

Izotópok



diagnosztikai alkalmazásai

Izotópdiagnosztikai eljárás lépései

Alkalmas, radioaktív molekulák bejuttatása

Az aktivitás eloszlásának, változásának követése

A fiziológiás v. patológiás folyamatok felismerése,
lokalizálása a mért eloszlás alapján.

Képalkotó eljárásokkal nyerhető információ

Anatomiai

Röntgen

Ultrahang

MRI

*a szövetek eltérő fizikai
tulajdonságai alapján differenciálnak*

Funkcionális

Izotópdiagnosztika

MRI

*a szövetek eltérő biokémiai/élettani
jellemzői alapján differenciálnak*



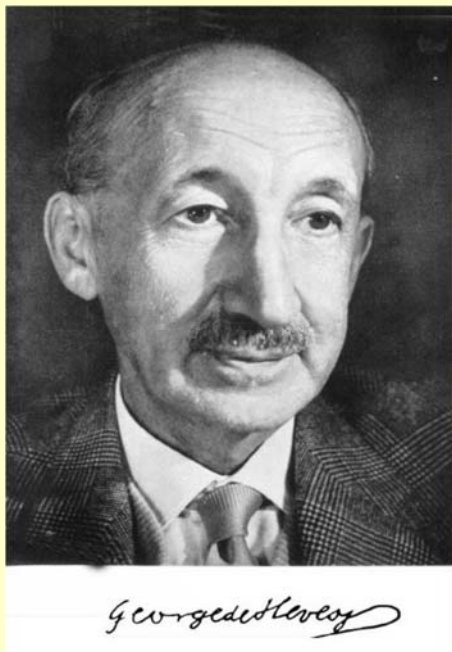
Röntgen felvétel

*Információ a
struktúráról*



Izotópdiagnosztikai felvétel

*Információ
a metabolikus aktivitásról*



A nukleáris medicina atyja

Hevesy György
(1885 - 1966)

Kémiai Nobel-díj
1943

az izotópos jelzéstechnika
megalapozásáért

Hevesy György és háziasszonya



A múlt héten sem
szerettem. Miért
gondolja, hogy most
szeretni fogom?

Az izotóp kiválasztásának szempontjai

Maximáljuk a nyerhető információt.

Minimalizáljuk a kockázatot.

Ennek megfelelően optimalizálandó

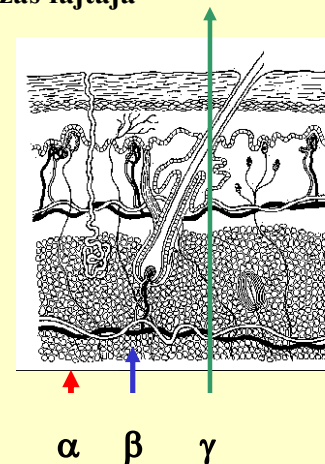
a sugárzás fajtája

a sugárzás fotonenergiája

az izotóp felezési ideje

radiofarmakon előállíthatósága és tulajdonságai

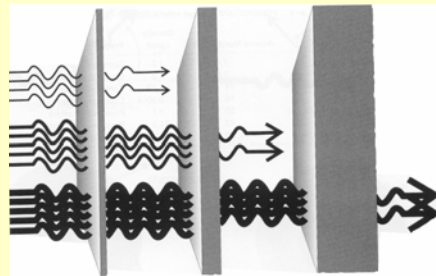
a sugárzás fajtája



Csak a **γ -sugárzás**
áthatolóképessége elég
nagy

Optimális a tisztán γ -sugárzó mag

a sugárzás fotonenergiája



Legyen elég nagy az áthatolóképessége a testszövetekben!

Legyen jó hatásfokkal detektálható!

$$hf > 50 \text{ keV}$$

az izotóp felezési ideje

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

Csökkentésének határt szabnak a vizsgálat körülményei.

Legyen minél rövidebb!

A paciens védelmében minimalizáljuk!

