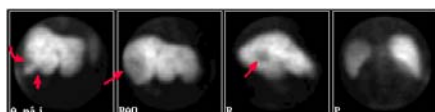
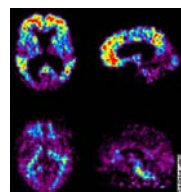


## Az izotópdiagnosztika fizikai alapjai



Smeller  
László



Semmelweis Egyetem

Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet



## • Bevezetés

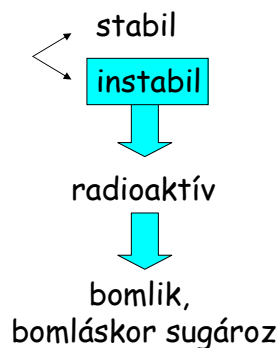
- Az izotóp kiválasztásának szempontjai
- Izotópdiagnosztikai vizsgálati technikák

## Bevezetés

Izotóp: azonos **Z** különböző **N** különböző **A**  
rendszer neutronszám tömegszám

Egy elem különböző izotópjai

A kémiai tulajdonságokat az elektronburok határozza meg.  
**Z** = elektronok száma  
⇒ a stabil és instabil izotópok kémiai és biológiai viselkedése (anyagszere!) megegyezik.  
De a **radioaktív** izotóp sugároz és **detektálható!**



Izotóp ⇒ radioaktív izotóp

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

Milyen információt kaphatunk?

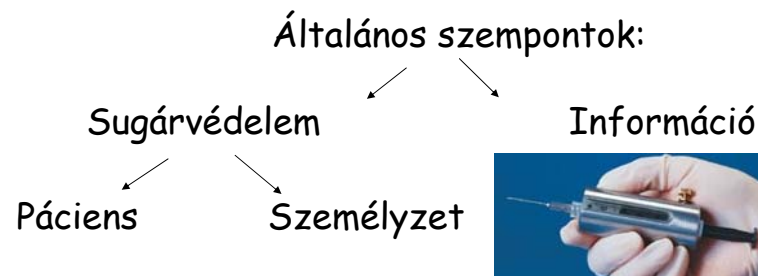
A vizsgált szerv mérete, működőképessége, a funkció sebessége (pl. pajzsmirigy jódfelhasználása)



Hevesy György  
1885-1966  
1943 Nobel díj



Többletinformáció: Funkció! Morfológiai információ mellett a működés sebességét is megmérhetjük: hipofunkció - hiperfunkció  
megj: ne keverjük össze a kontrasztanyaggal!!!



Alapvető sugárvédelmi szabály: Az izotóp akkor a legveszélyesebb, ha inkorporálódik.  
Most mégis ezt tesszük! Miért?

Cost-benefit elv:  
Megéri-e a sugárkárosodás kockázata az így kapható információt? (Minden tevékenység veszélyes!)

## Az izotóp kiválasztásának szempontjai

1. Melyik **elem** izotópját használjuk?
2. Mekkora **aktivitást** használunk?
3. Milyen hosszú legyen az izotóp **felezési ideje**?
4. Milyen **sugárzást** emittáljon az izotóp?
5. Mekkora legyen a sugárzás **energiája**?

## 1. Melyik elem izotópját használjuk?

Amelyik felhalmozódik a vizuálisan szervben (kritikus szerv)


Tipikus pl.  $^{131}\text{I}$  pajzsmirigy  
 $^{59}\text{Fe}$  vörösvértest

De! Nincs minden szervben  
=> hordozómolekulát

Az elemek periódusos rendszere

(szerv)

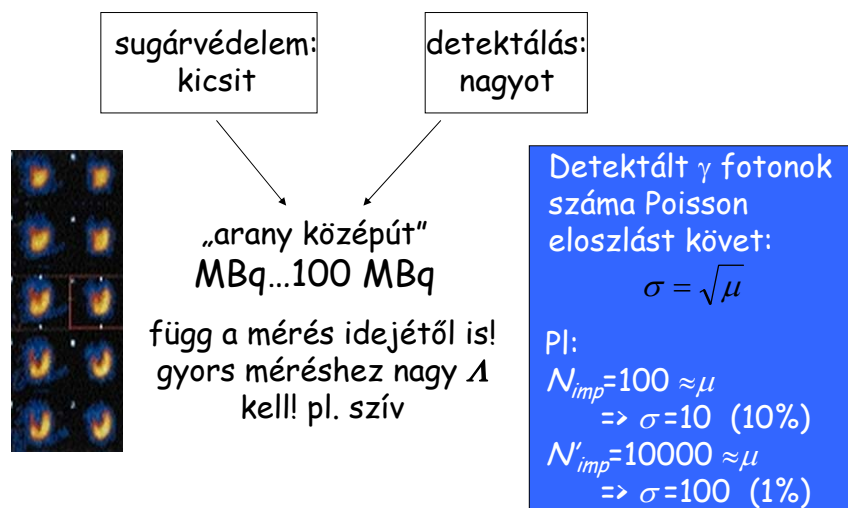
H	He																	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne																						
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar																								
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																														
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																														
Cs	Ba																	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po		
Fr	Ra																	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uut



