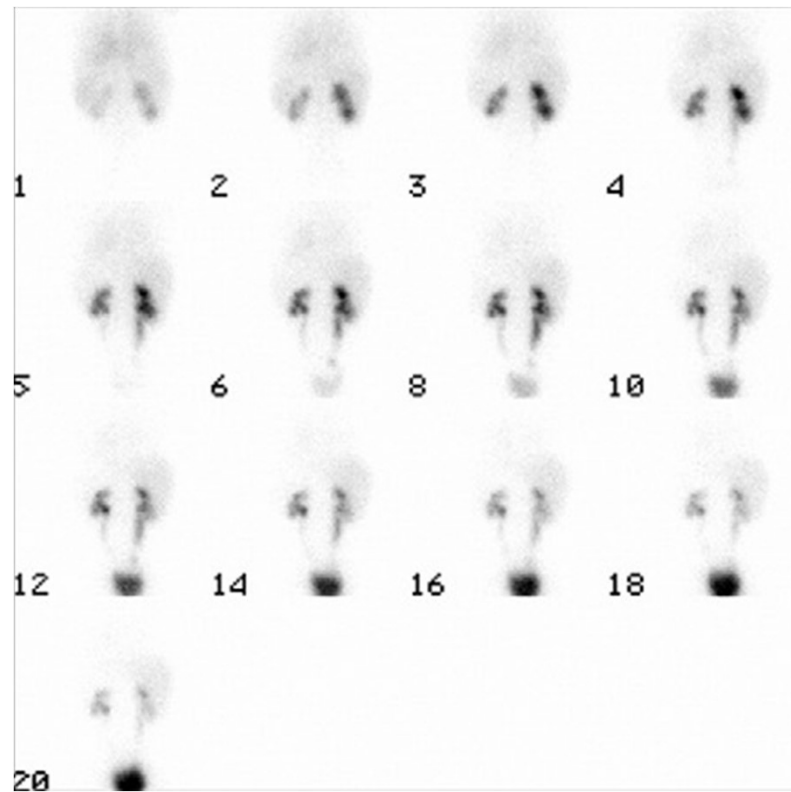
Dinamikus felvétel γ -kamerával

Egymás utáni γ -kamera felvételek (szekvenciális szcintigráfia):



Funkcionális szcintigráfia





Tipikus izotópfelvételi görbe

Biológiai kiürülés (metabolizmus)
+ fizikai bomlás

A bomlási valószínűségek

adódnak össze: $\lambda_{\text{fiz}} + \lambda_{\text{biol}} = \lambda_{\text{eff}}$

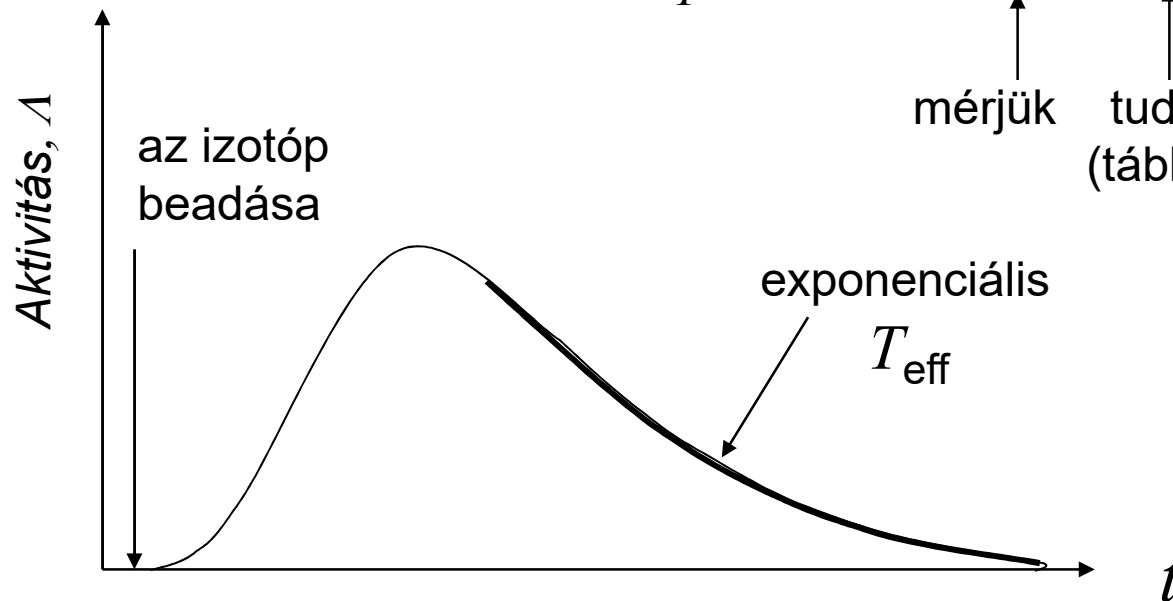
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

$$\frac{1}{T_{\text{eff}}} = \frac{1}{T_{\text{fiz}}} + \frac{1}{T_{\text{biol}}}$$

