

Metódy diagnostiky materiálov

Marcel MiGLiERiNi

9. Diagnostika v nukleárnej medicíne

- gama kamera
- CT
- PET
- kombinované techniky

Obsah

- historické poznámky
- diagnostika
- metody
 - gama kamera
 - CT
 - PET
- kombinované techniky

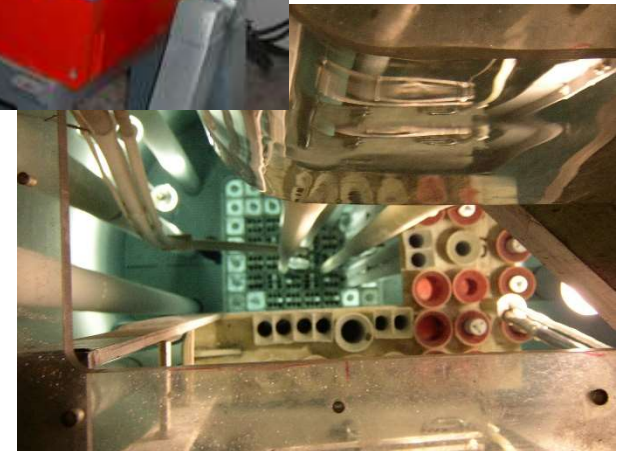
Historické míľniky

- 1895 Objavenie RTG žiarenia - W. K. Röntgen
- 1896 Objav prirodzenej rádioaktivity - H. Becquerel
- 1900 Používanie RTG na detekciu tuberkulózy
- 1912 Teória rádioaktivity, **liečba RTG lúčmi**
- 1930 Objav umelej rádioaktivity
- 1936 Liečba rádionuklidom ^{32}P
- 1946 Úplne potlačená rakovina štítnej žľazy
- 1950 Zobrazenie srdca a kostry (**gama kamera**)
- 1952 Prvý linický linac (**lineárny urýchľovač**)
- 1970 RTG mamografia
- 1972 **Computer Tomography (CT)**
- 1978 Digitálne spracovanie obrazu RTG
- 1980 **Magnetic resonance imaging (MRI)** - prvýkrát aplikované na ľudský mozog
- 1984 3D zobrazovanie dát z CT alebo MRI
- 1985 **PET** + Zavedenie počítačových sietí a zdieľanie CT informácií na celom svete
- 1989 Špirálové CT + MR angiografia
- 1993 Otvorené MR systémy



Zdroje žiarenia

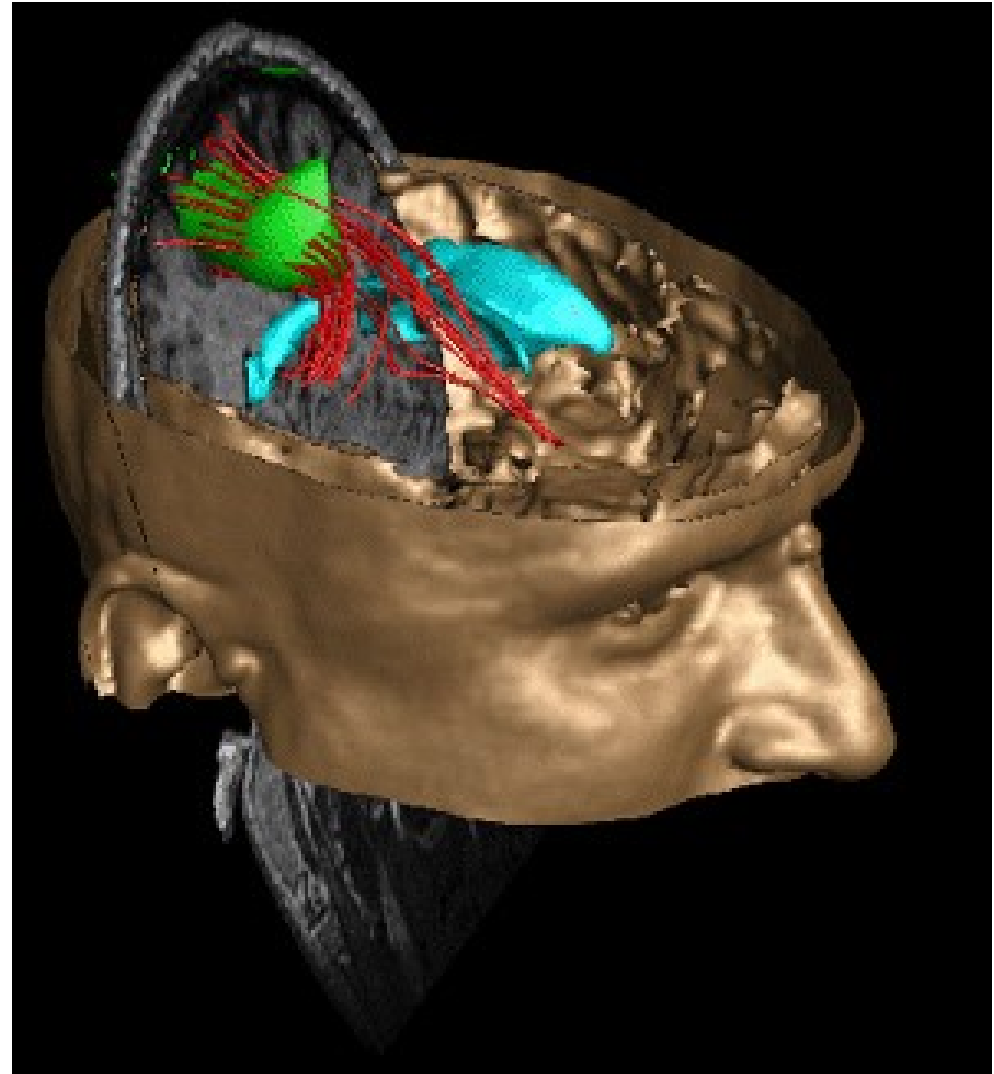
- rádionuklidy
 - γ žiarenie z jadrových rozpadov
 - energia, polčas rozpadu
 - generátor rádionuklidov
- urýchľovače
 - produkcia rádionuklidov
 - lúče X – vyššie energie (dosah)
 - elektrónová terapia
 - hadrónová terapia – protóny, ióny
- reaktory
 - produkcia rádionuklidov
 - bórová neutrónová záchyťová terapia (BNCT)