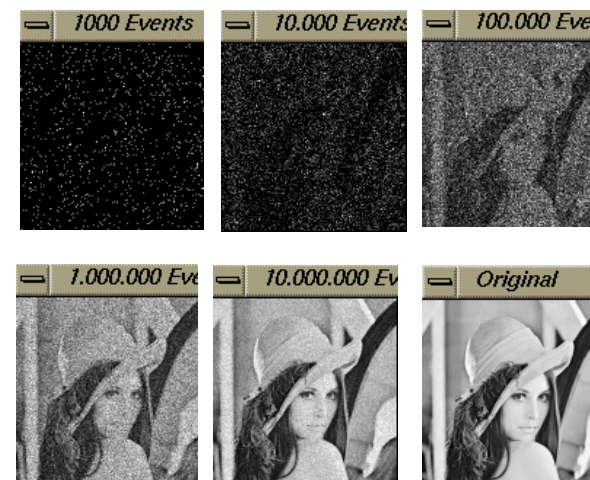
előny: (majdnem) szabadon választható az izotóp, az izotóp tulajdonságai **optimalizálhatóak** a sugárvédelem és a mérés szempontjából

Megj: nagyon **kis mennyiség**! pmol => ilyen kis mennyiségben nem mérgező!

## 2. Mekkora aktivitást használjunk?



## Képmínőség $\leftrightarrow$ Dózis



## 3. Felezési idő

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

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

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

Mivel (majdnem) az összes radioaktív atom a testben bomlik el:  $N \sim$  sugárterhelés

Ugyanakkora  $\lambda$  mellett a sugárterhelés kisebb felezési idejű izotóp választásával csökkenthető!  
 $\Rightarrow T$  legyen minél rövidebb

De!

- $T$  nem lehet rövidebb, mint a vizsgálandó folyamat karakterisztikus ideje.

Pl. vvt élettartam  $\approx$  hónap

~~$^{99m}\text{Tc}$   $T = 6\text{h}$  (túl rövid!)~~  
 $^{51}\text{Cr}$   $T = 28$  nap OK  
 ~~$^{60}\text{Co}$   $T = 5$  év (túl hosszú!)~~

- Szállítás problémája:

10  $T$  alatt  $\lambda \rightarrow \lambda/1000$

Pl.: ha  $T = 2$  perc 20 perc múlva 1MBq  $\rightarrow$  1kBq

$\Rightarrow$  a nagyon rövid felezési idejű izotópokat helyben kell előállítani! (ciklotron, Tc-generátor)

pl.  $^{18}\text{F}$  110 perc  $^{15}\text{O}$  2 perc (PET)

#### 4. Milyen sugárzást emittáljon az izotóp?

$\alpha, \beta^+, \beta^-$  } *hatótáv* {  $< \text{mm}$  } nem lép ki a testből  
                   } *szövetben* {  $\text{mm-cm}$  }

információt nem ad,  
csak károsít

$\gamma$ : csak részben nyelődik el, detektálható

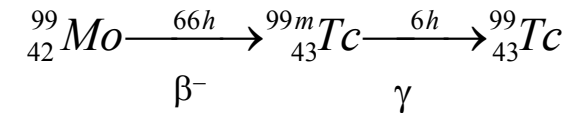
**Az optimális izotóp csak  $\gamma$  sugárzást emittál!**

kivétel PET, ahol  $\beta^+$  izotópot használunk. (ld. később)

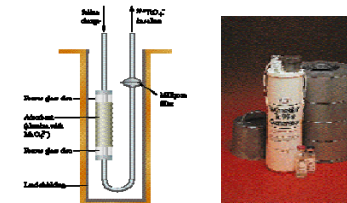
A tisztán  $\gamma$ -sugárzó izotóp:

- ritka
- izomer magátalakulás pl.  $^{99m}\text{Tc}$

#### Tc generátor



Időben szétválik a  $\beta^-$  és a  $\gamma$  kibocsátás.  
Elkülöníthető a  $^{99m}\text{Tc}$  ami tisztán  $\gamma$ -sugárzó.