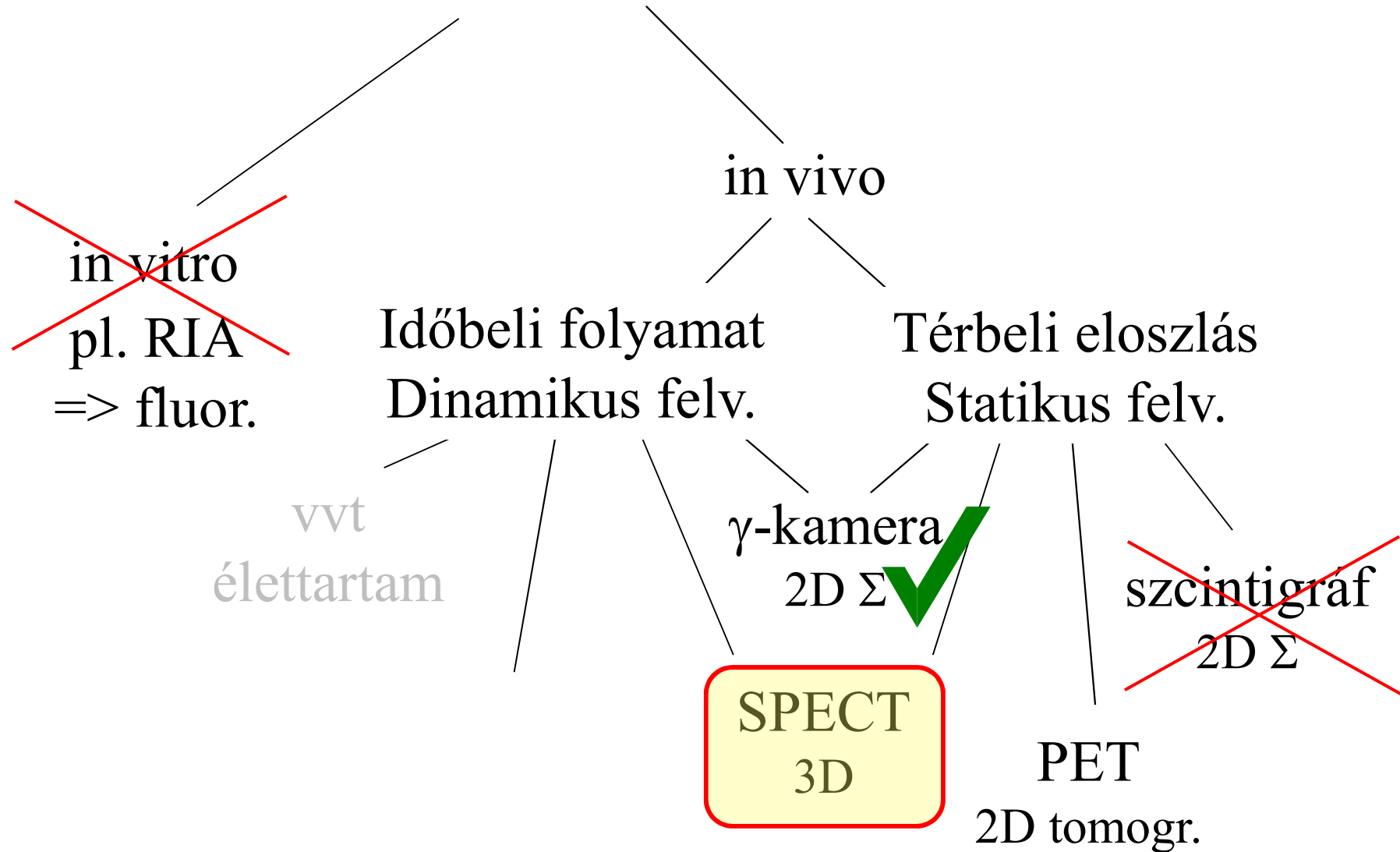
mérjük

tudjuk
(táblázat)

