

Ionizáló sugárzások diagnosztikai (és terápiás) alkalmazásai

Dr. Smeller László

Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet

Semmelweis Egyetem



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 pajzsmirigyvizsgálat~~

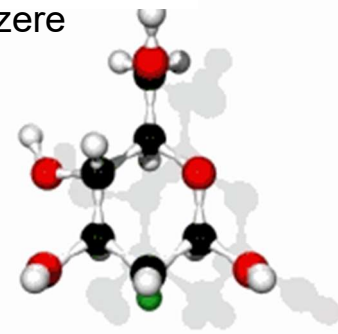
^{59}Fe vörösvértest felépítés

De! Nincs minden szervhez ilyen izotóp

=> hordozómolekula

Az elemek periódusos rendszere

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	Lr																																									



Radioactive Sugar

Radiofarmakon=hordozómolekula+izotóp

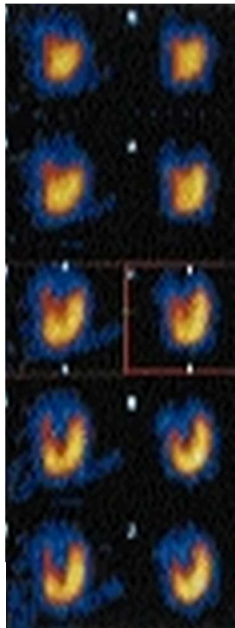
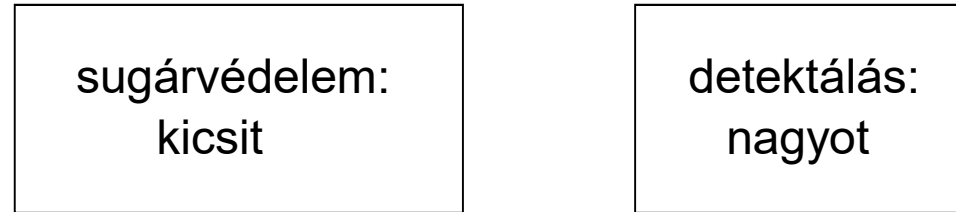


célszerv megtalálása mérés

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

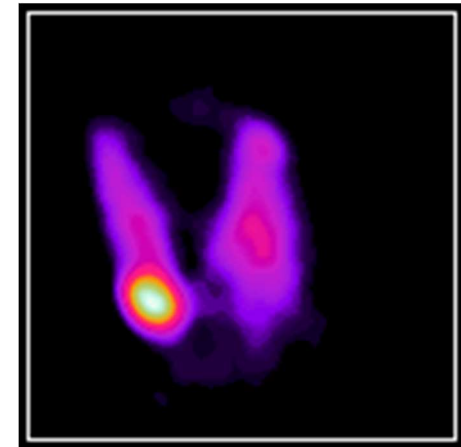
* A ^{131}I túl veszélyes mert β -t is sugároz
pajzsmirigyvizsgálat manapság $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -al

2. Mekkora aktivitást használjunk?

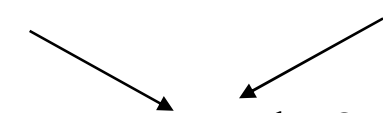


„arany középút”
10 MBq...100 MBq

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?

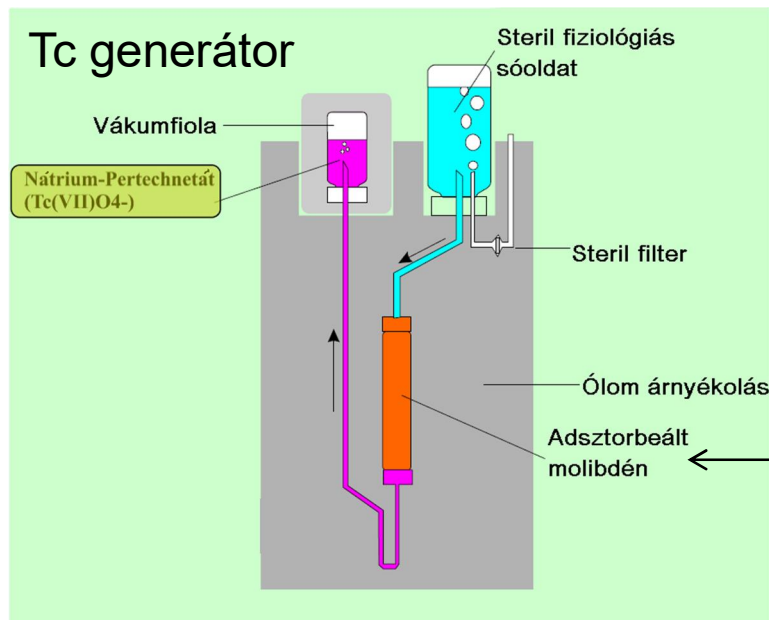
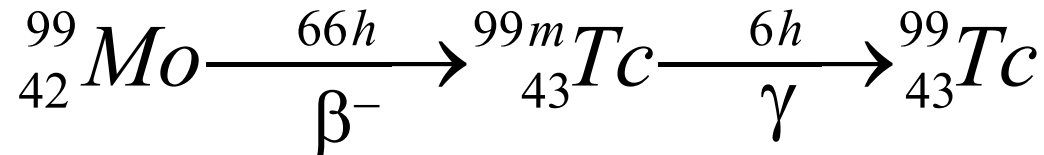
Az optimális izotóp **csak** γ sugárzást emittál!

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

A tisztán γ -sugárzó izotóp:

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

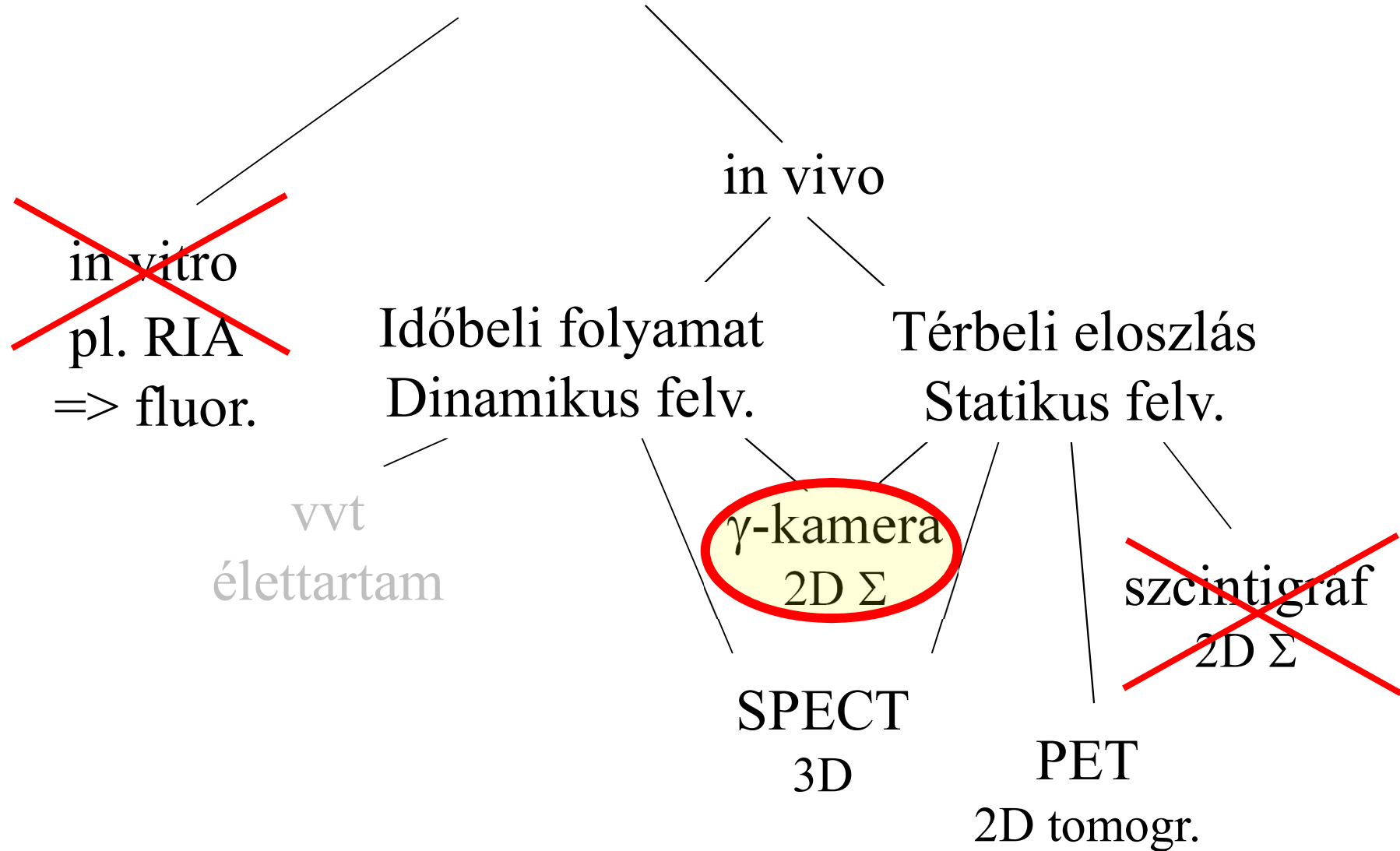
Az α és β sugárzás hatótávolsága kicsi, nem lép ki a testből, csak károsít!