#### 5. Mekkora energiájú legyen a $\gamma$ -foton?

nagy energia:

kevésbé nyelődik el a szövetekben (sugárkárosodás)  
de nehéz detektálni

kis energia:

nagyrészt elnyelődik a szövetekben => károsít

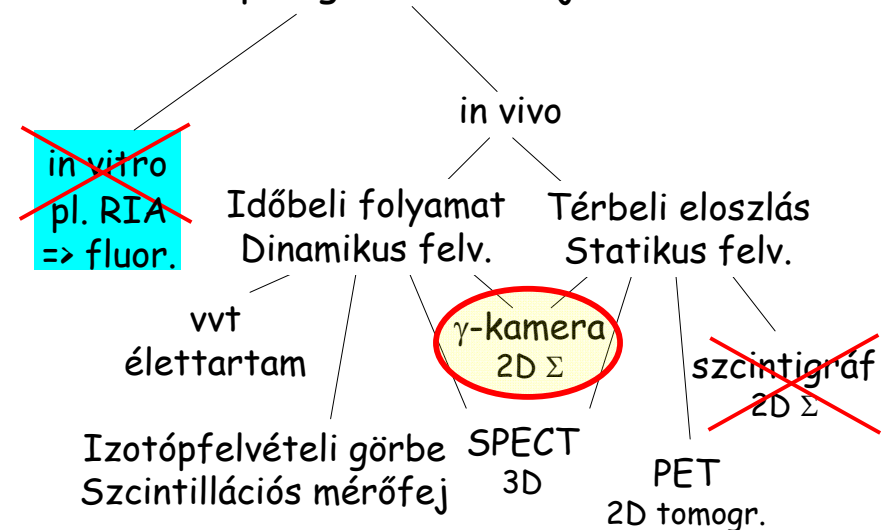
arany középút: néhány 100 keV optimális

$^{99m}\text{Tc}$  : 140 keV OK

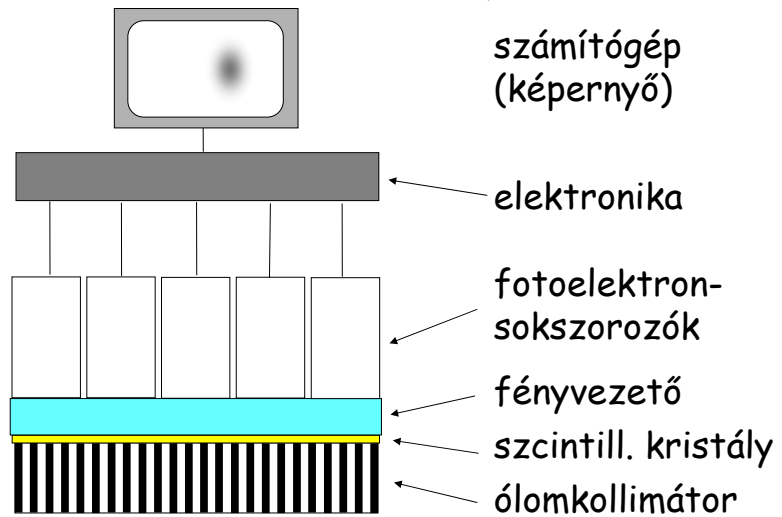
Optimális izotóp:  $^{99m}\text{Tc}$

nagyon sok vizsgálathoz használják  
megfelelő hordozómolekulához kötve

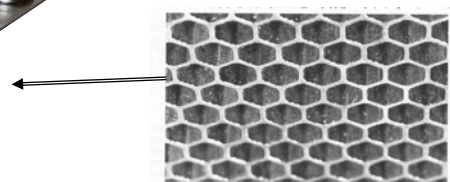
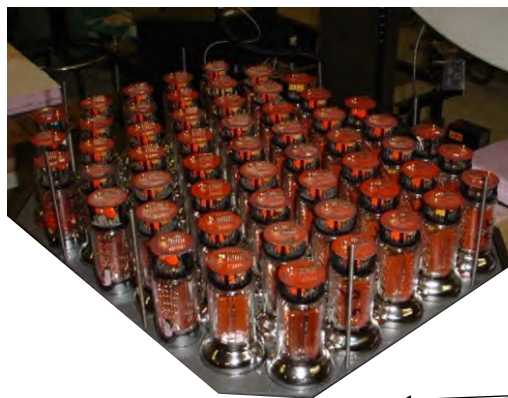
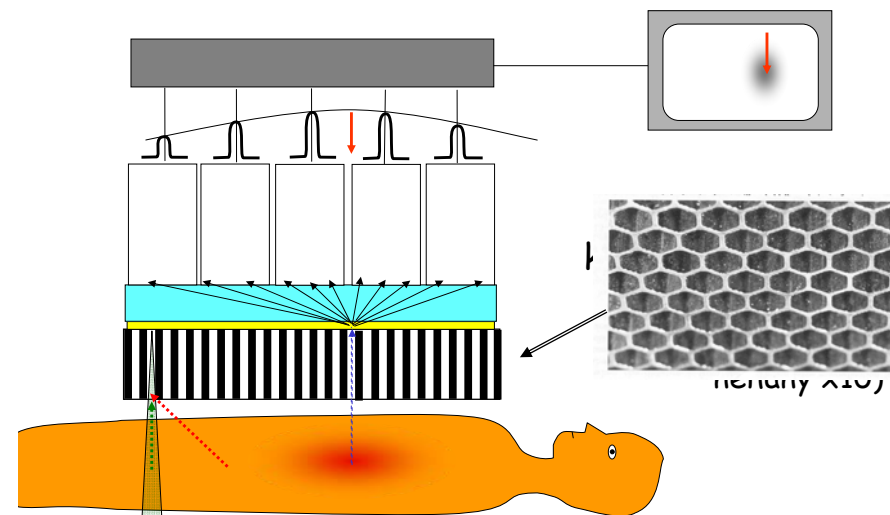