számoljuk

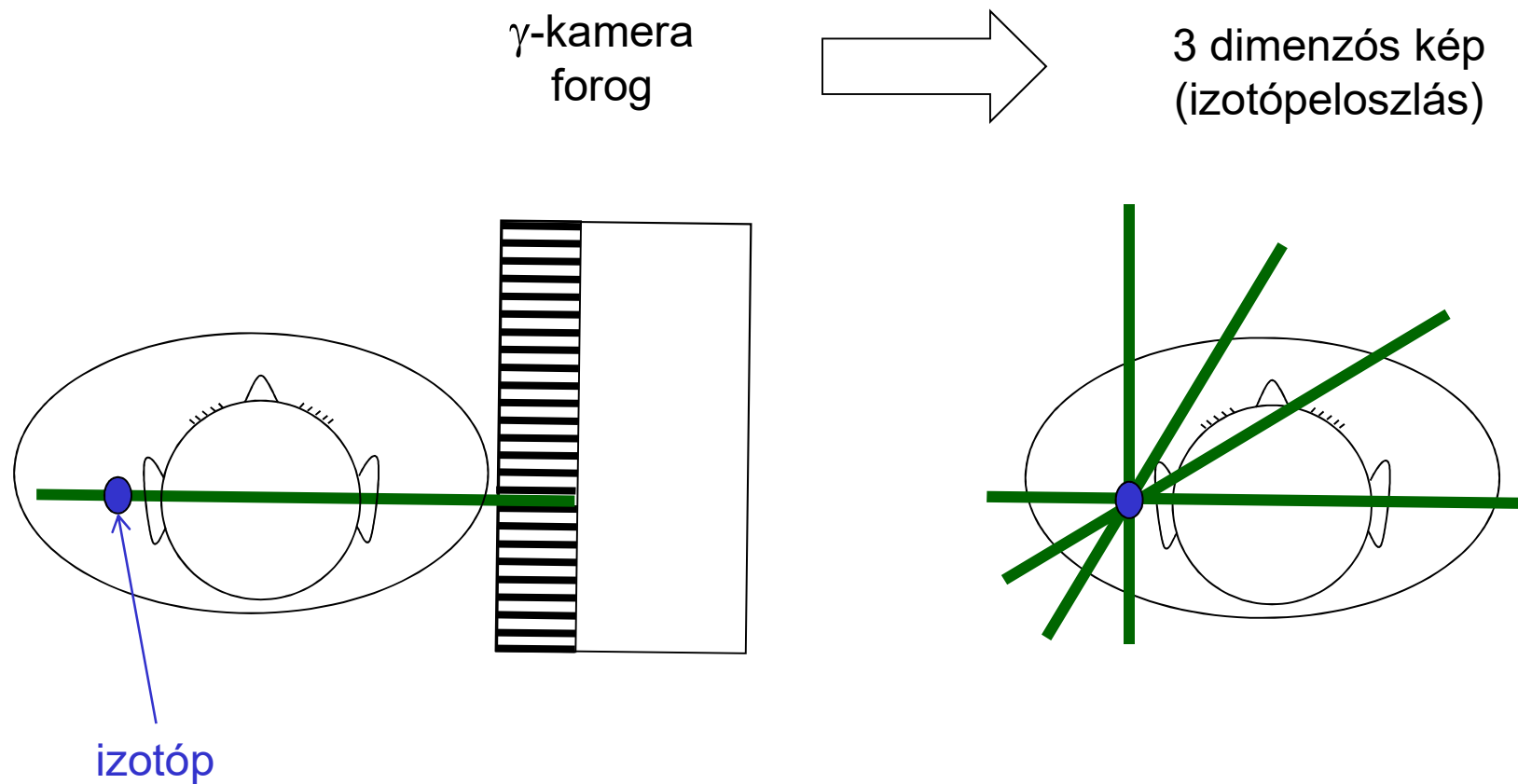


Izotópdiagnosztikai eljárások



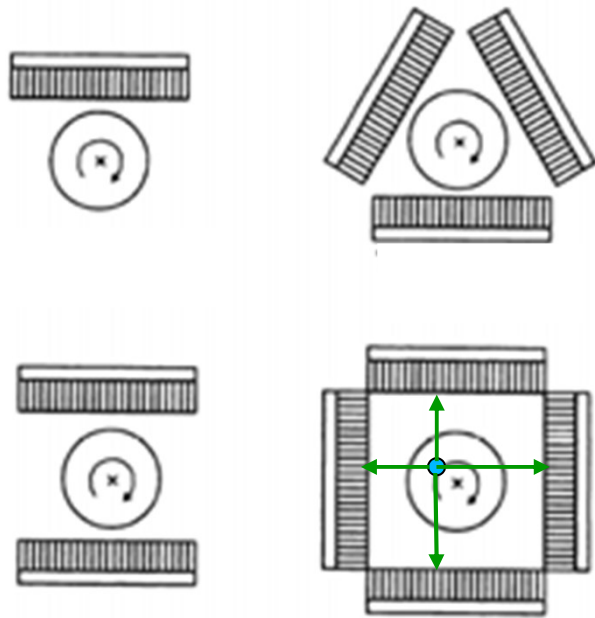
SPECT

(Single Photon Emission Computed Tomography)