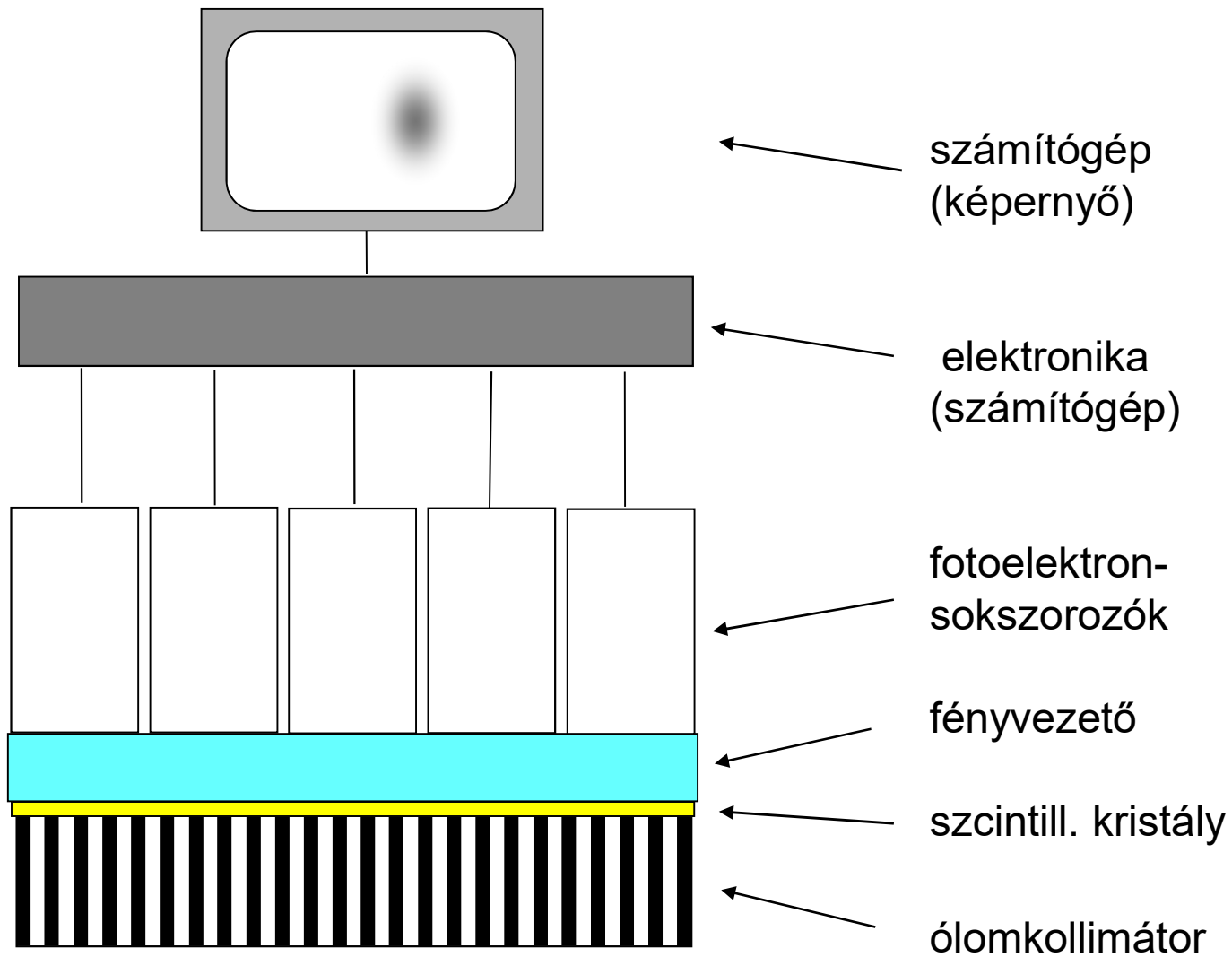
Időben szétválik a β^- és a γ kibocsátás. Elkülöníthető a ^{99m}Tc ami tisztán γ -sugárzó.

← ammónium-molibdenát (NH_4MoO_4)

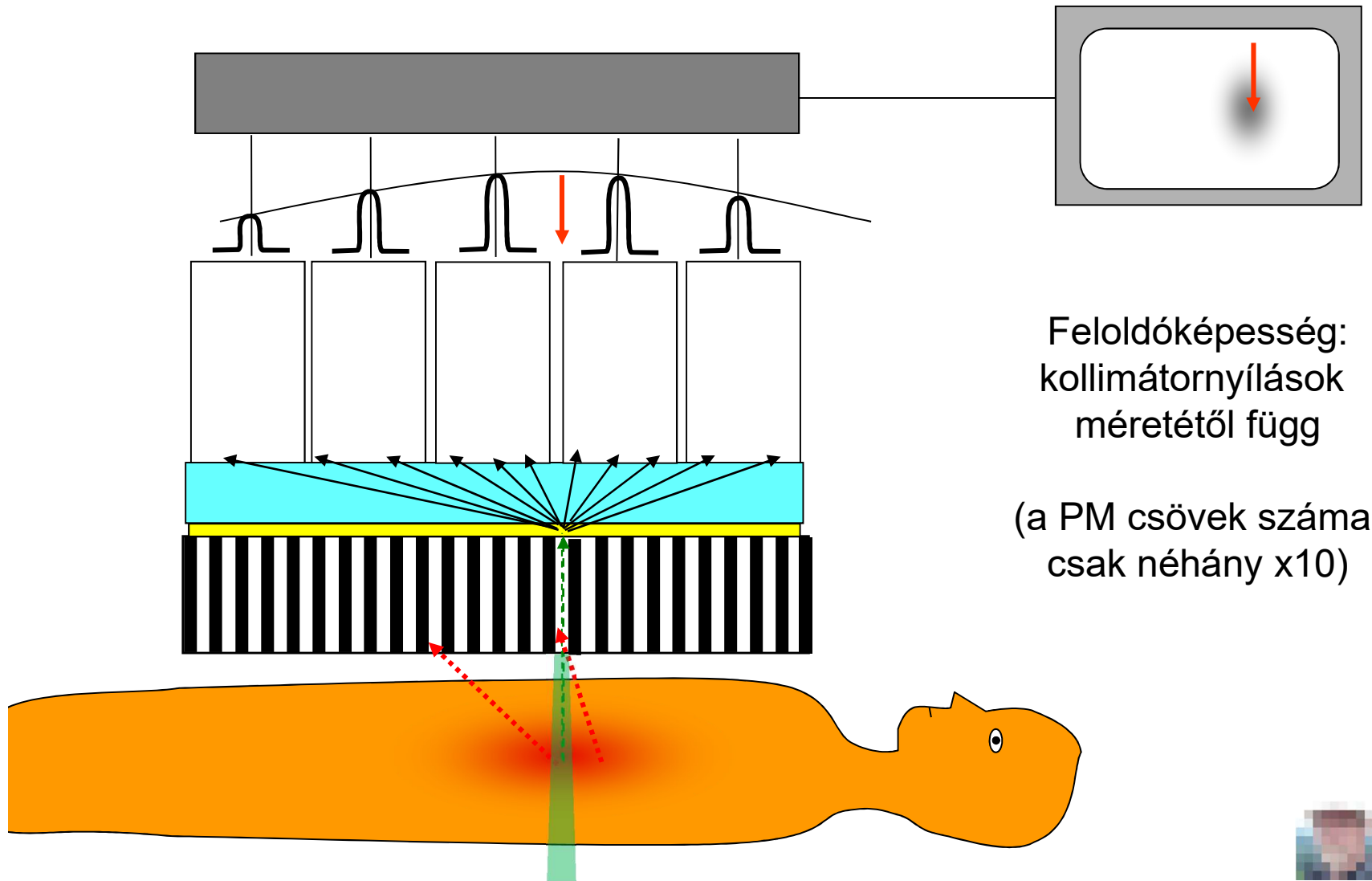
Izotópdiagnosztikai eljárások



In vivo > Térbeli eloszlás > γ -kamera



In vivo > Térbeli eloszlás > γ -kamera



Feloldóképesség:
kollimátornyílások
méretétől függ

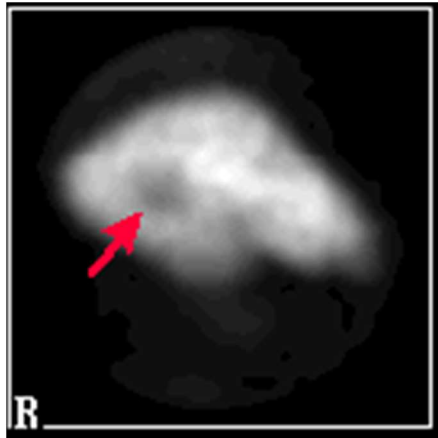
(a PM csövek száma
csak néhány x10)