#### Izotópdiagnosztikai eljárások



In vivo > Térbeli eloszlás >  $\gamma$ -kamera



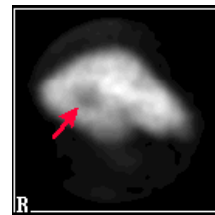
In vivo > Térbeli eloszlás >  $\gamma$ -kamera





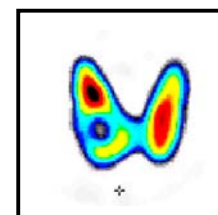


Néhány példa:

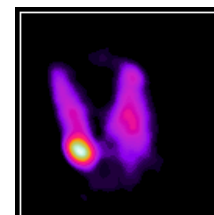


Máj metasztázis

$^{99m}\text{Tc}$  fitát



hideggöb



pajzsmirigy

meleggöb

$^{99m}\text{Tc}$  pertechnetát

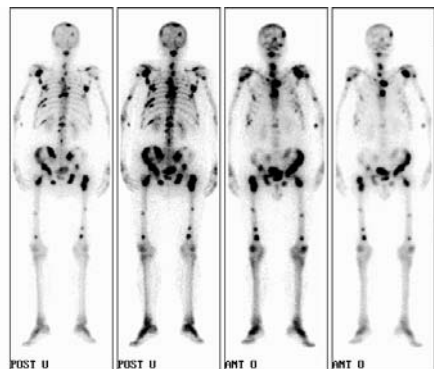
## Csontscintigráfia

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



ANT 0

normális

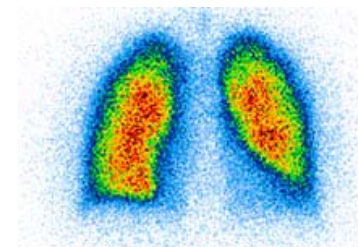


metasztázisok

## Tüdő szcintigráfia

Perfúzió (vérkeringés)