SPECT

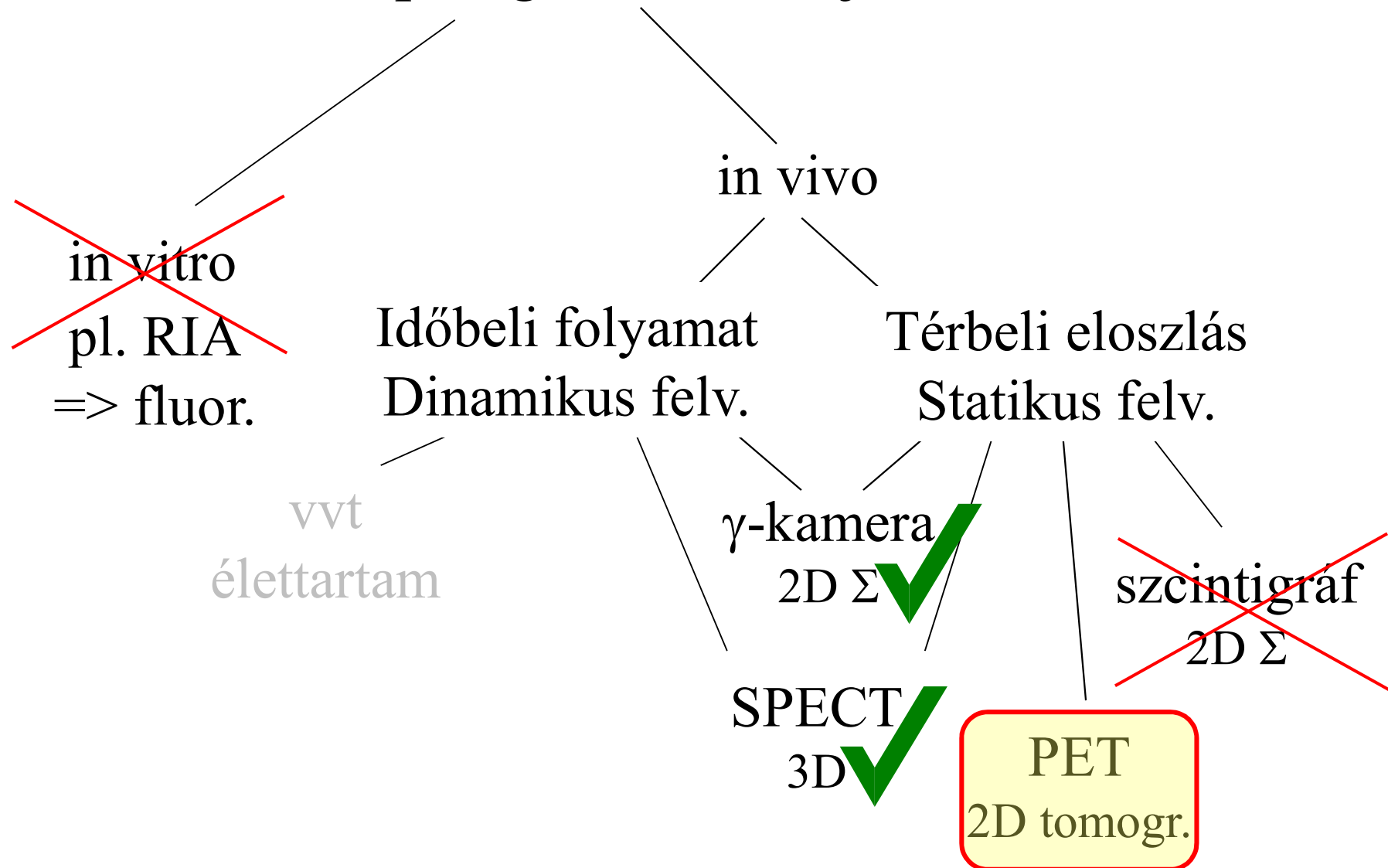
(Single Photon Emission Computed Tomography)



Körbe forgó γ -kamerák
szolgáltatnak 3D információt



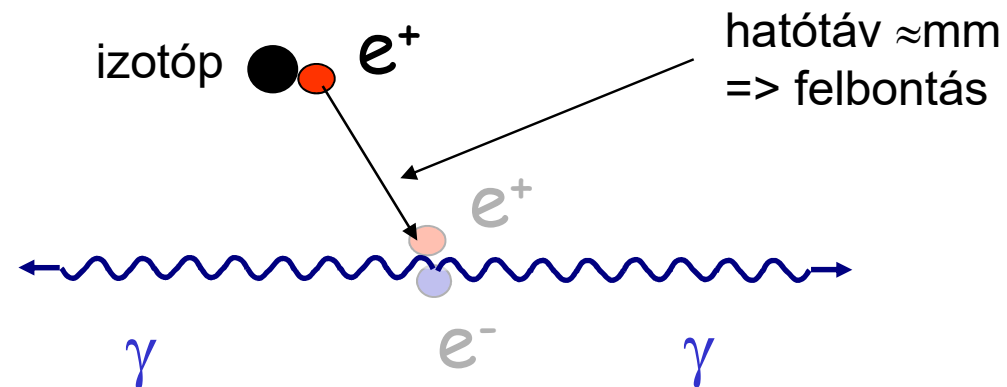
Izotópdiagnosztikai eljárások



PET (Positron Emission Tomography)

Pozitron bomló izotóp!