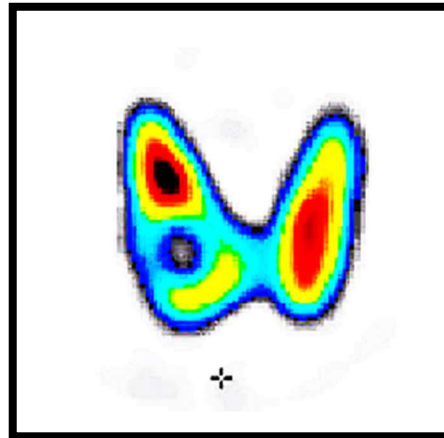


Szcintigramok:



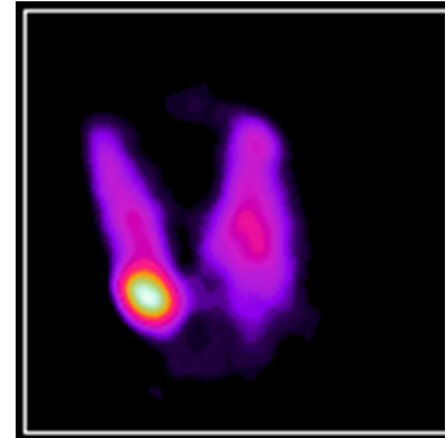
Máj metasztázis

^{99m}Tc fitát



pajzsmirigy
hideggöb

^{99m}Tc pertechnetát



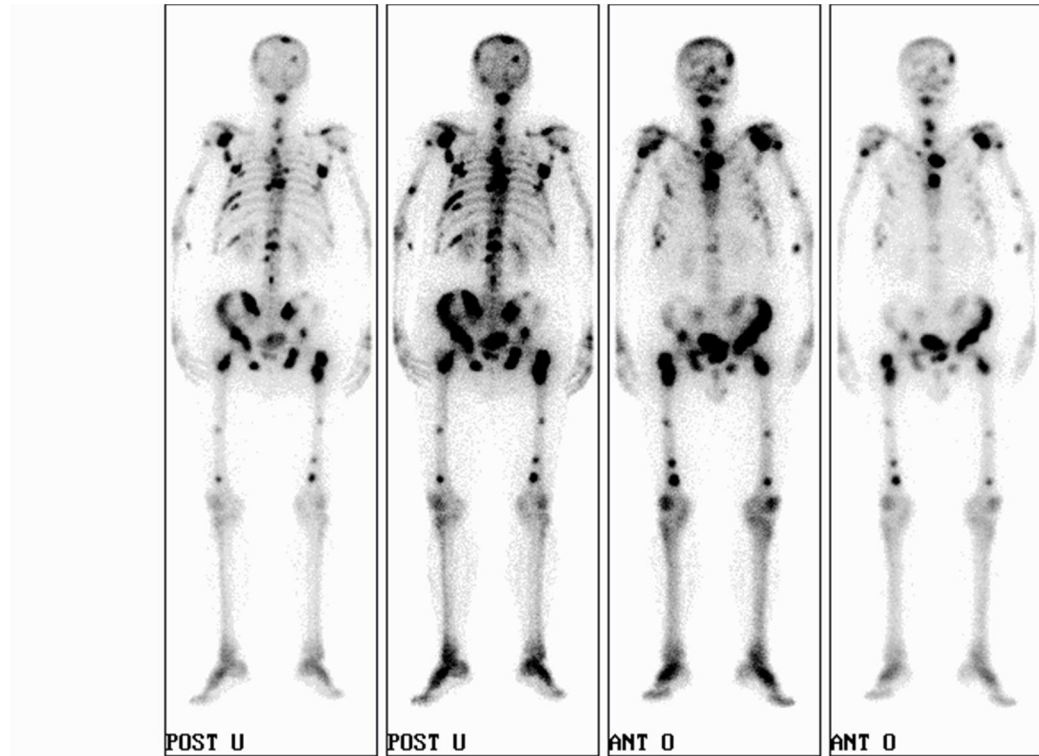
meleggöb

Csontszcintigramok

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



normális

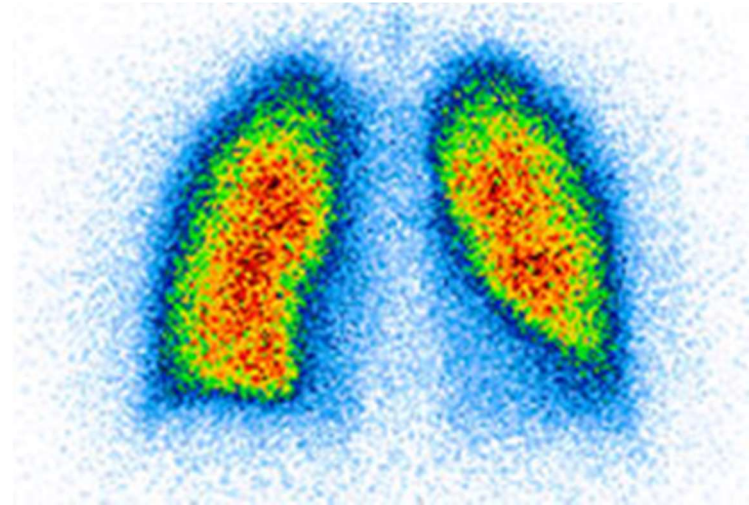


metasztázisok

Tüdő szcintigráfia

Perfúzió (vérkeringés)

Ventilláció (légutak)



izotópok:

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

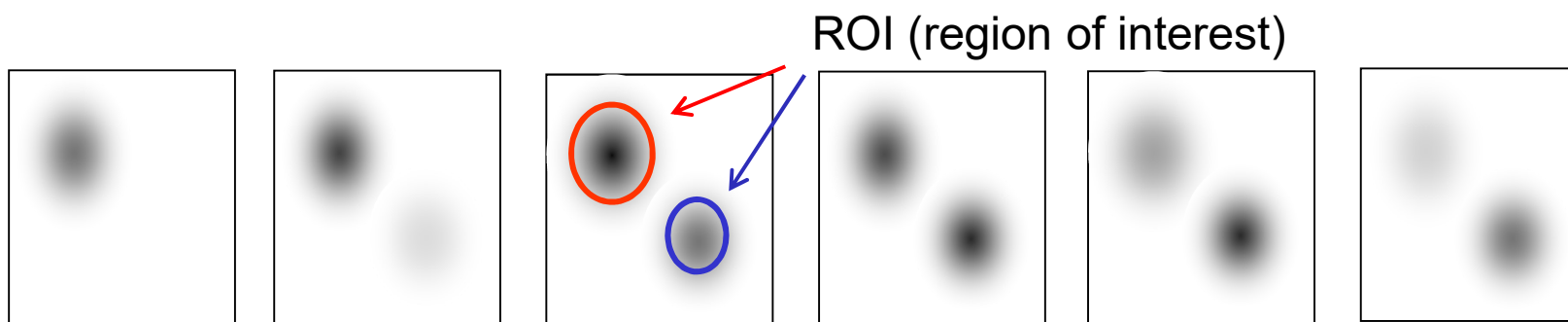
Kettős izotópjelzés detektálása: különböző energiájú γ -fotonok

(ld. gamma energia gyakorlat a 2. szemeszterben)

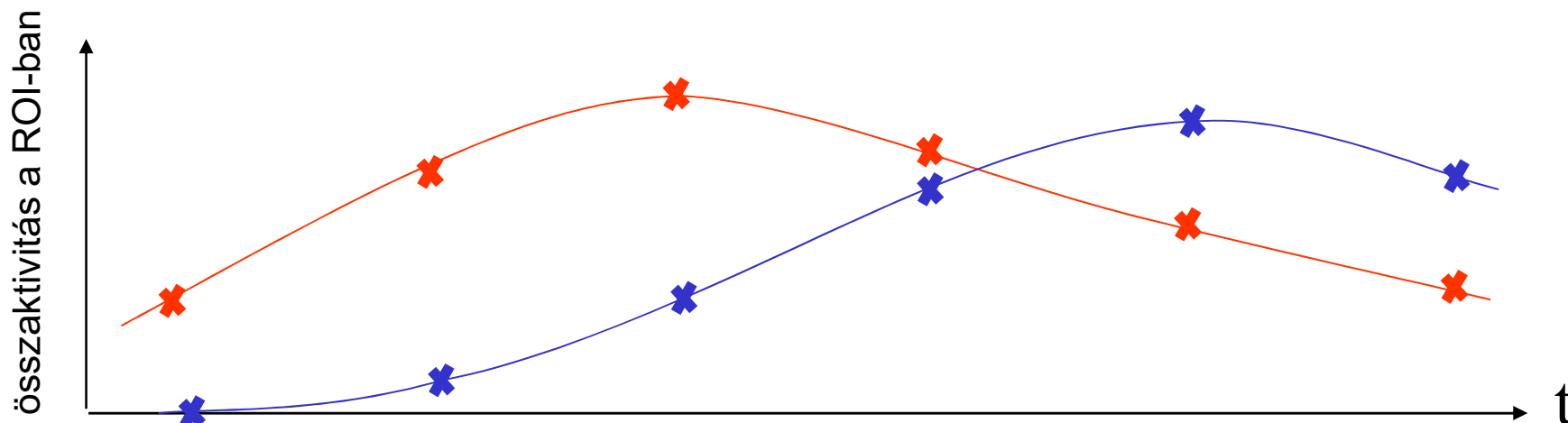
Időbeli és térbeli információ egyidejűleg