Diagnostika – podľa činnosti

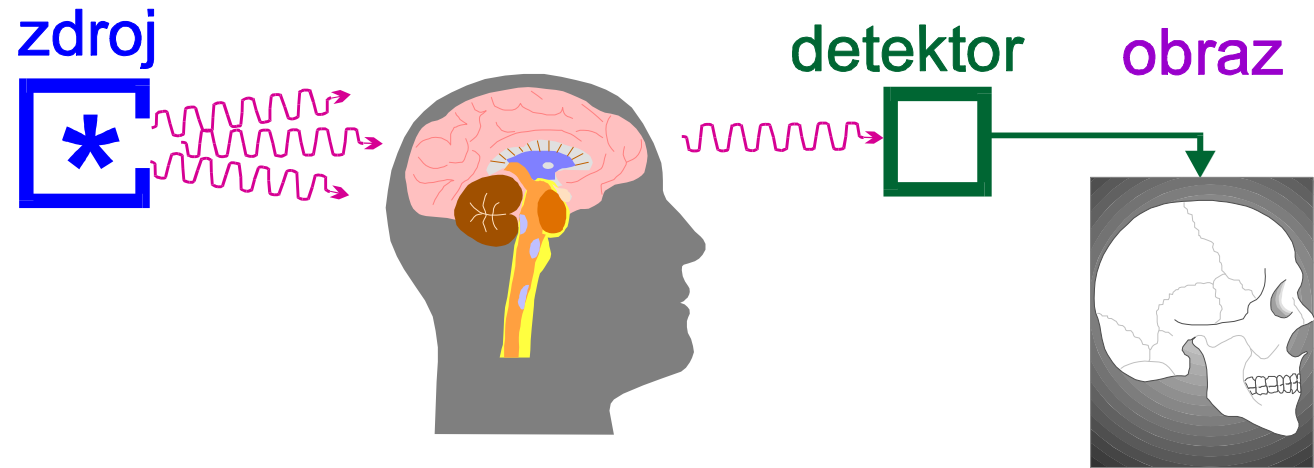
- morfológická
 - usporiadanie, tvar, veľkosť, ...
- funkčná
 - činnosť orgánov
- dynamická
 - časové závislosti