Pozitron annihiláció

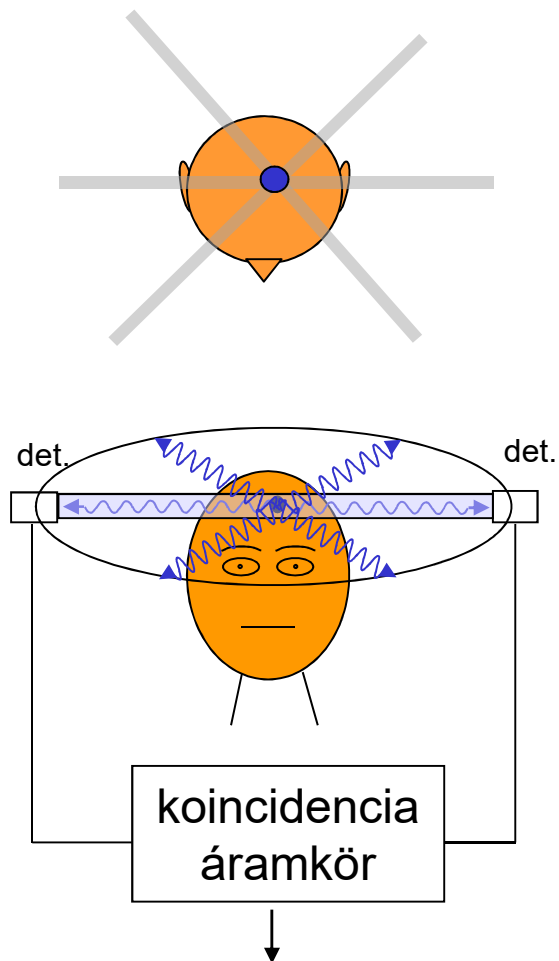


^{18}F $E_{\beta^+}=0,64\text{MeV}$ hatótáv =0,2 mm

Pozitron bomló izotóp a természetben nem fordul elő
Mesterséges előállítás (pl. ciklotron) helyben (a rövid felezési idő miatt).

PET (Positron Emission Tomography)

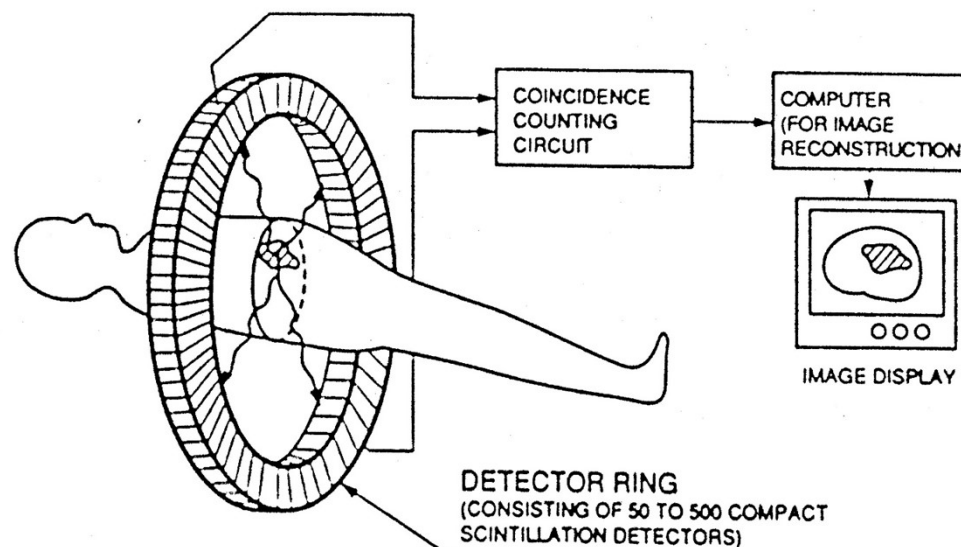
elv:



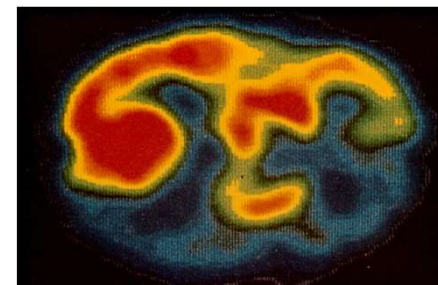
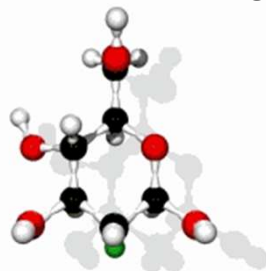
elektromos jelfeldolgozás