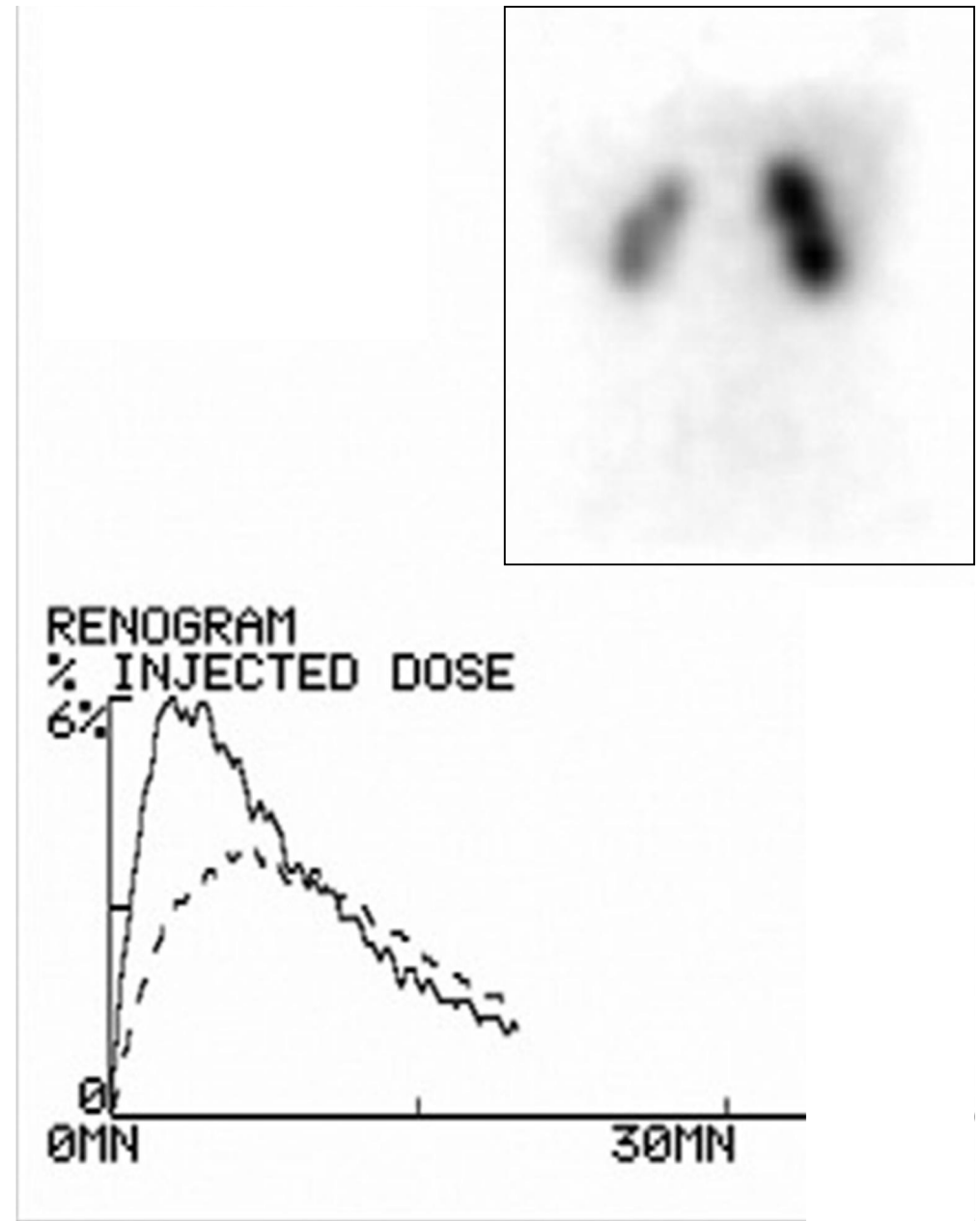
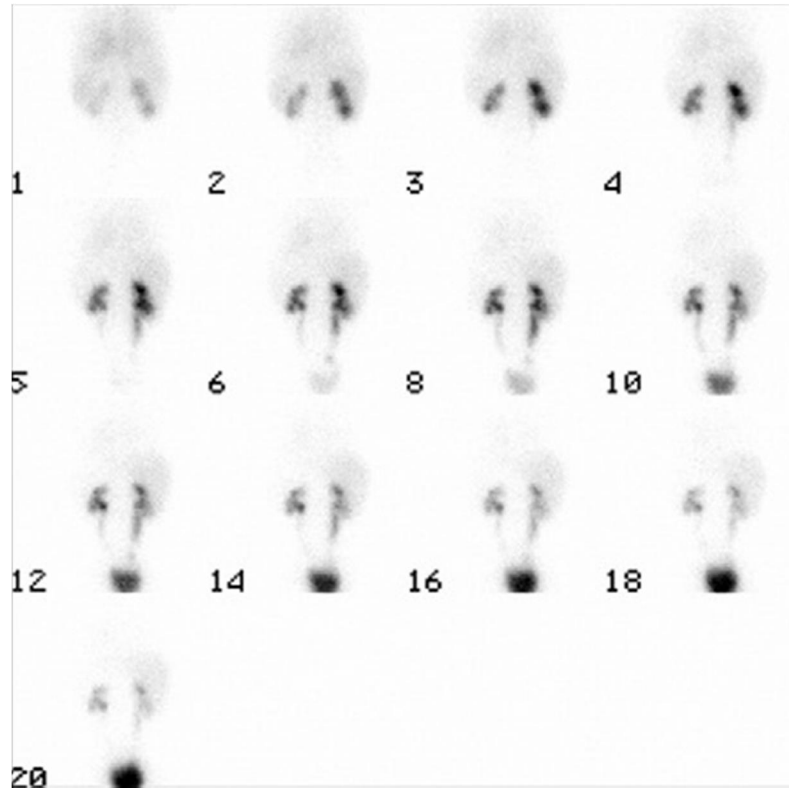
Dinamikus felvétel γ -kamerával

Egymás utáni γ -kamera felvételek (szekvenciális szcintigráfia):



Funkcionális szcintigráfia





Tipikus izotópfelvételi görbe

Biológiai kiürülés (metabolizmus)
+ fizikai bomlás

A bomlási valószínűségek

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

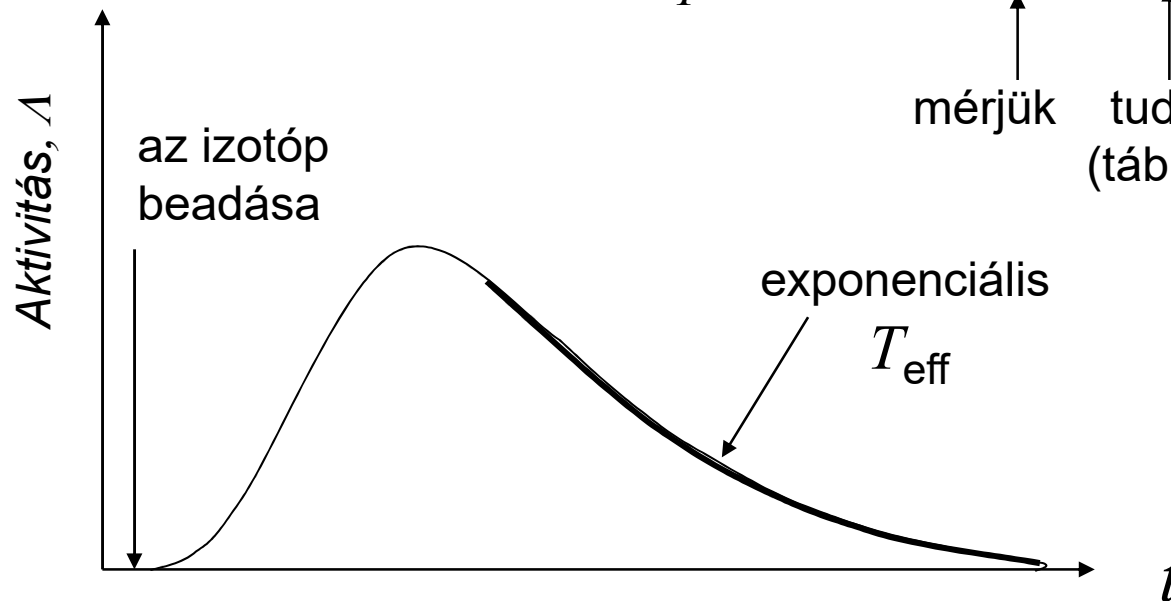
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