Ventilláció (légutak)



kettős izotópjelzés

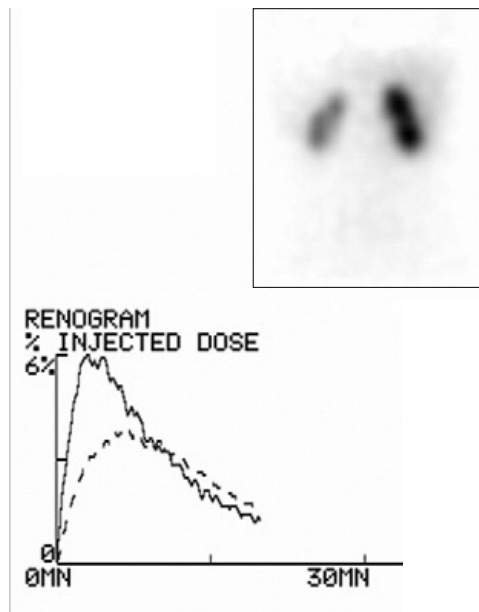
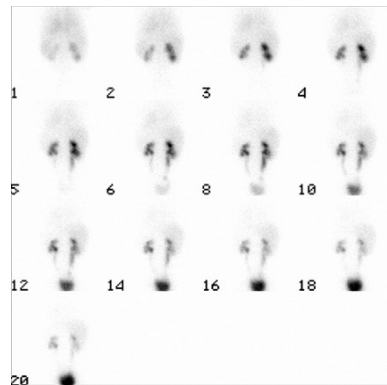
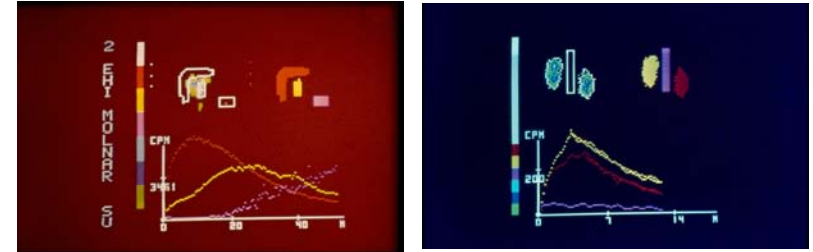
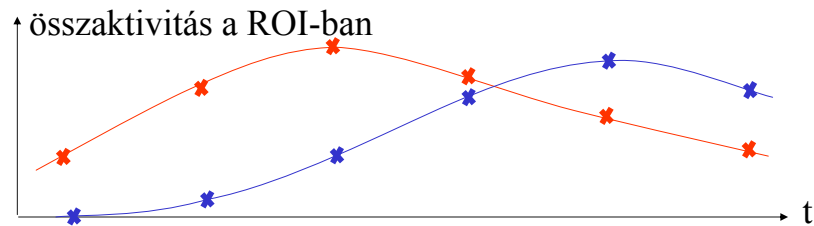
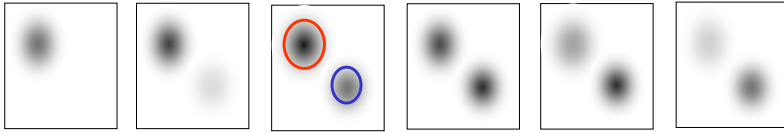
lehetősége

(ld. gyakorlat a 2. szemeszterben)

## Időbeli és térbeli információ egyidejűleg:

Dinamikus felvétel  $\gamma$ -kamerával

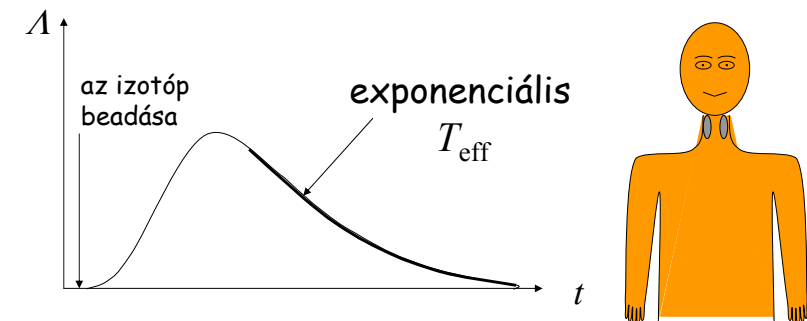
Egymás utáni  $\gamma$ -kamera felvételek:



## Tipikus izotópfelvételi görbe

pl: pajzsmirigy  $^{131}\text{I}$  (jódfelvételi görbe)

$^{131}\text{I}$   $\beta$ -t is sugároz ezért manapság inkább  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  pertechnetát  $\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$