Csökkentésének határt szab vizsgálandó biológia folyamat időbeli lefolyása.

radiofarmakonok – radioaktív atomot hordozó molekula

Vegyen rész a vizsgálni kívánt biokémiai/élettani folyamatban

Ne módosítsa vizsgálni kívánt folyamatot.

példák

farmakon	izotóp	aktivitás (MBq)	alkalmazási terület
Pertechnetát	^{99m} Tc	550 - 1200	agy
Pirofoszfát	^{99m} Tc	400 - 600	szív
Dietilén-triamin pentaecetsav (DTPA)	^{99m} Tc	20 - 40	tüdő
Benzoilmercapto-acetiltri-glicerín (MAG3)	^{99m} Tc	50 - 400	vese
Metilén difoszfónát (MDP)	^{99m} Tc	350 - 750	csont

Mekkora aktivitást használunk?

Maximáljuk a nyerhető információt.

Minimalizáljuk a kockázatot.

$$\Lambda \sim 100 \text{ MBq}$$

A kép típusai

Statikus kép – az izotóp/aktivitás eloszlása egy adott pillanatban

Dinamikus kép – az izotóp/aktivitás mennyiségének változása egy adott helyen

Statikus és dinamikus együttese – statikus felvételek egymásutánja

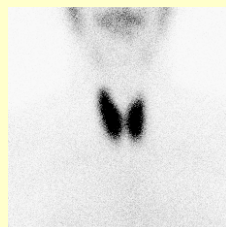
Emissziós CT

SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography)

PET (Positron Emission Tomography)

A kép típusai

Statikus kép – az izotóp/aktivitás eloszlása egy adott pillanatban



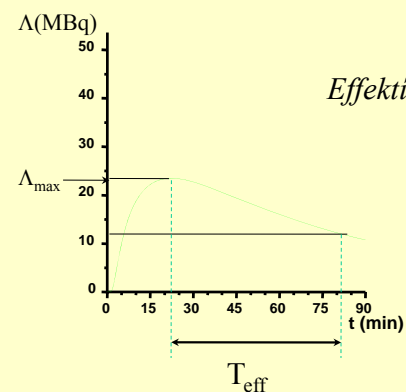
Izotóp felhalmozódása

pajzsmirigyben,

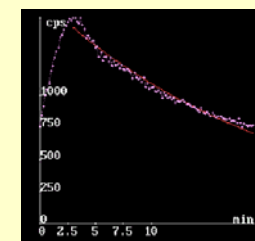
vesében

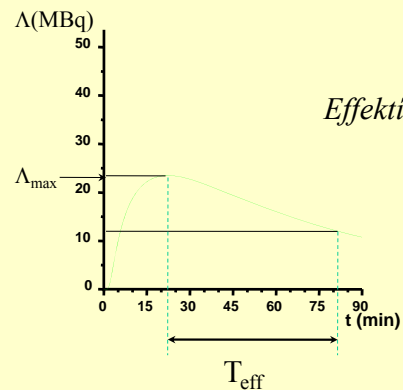
A kép típusai

Dinamikus kép – az izotóp/aktivitás mennyiségének változása egy adott helyen



Effektív felezési idő – az aktivitás a felére csökken a célszervben





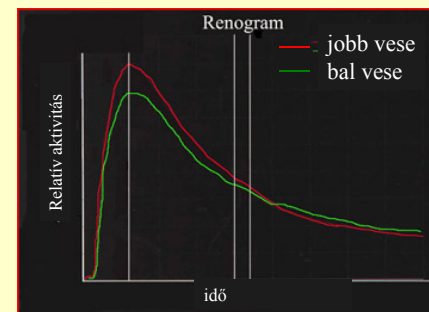
Effektív felezési idő – az aktivitás a felére csökken a célszervben