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

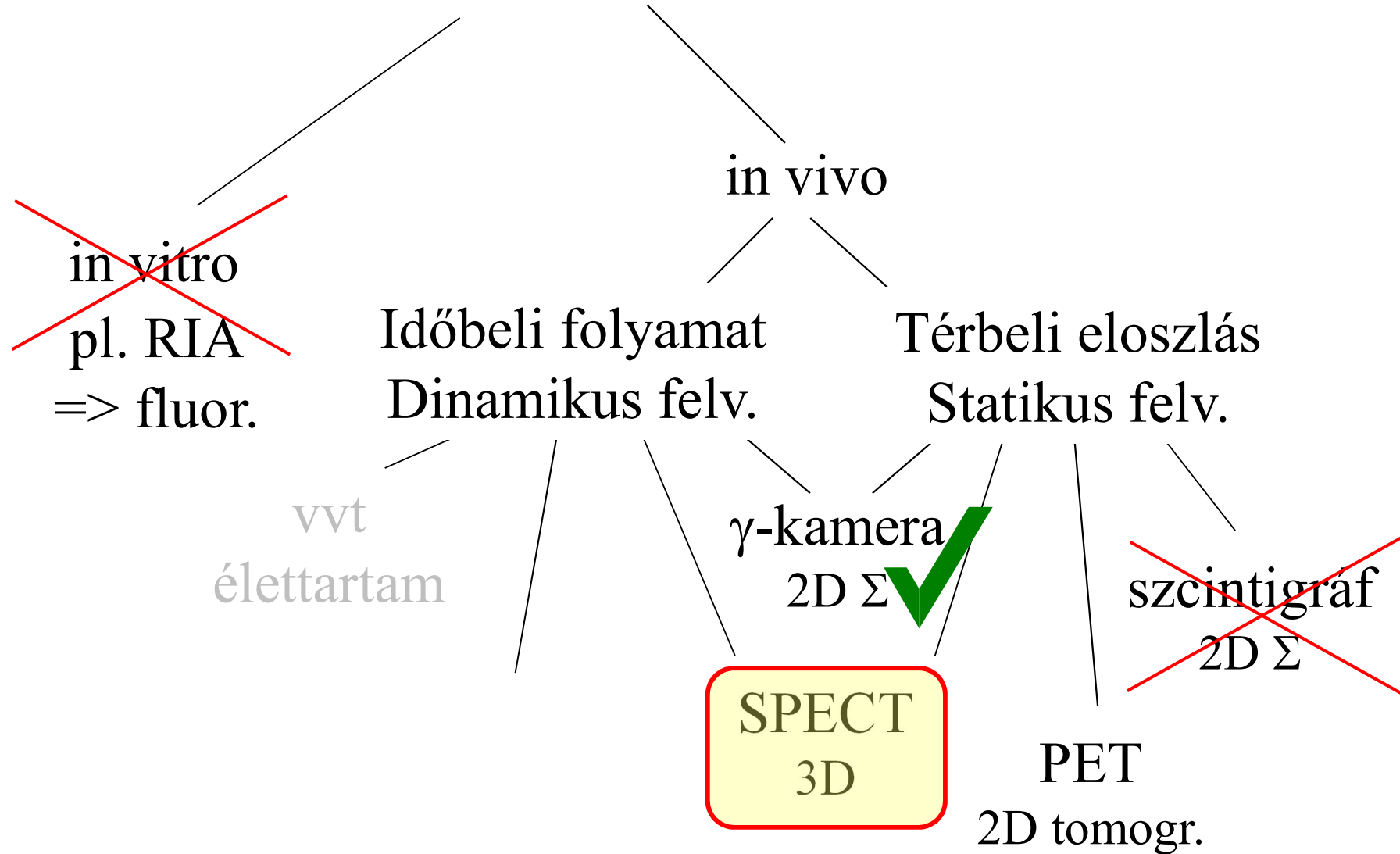
mérjük

tudjuk
(táblázat)

számoljuk

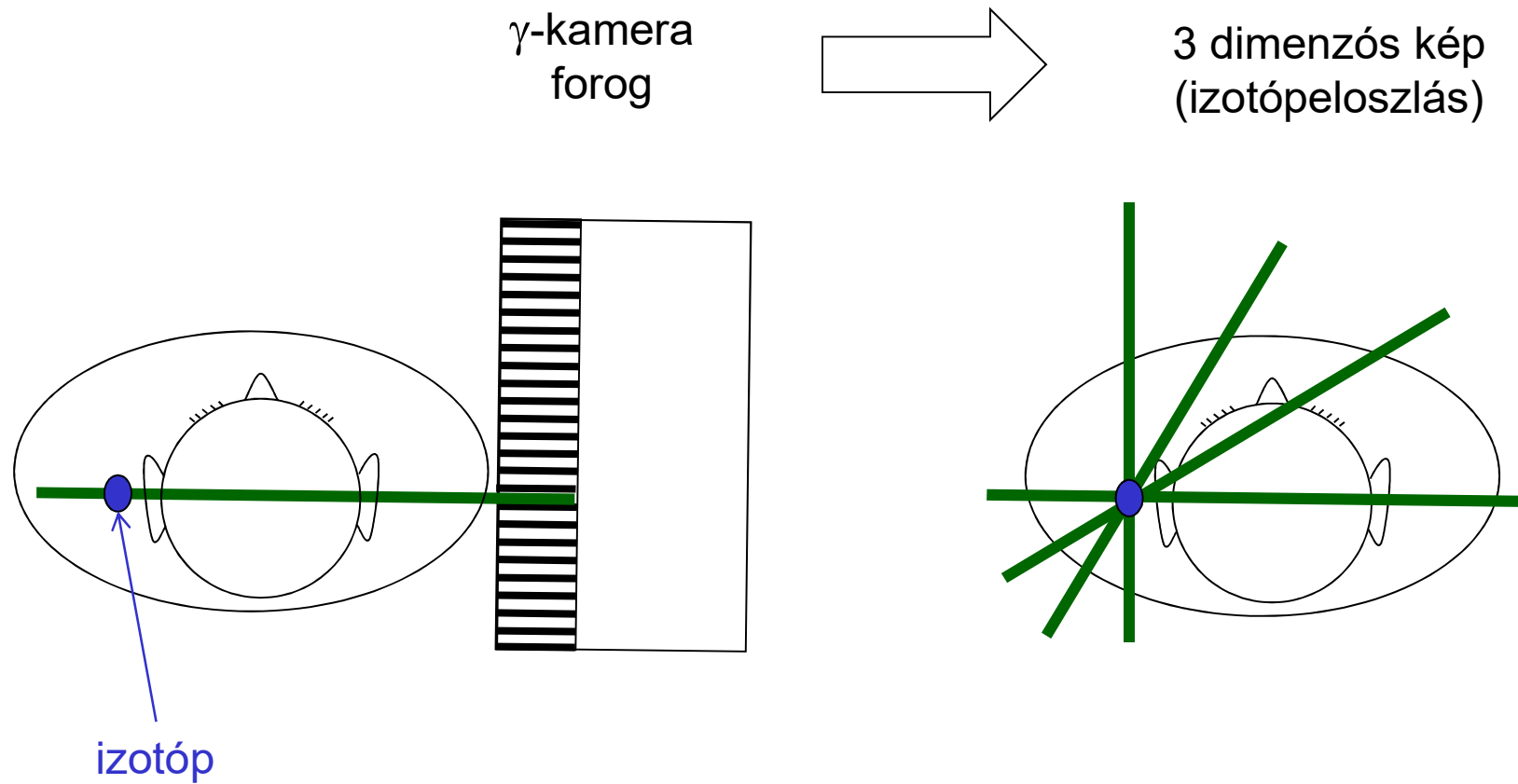


Izotópdiagnosztikai eljárások



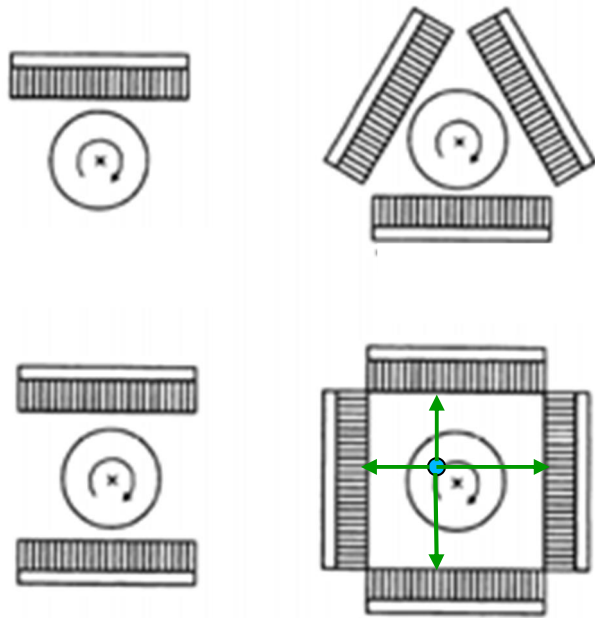
SPECT

(Single Photon Emission Computed Tomography)