Biológiai kiürülés  
+ fizikai bomlás

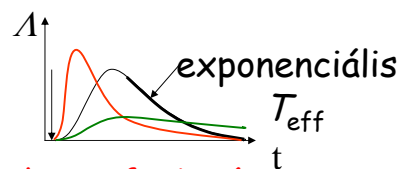
A bomlási  
valószínűségek adódnak

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

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

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

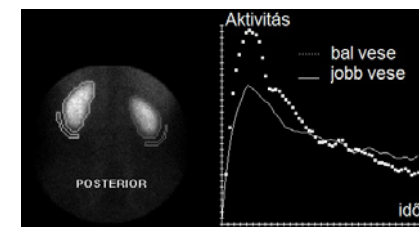
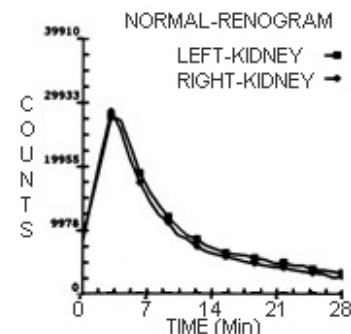
mérjük tudjuk számoljuk  
(táblázat)



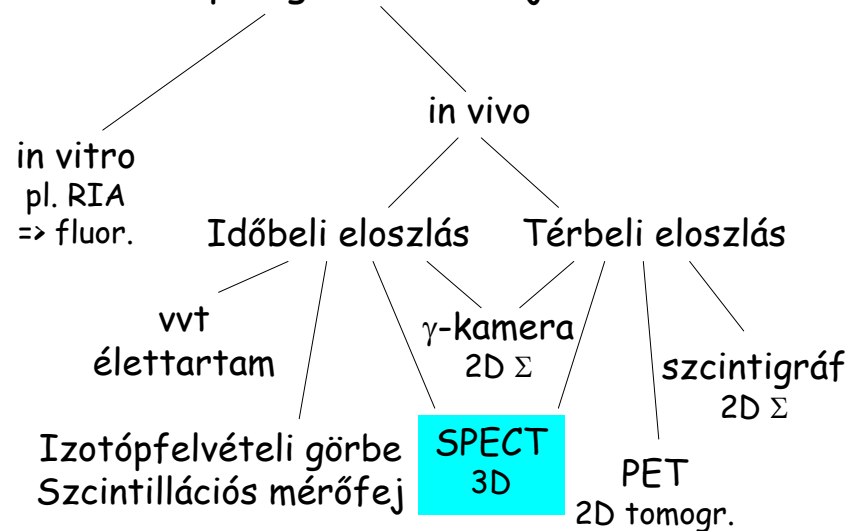
hyperfunkció  
hypofunkció

Ue. vesefunkció vizsgálatára (renográfia)

## Vesefunkció vizsgálat (renogram)

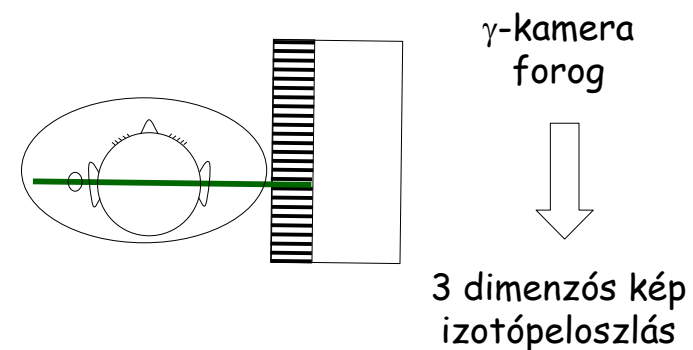


## Izotópdiagnosztikai eljárások



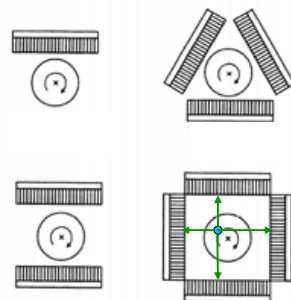
## SPECT

(Single Photon Emission Computed Tomography)





## SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography)

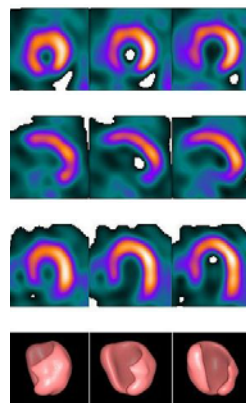
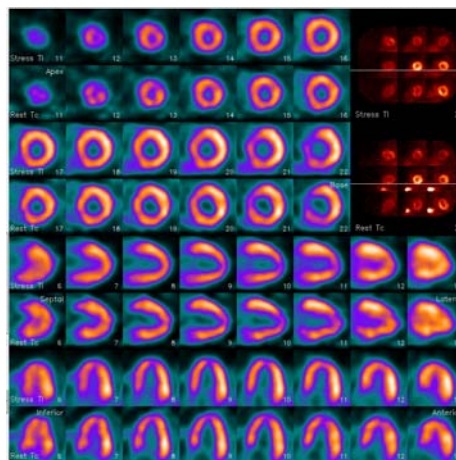