$$\Lambda = \Lambda_0 e^{-(\lambda_{fiz} + \lambda_{biol})t}$$

$$\lambda_{effektiv} = \lambda_{fiz} + \lambda_{biol}$$

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

példa

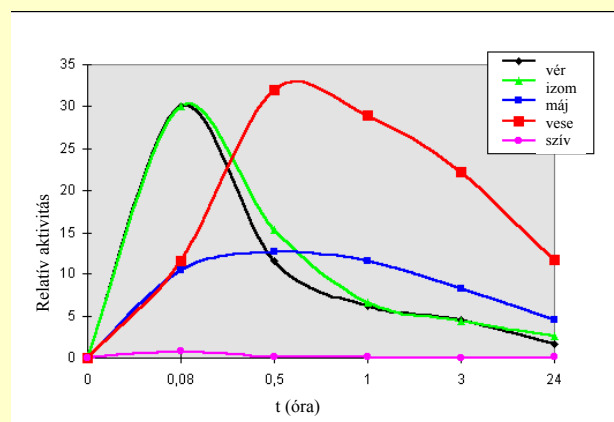


vese

izotóptárolási görbéje

A biológiai felezési idő értékeléséhez a felvétel körülményeit (milyen radiofarmakon, milyen formában stb.) is figyelembe kell venni.

^{99m}Tc -mal jelzett skorpió méreg eloszlása patkányban



Hal Anger
1920-2005



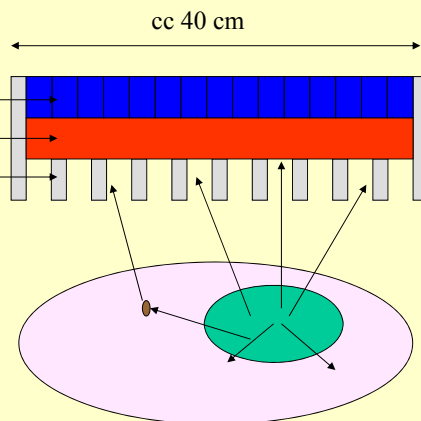
Hal Anger munkatársaival

1952

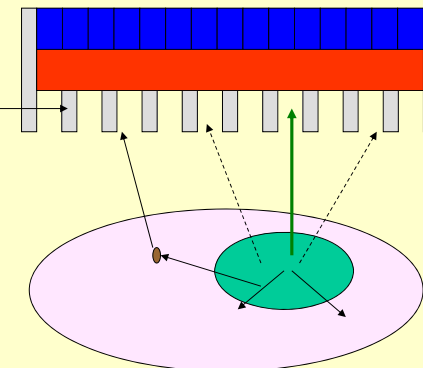
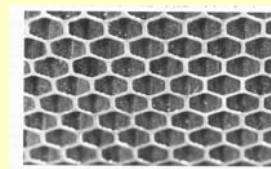


Gamma kamera

fotoelektronszorzók
detektorkristály
kollimátor



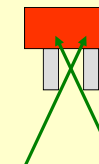
kollimátor



Jó abszorpcióképességű anyagból (ólom) álló
csöves/lemez rendszer.

Csak bizonyos szög alatt érkező fotonokat enged át.

A nyílások mérete, geometriája fontos az érzékenység és
feloldóképesség szempontjából.



detektorkristály

NaI(Tl) szcintillációs kristály

Megfelelő detektálási hatásfok

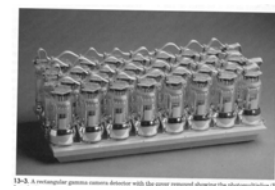
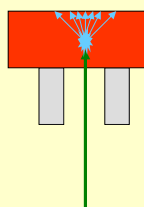
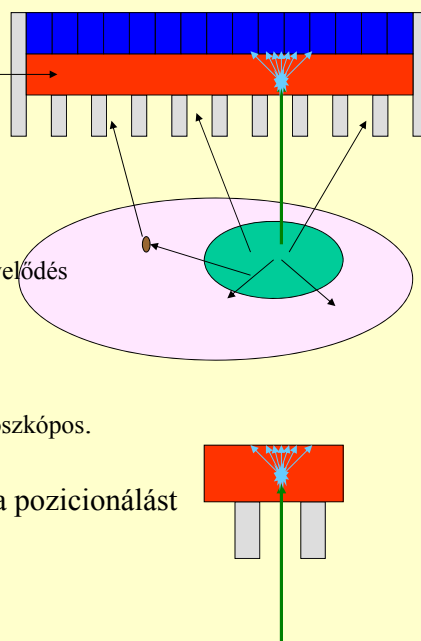
150 keV-os fotonra $\mu \sim 2.2$ 1/cm