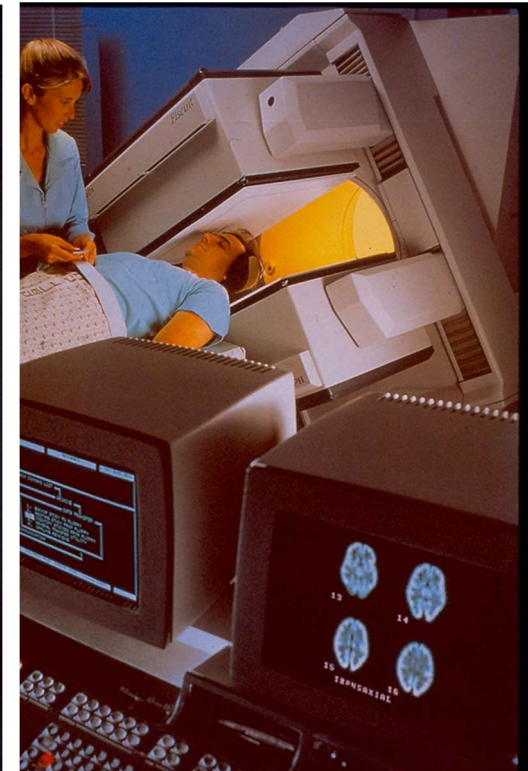


SPECT

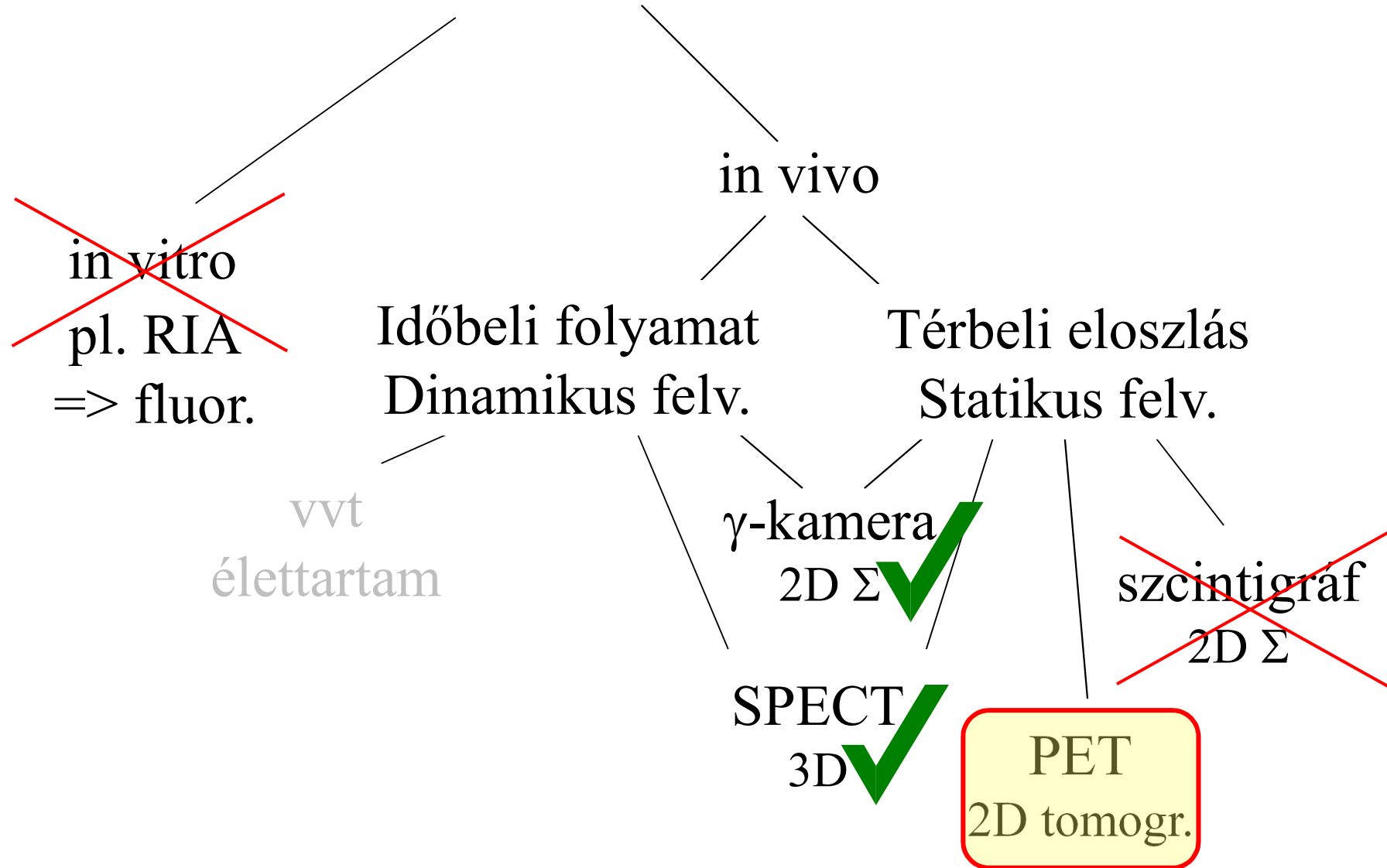
(Single Photon Emission Computed Tomography)



Körbe forgó γ -kamerák szolgáltatnak 3D információt



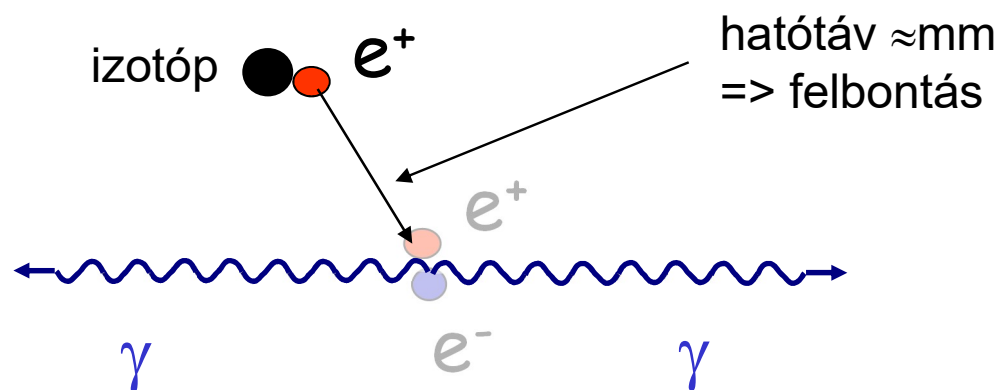
Izotópdiagnosztikai eljárások



PET (Positron Emission Tomography)

Pozitron bomló izotópot használunk!