Különböző  $\gamma$ -kamera elrendezések

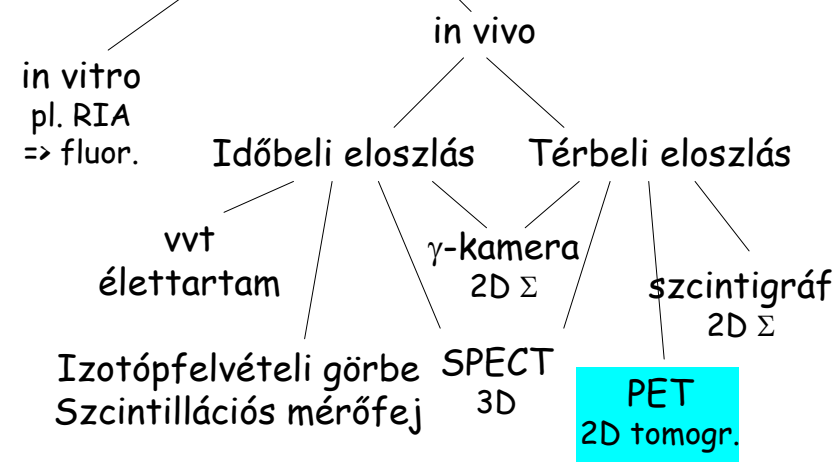
## SPECT



## Néhány példa: szív SPECT



## Izotópdiagnosztikai eljárások



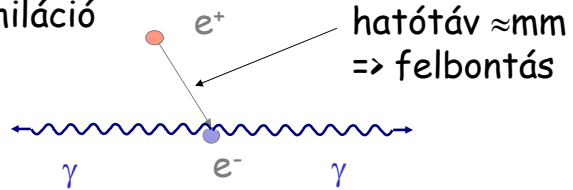
## PET (Positron Emission Tomography)

Pozitron bomló izotóp!

Természetben nem fordul elő

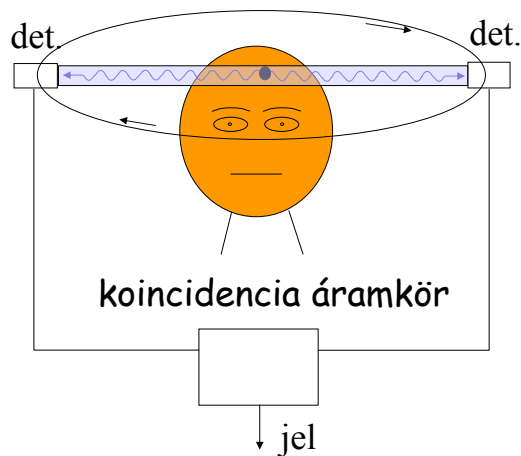
Mesterséges előállítás (pl. ciklotron) helyben!

Pozitron annihiláció



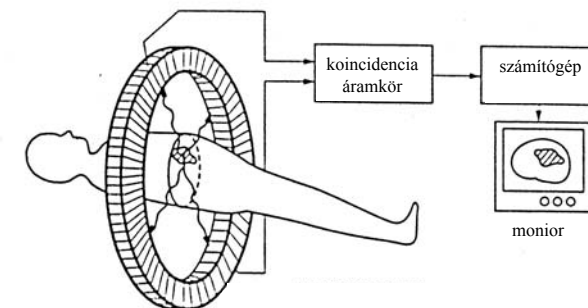
izotóp	T (perc)	$E_{\max}$ (MeV)	átl. hatótáv (mm)
$^{11}\text{C}$	20,4	0,96	0,3
$^{13}\text{N}$	9,9	1,19	0,4
$^{15}\text{O}$	2,9	1,72	1,5
$^{18}\text{F}$	110	0,64	0,2
$^{68}\text{Ga}$	68	1,89	1,9
$^{82}\text{Rb}$	1,3	3,35	2,6