10 mm rétegvastagságban $\sim 90\%$ -os elnyelődés

Az emittált fény hullámhossza – 415 nm –
megfelel a PMT követelményeinek.

Sajnos törékeny, hőmérsékletérzékeny, higroszkópos.

A szcintilláció befolyásolja a pozicionálást



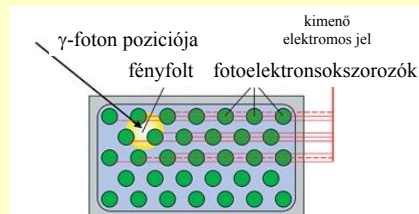
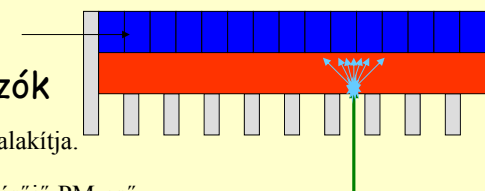
fotoelektronszorzók

Fényimpulzusokat elektromos jellé alakítja.

Tipikusan 37-91 db, 5.1-7.6 cm átmérőjű PM-cső

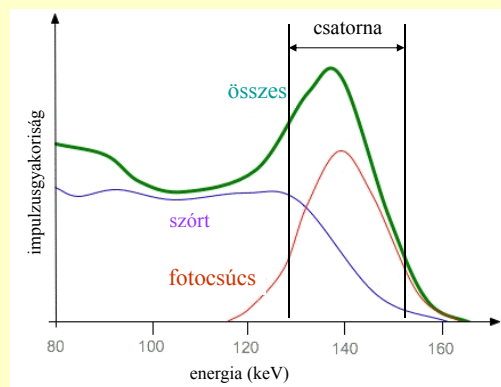
A keletkező feszültségimpulzusok
nagysága változatos, mert

- egy γ -foton elnyelődése nemcsak egy fotoelektronszorzóban indukál elektromos jelet
- az elnyelődés nemcsak fotoeffektussal történik



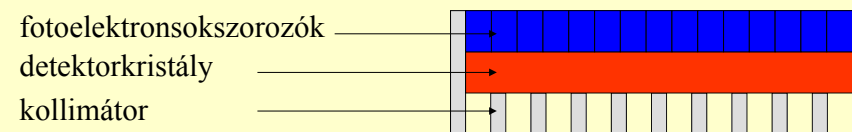
Impulzus amplitúdó spektrum – a fotoeffektus révén elnyelődő γ -foton energiájával arányos nagyságú feszültségimpulzust generál.

Ez a többi* feszültségimpulzustól diszkriminálással (DD) megkülönböztethető.



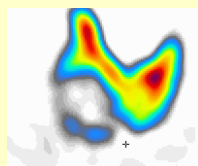
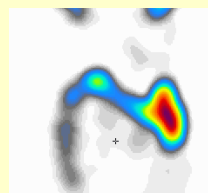
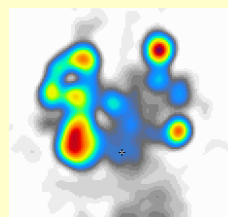
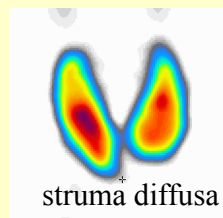
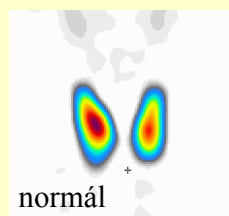
* Compton-szórás révén keletkező, vagy nem a térbeli lokalizációnak megfelelően becsapódó fénycsúcsok által kiváltott.