Pozitron annihiláció:

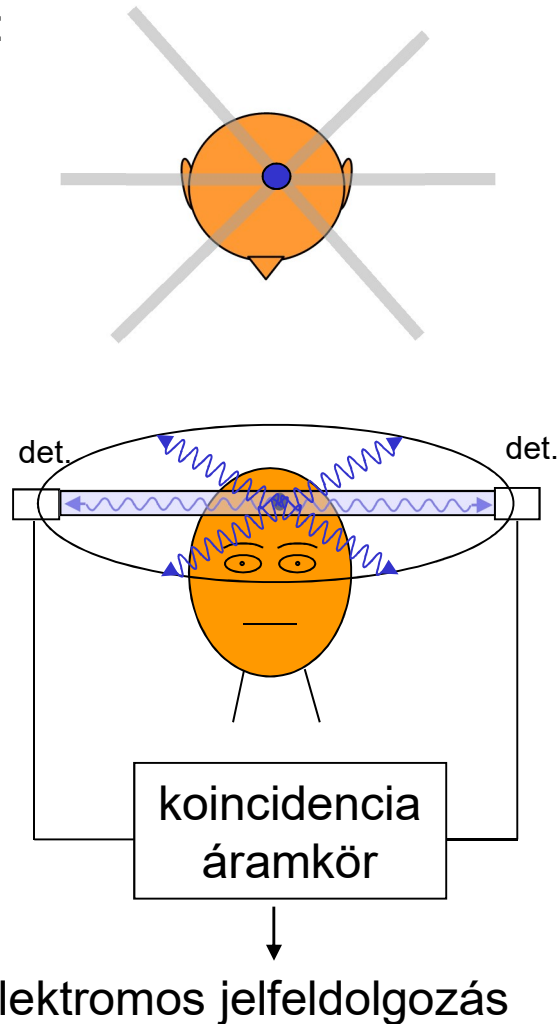


¹⁸F $E_{\beta^+} = 0,64 \text{ MeV}$ hatótáv = 0,2 mm

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

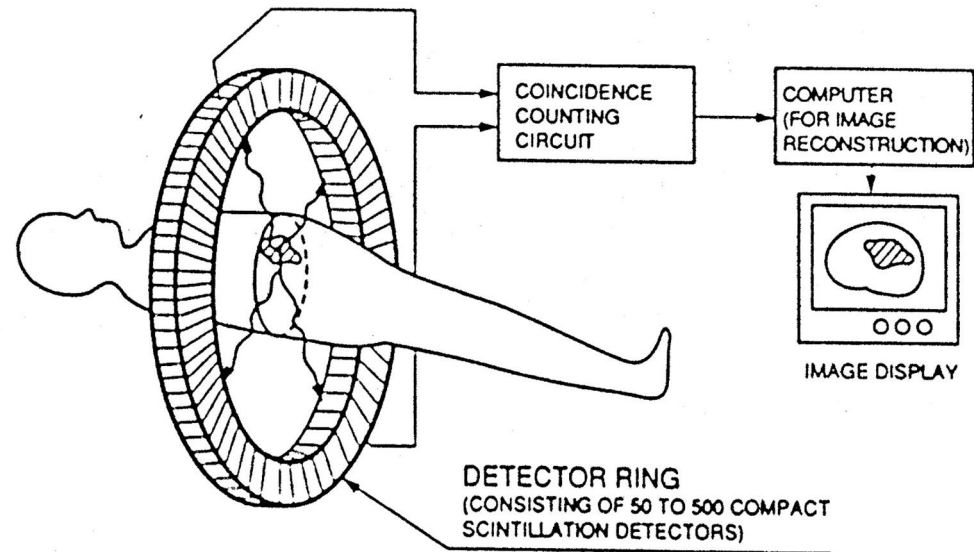
PET (Positron Emission Tomography)

elv:

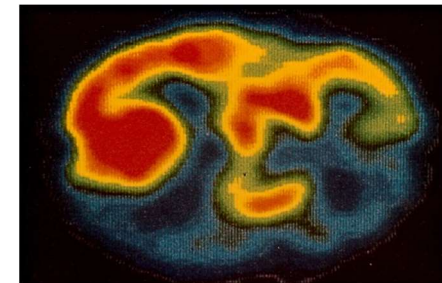
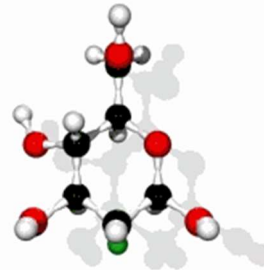


Gyakorlati megvalósítás:

Körkörös detektorgyűrű



FDG ^{18}F dezoxiglükóz



Multimodális eljárások

pl.:CT és izotópdiagnosztika kombinálása

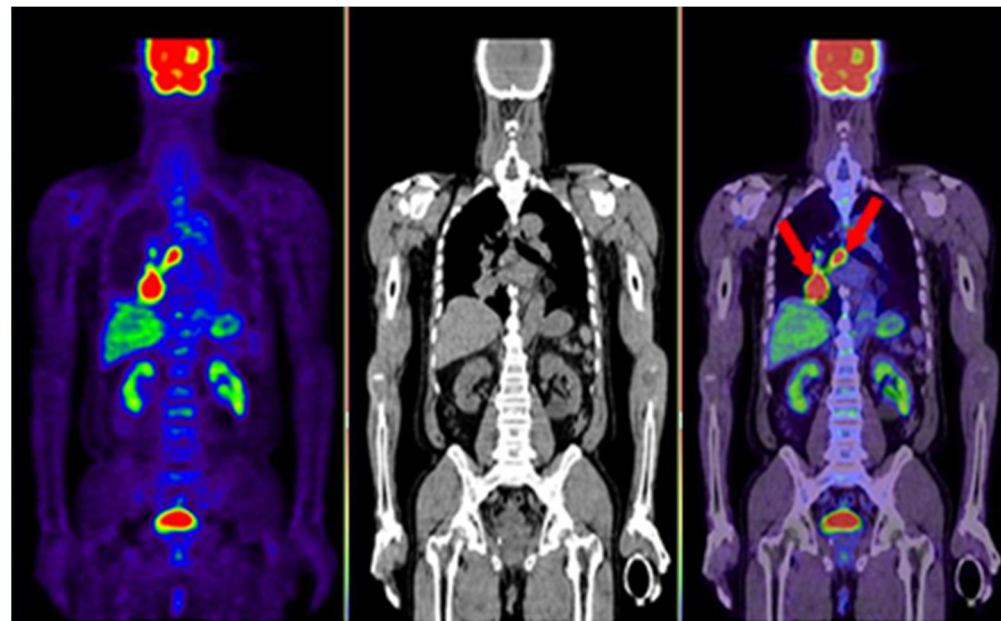
PET-CT

Jó anatómiai felbontás:

CT, MR

Funkció:

SPECT, PET



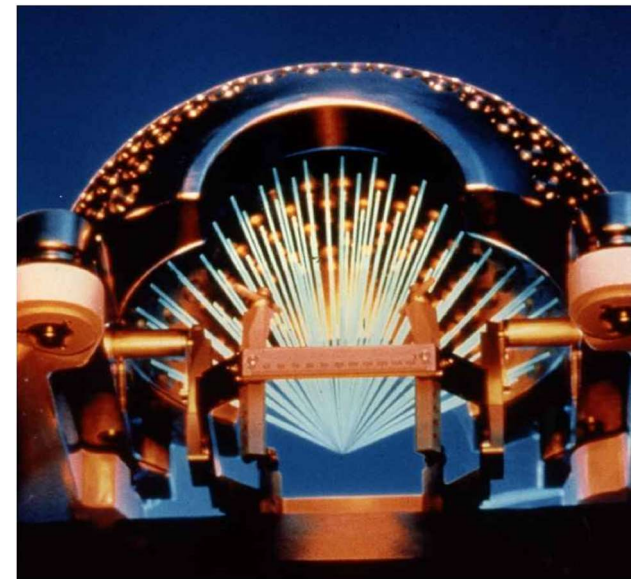
PET画像

CT画像

PET/CTフュージョン画像



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.. PBq



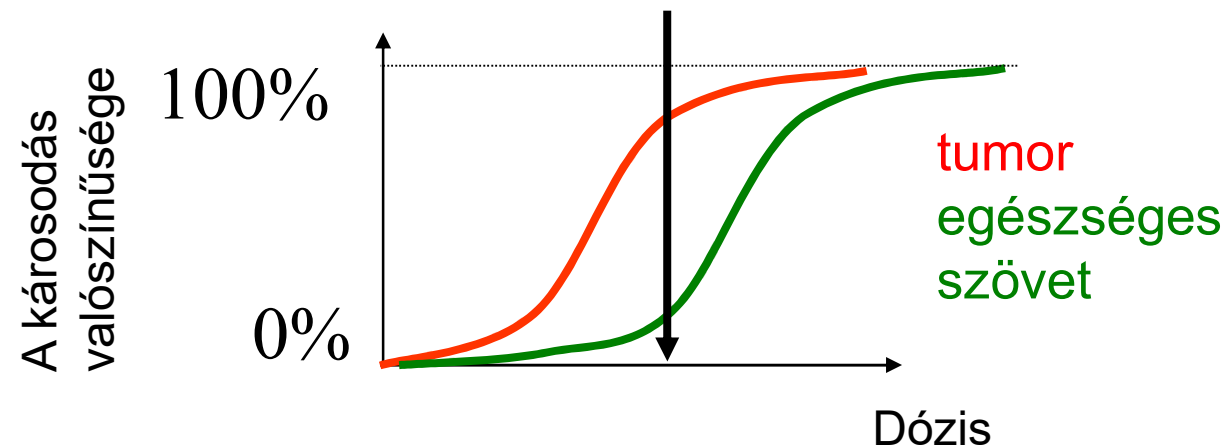
2. Mekkora dózist alkalmazzunk?

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!