## PET (Positron Emission Tomography) elv:

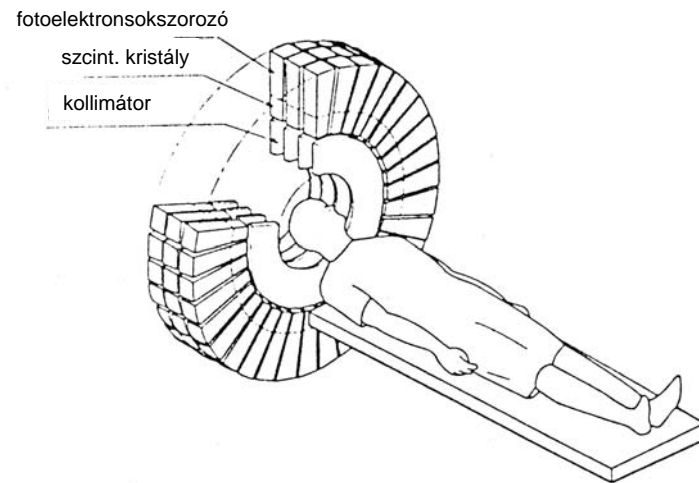


## A PET gyakorlati megvalósítása:

### Körkörös detektorgyűrűrendszer



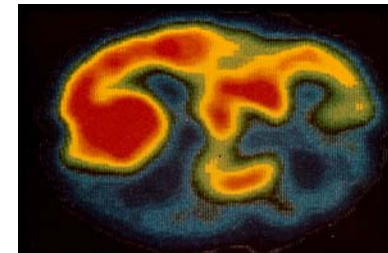
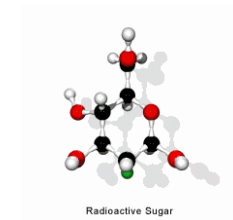
Többszörös detektorgyűrűrendszer => 3D kép



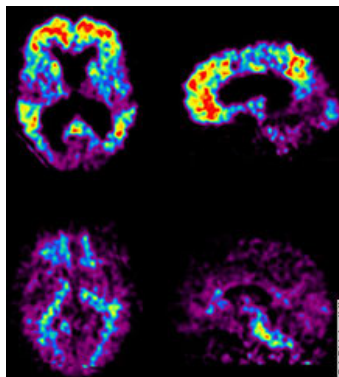
Tipikus vizsgálati szerv az agy  
Radiofarmakonok:

$^{11}\text{C}$   $^{18}\text{N}$   $^{15}\text{O}$   $^{18}\text{F}$

FDG  $^{18}\text{F}$ deoxiglükóz



A vizsgálni kívánt tetszőleges biológiai folyamathoz kifejleszhető radiofarmakon. Pl. Alzheimer plakkok kimutatása korai stádiumban



## Multimodális eljárások

Kettő, vagy több képalkotó eljárás kombinációja

Előnyök egyesítése

Pl: CT: jó anatómiai felbontás  
(de nincs funkcionális információ)

SPECT: funkcionális információ  
(de limitált felbontás)

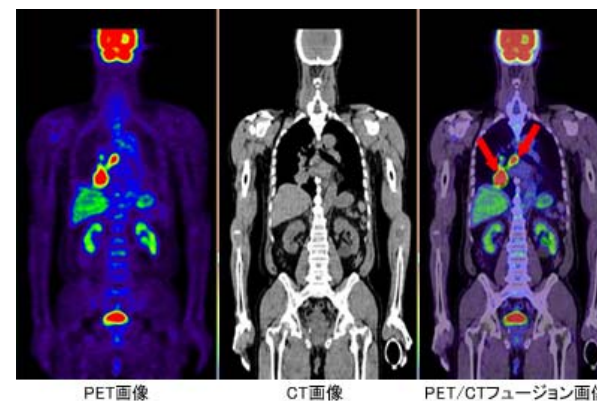
PET: funkcionális információ  
(de limitált felbontás)



Hibrid berendezés (CT+SPECT)

## CT és izotópdiagnosztika kombinálása

### PET-CT

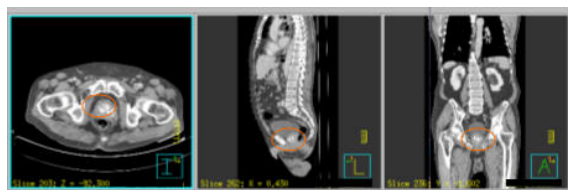


PET画像

CT画像

PET/CTフュージョン画像

CT



PET



CT+PET