Gamma kamera

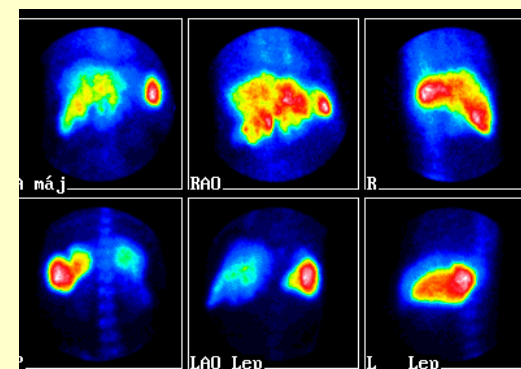


A sugárzás forrásának hely szerinti azonosítását
a kollimátor
a fotoelektronsokszorozók
a diszkriminátorok
együttesen teszik lehetővé.

Pajzsmirigy pertechnetátos (intravénásan 80 MBq) felvételek



Durva göbös májlézió



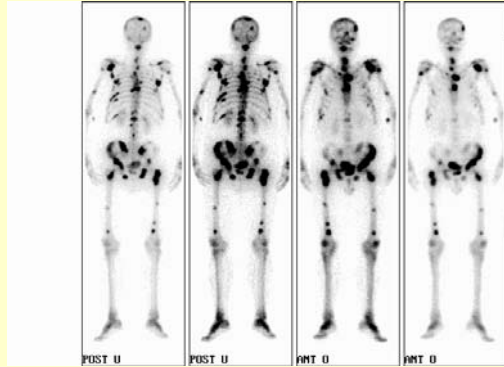
^{99m}Tc -foton

csontszcintigráfia

^{99m}Tc -MDP: 600 MBq



normal egésztest



csontmetastasis

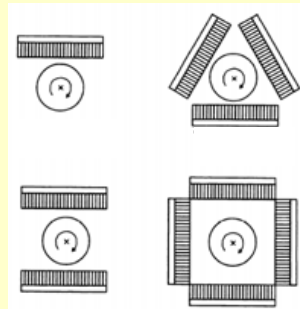
A gamma-kamera időbeli és térbeli felbontásra is alkalmas.
Statikus és dinamikus képet is nyerhetünk.

Jellemző paraméterek:

- térbeli felbontás
- energiaszelektivitás (felbontás)
- detektálási hatékonyság

SPECT

Single Photon Emission Computed
Tomography



különböző kameraelrendezések

SPECT

Több gamma kamera szkennel egy réteget – adatgyűjtés 360°-ban.

Keresztmetszeti képeket ad.

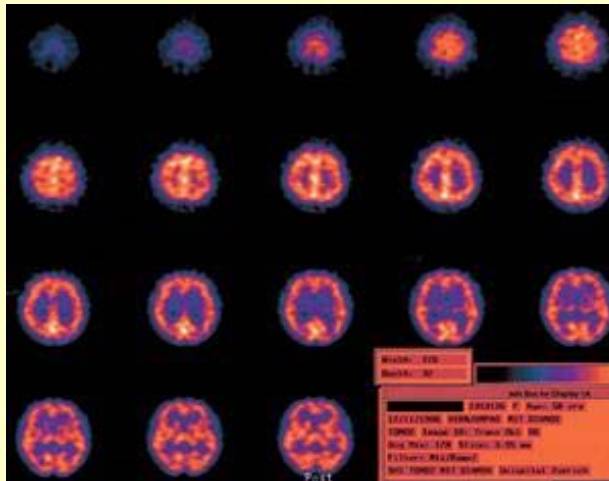
Az egyes szeletekben az aktivitás eloszlását a számítógép rekonstruálja.

Szinkódolt képrekonstrukció.

Egymást követő rétegek felvétele az x-tengely mentén.