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



Teleterápia

Brachyterápia

Besugárzástervezés képalkotó eljárások alapján

Számítógépes besugárzás-tervezés CT vagy MRI kép alapján



CT kép

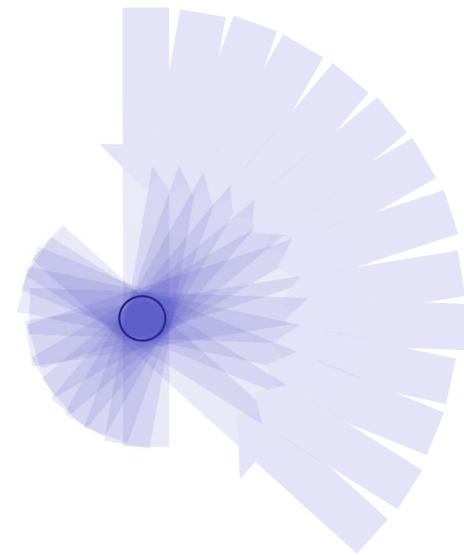
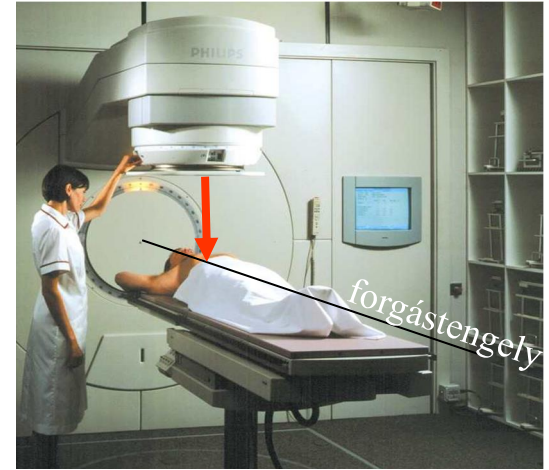
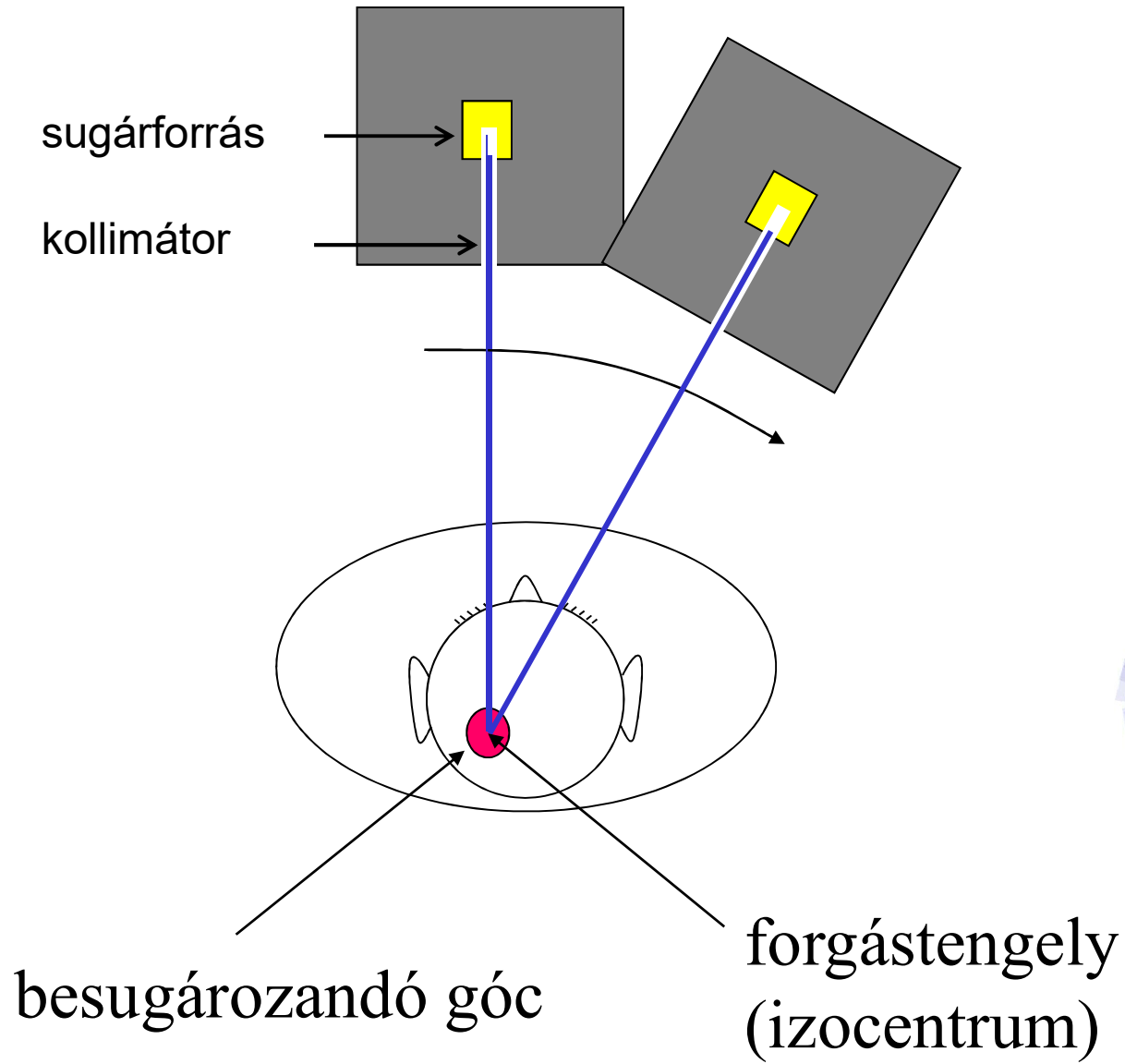
MRI kép



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

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

Teleterápia

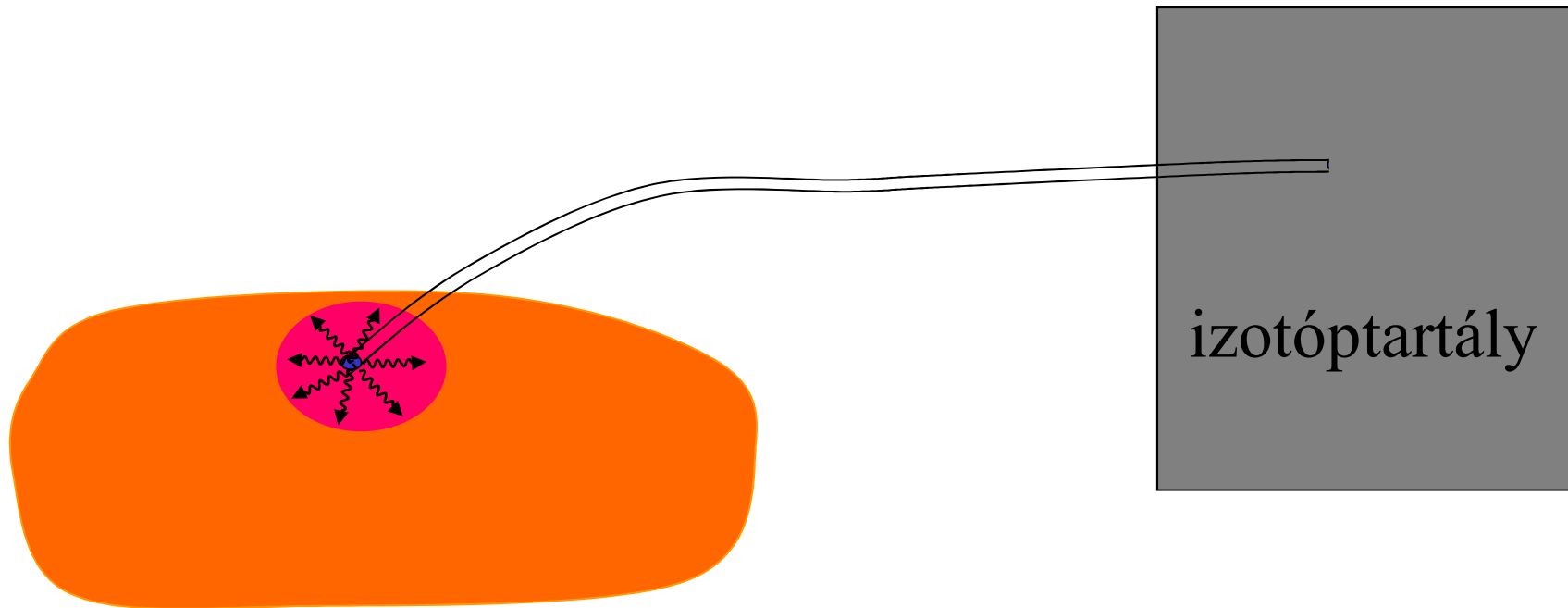


Brachiterápia

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

Az izotópot a test belsejébe juttatjuk.

Általában egy előre beépített applikátoron keresztül (after loading)



Példa: Brachytherapia izotópimplantátumokkal

- Proszтата
- ^{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