Gyakorlati megvalósítás:

Körkörös detektorgyűrű



FDG ^{18}F dezoxiglükóz



Multimodális eljárások

pl.:CT és izotópdiagnosztika kombinálása

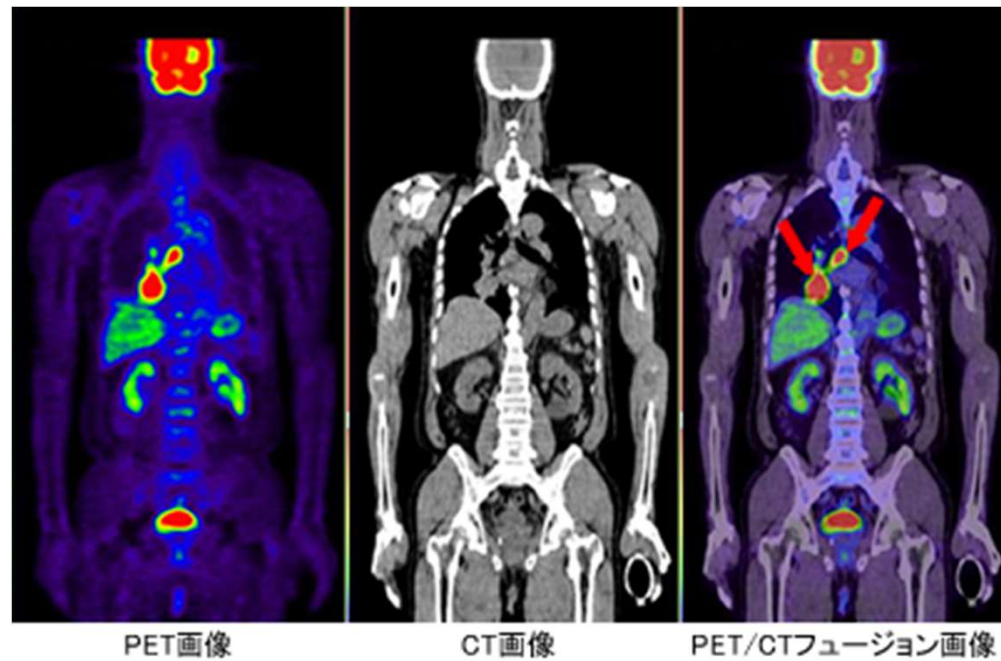
PET-CT

Jó anatómiai felbontás:

CT, MR

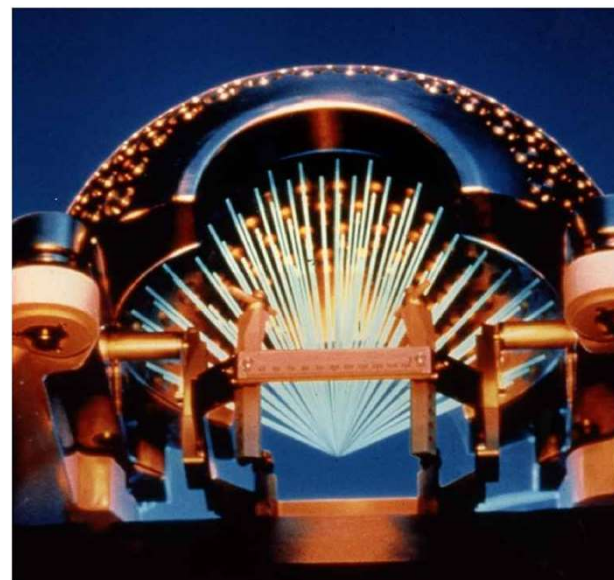
Funkció:

SPECT, PET





2. A sugárterápia fizikai alapjai



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

Kérdések:

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

1. Leggyakrabban használt sugárzások

- gamma sugárzás
- nagyenergiájú röntgensugárzás (10-20 MeV!)
- elektronsugár
- béta sugárzás (brachytherápia)