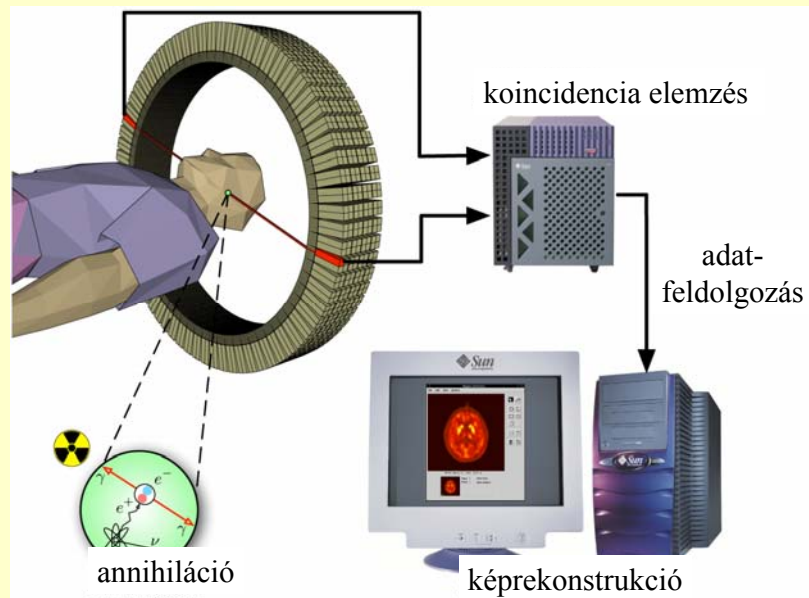
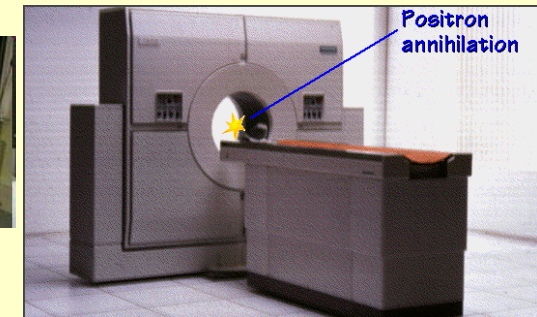
Fejről részült SPECT -felvételek

^{99m}Tc - HMPAO

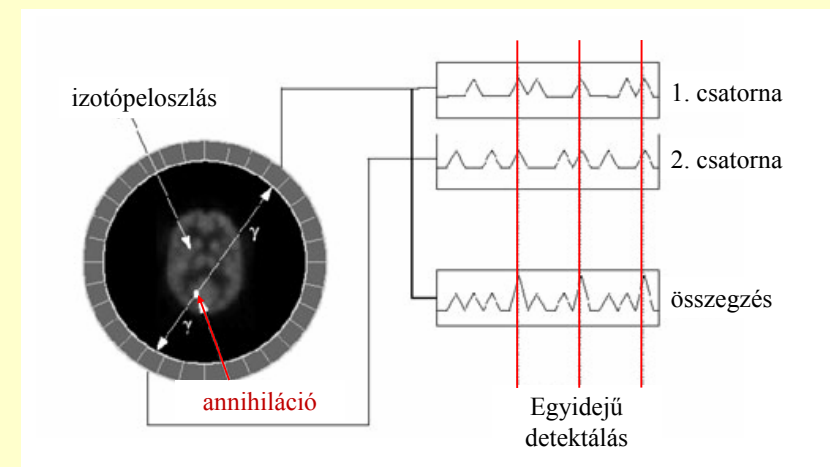


PET

Positron Emission Tomography



Koincidencia a detektálásban



A PET-ban leggyakrabban alkalmazott radionuklidok természetes szerves molekulákban is megtalálható elemek izotópjai.