γ forrás: pl. ^{60}Co $E_{\gamma} \approx \text{MeV}$,
használt aktivitás: TBq



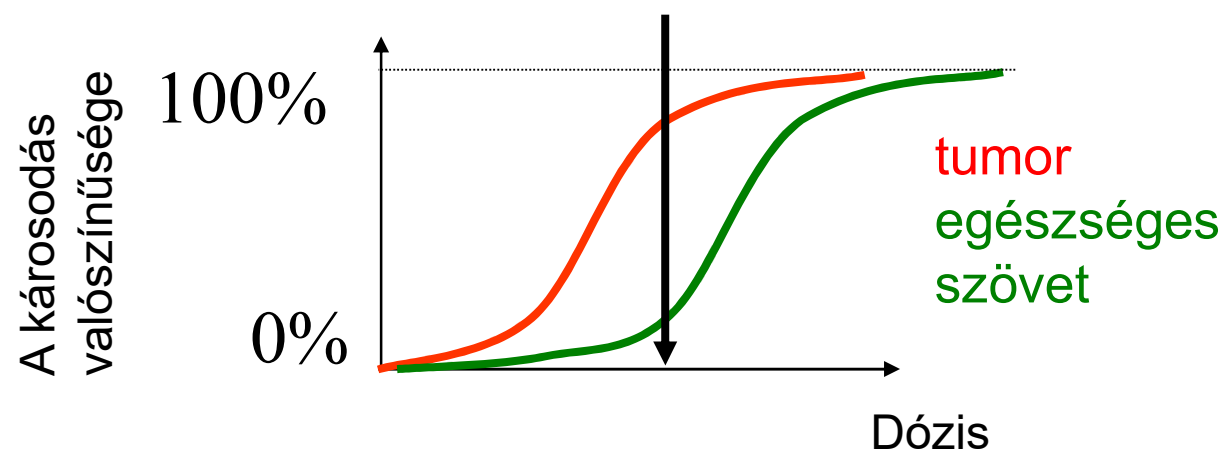
2. Mekkora dózist alkalmazzunk?

Dózis: 40-60 Gy vagy még több, de lokalizáltan!

$$E = \sum_{\text{szövetek}} w_{\text{szövet}} H_{\text{szövet}}$$

Frakcionáltan (20-30 napra elosztva)

osztódó szövetek fokozottan sugárérzékenyek!



Számítógépes besugárzástervezés CT vagy MRI kép alapján



CT kép

MRI kép



Orvos: berajzolja a besugárzandó területet, meghatározza a terápiás dózist.

Klinikai sugárfizikus:
meghatározza a
besugárzás geometriai és
időbeli paramétereit, és a
sugárzás intenzitását.

3. Hogyan juttassuk el a sugárzást a besugározandó testrészbe (a többi szövet károsítása nélkül)?

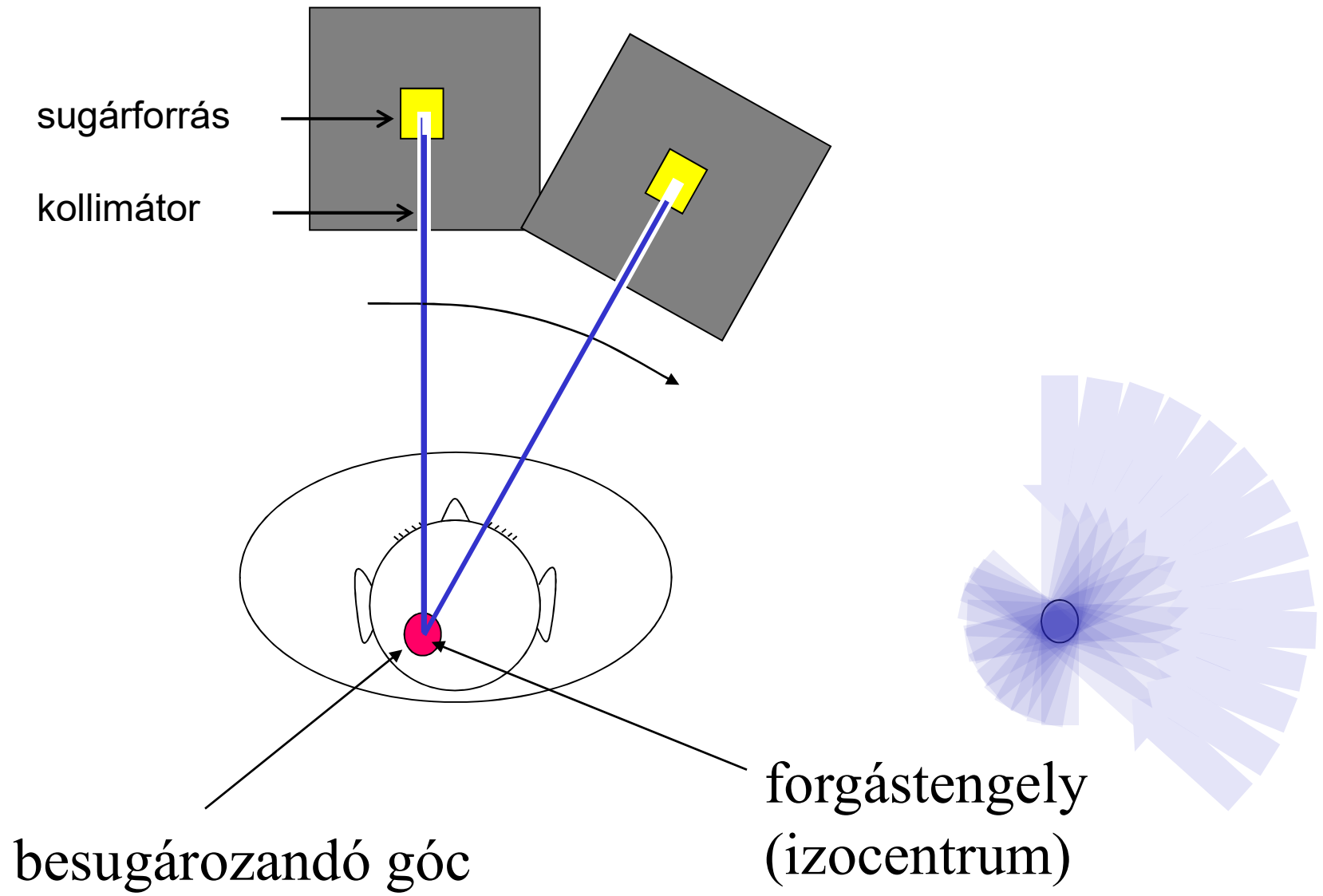


```
graph TD; A[3. Hogyan juttassuk el a sugárzást a besugározandó testrészbe (a többi szövet károsítása nélkül)?] --> B[Teleterápia]; A --> C[Brachyterápia];
```