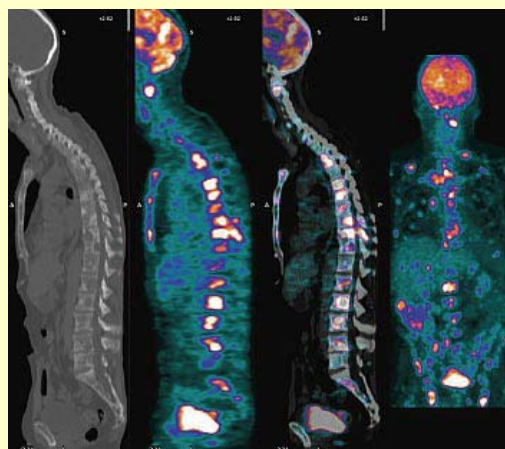
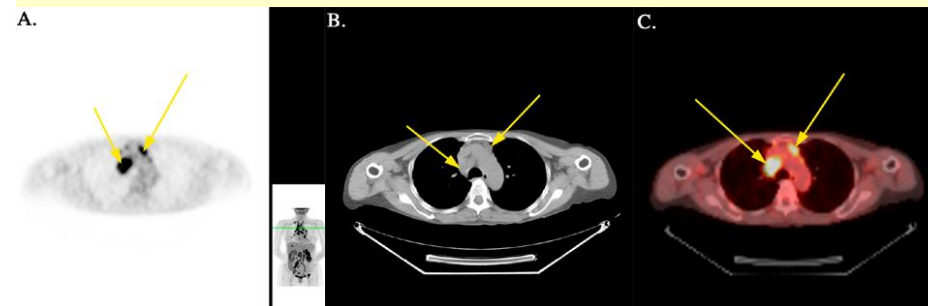
izotóp	β^+ energia (MeV)	β^+ hatótáv (mm)	T	felhasználás
^{11}C	0.96	1.1	20.3 min	receptorfunkciók
^{15}O	1.70	1.5	2.03 min	stroke
^{18}F	0.64	1.0	109.8 min	onkológia/neurológia

A rövid felezési idő miatt a felhasználás közelében kell előállítani ezeket.



PET/CT

A PET kombinálható pontosabb morfológiai képet adó módszerrel



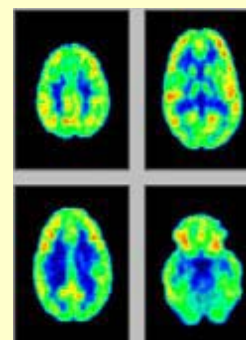
CT

PET

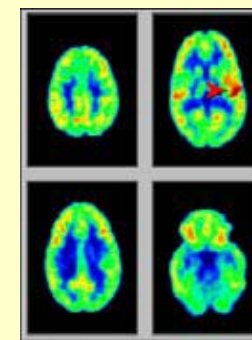
PET/CT

PET

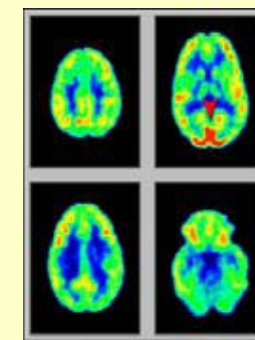
Agyterületek aktivitásának vizsgálata



nyugalom

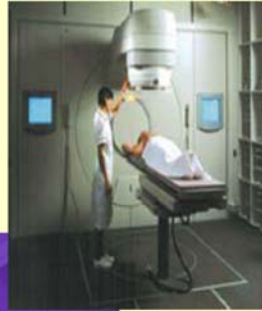


hallás



látás

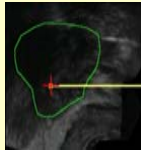
Sugárterápia



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)?

α



csak célzottan a tumorba juttatva

β^-

Lineáris ionsűrűség:

e^-

egységnyi úthosszon létrehozott ionpárok száma (n/l)

γ

LET (Linear Energy Transfer)v. linearis energiaátadás:

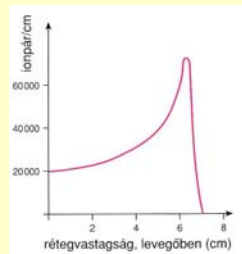
R_{tg}

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

p

n

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



α

Energiaja nem optimális

β^-

folytonos energiaszórású
tipikus energia: néhány MeV



csak célzottan a tumorba juttatva

e^-

gyorsított elektron - 10-20 MeV

γ

Előállítás: lineáris gyorsító

R_{tg}

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

p

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

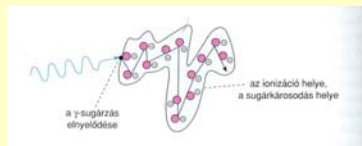
n

felületközeleli tumorok

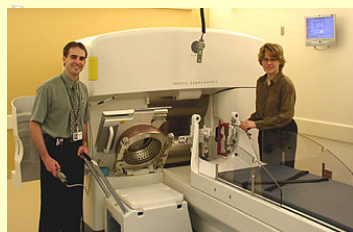
Probléma:

foton elnyelődésének helye \neq ionizáció helye = sugárkárosodás helye

β^- Az átlagos úthossz a energiától függ.



γ :



γ -kés:

összesen kb. 200 db izotóp

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

agysebészeti célra különösen alkalmas

α

β^-

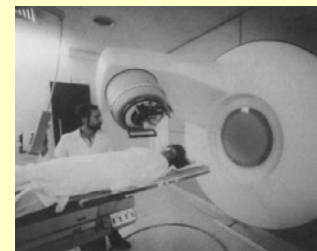
e^-

γ ,

Rtg:

p

n



Részecskegyorsító a rtg. sugárzás előállításában.

Néhány MeV fotonenergia.

Besugárzás ideje jól szabályozható.



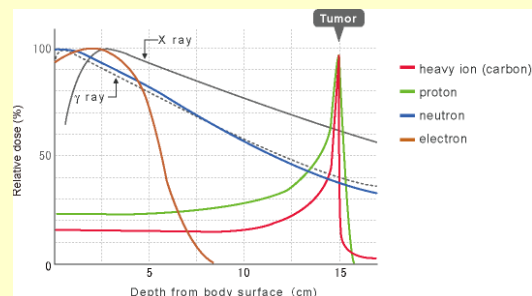
Ideális lenne, de nagyon drága!
Óriási gyorsító kell!

γ ,

Rtg,

p :

n



Neutronsugár előállítása: nagy energiájú proton (66 MeV)
ütközése berillium targetbe ($p(66) + \text{Be}$)

α

β^-

A neutronok magreakciókat indukálnak.

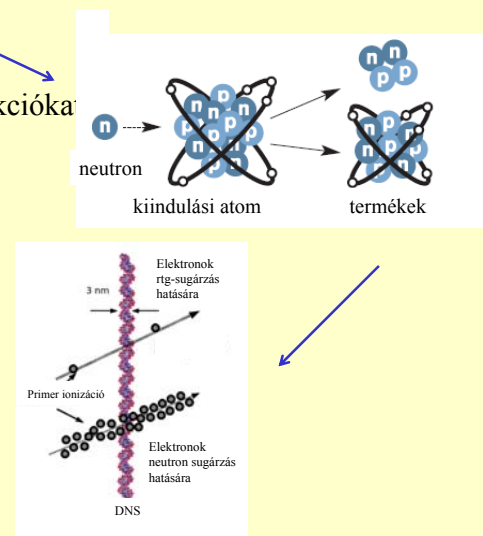
γ ,

Rtg,

p,

n :

Nagy LET



Tipikus LET-értékek

LET-érték:	Sugárfajta:	Energia (MeV):	LET(keV/μm):
magas	α -részecske	5.0	90
	gyors neutron	6.2	21
	protonok	2.0	17
alacsony	röntgensugár	0.2	2.5
	60-Co γ-sugarzás	1.25	0.3
	beta-sugár	2.0	0.3
	elektronok	10.0	

Kapcsolódó fejezetek:

Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika

II. 3.2.3

3.2.4

3.2.5

VIII. 3.2

VIII. 4.4

IX.3