Teleterápia

Brachyterápia

Teleterápia



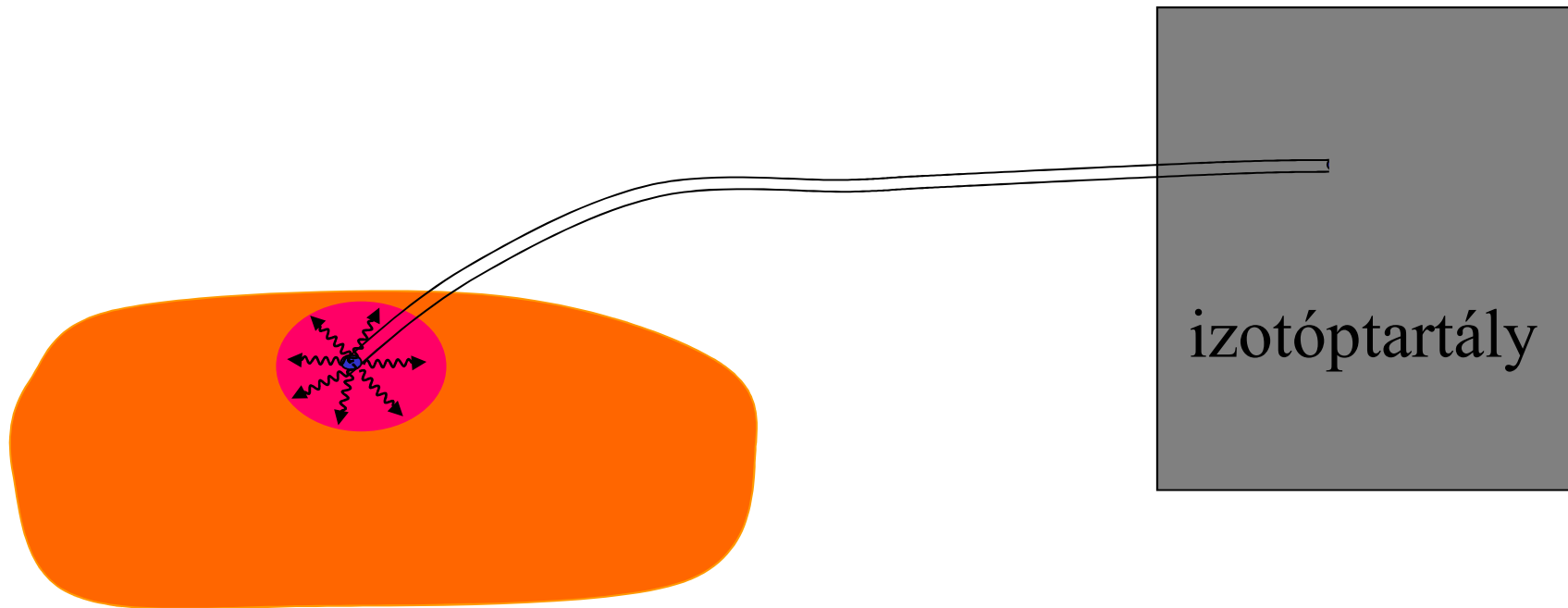


Brachiterápia

$$D = \frac{K_{\gamma} \Lambda t}{r^2}$$

Az izotópot a test belsejébe juttatjuk.

Általában egy előre beépített applikátoron keresztül (after loading)



Példa: Brachytherapia izotópimplantátumokkal

- Prosztata
- ^{125}I γ +Rtg foton
 $T_{1/2}=60$ nap
- ^{103}Pd γ +Rtg foton
 $T_{1/2}=17$ nap
- ^{192}Ir β + γ
 $T_{1/2}=74$ nap