kontrastné látky

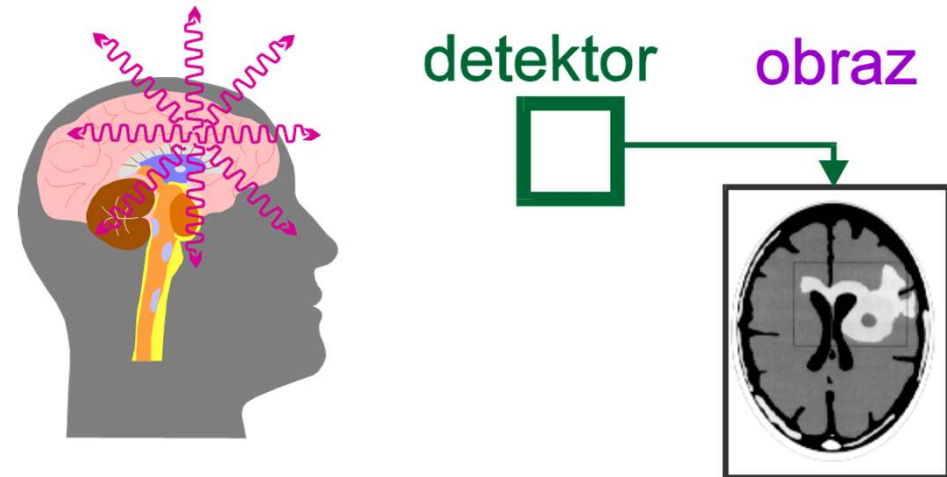


Diagnostika – podľa usporiadania

- absorpčná
 - RTG, CT



- emisná
 - gama kamera, PET
 - MRI



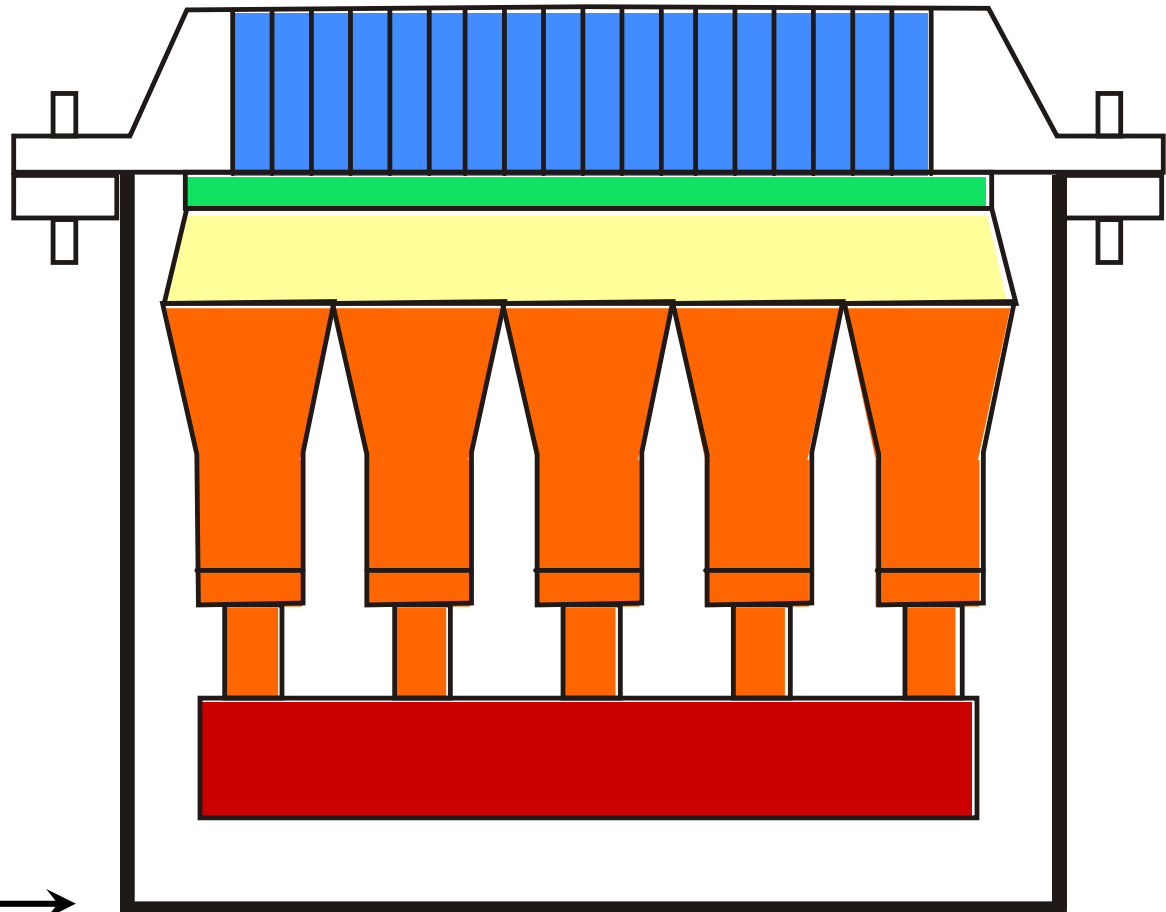
- kombinovaná
 - NAA, CT+PET

Jadrová medicína

- diagnostika pomocou zavedenia rádionuklidmi značkových farmák (**rádiofarmák**) do ľudského organizmu
- dynamická scintilografia
 - časové zmeny priestorového rozloženia rádionuklidov
 - vyšetrenie funkčnosti vnútorných orgánov
- planárna scintilografia
 - statická vizualizácia ionizujúceho žiarenia v zobrazovacích rovinách
- scintilačná gama kamera
 - H. O. Anger, 1956

Základné komponenty gama kamery

- kolimátor
- scintilačný kryštál
- svetlovod
- fotonásobiče
- pozičný obvod
- tienenie →



Kolimátor

- paralelný mnohokanálový kolimátor

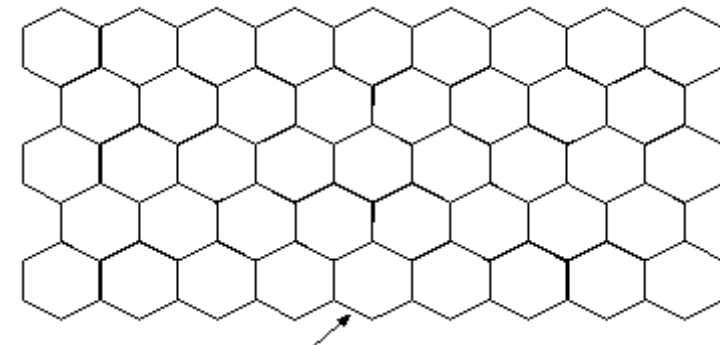
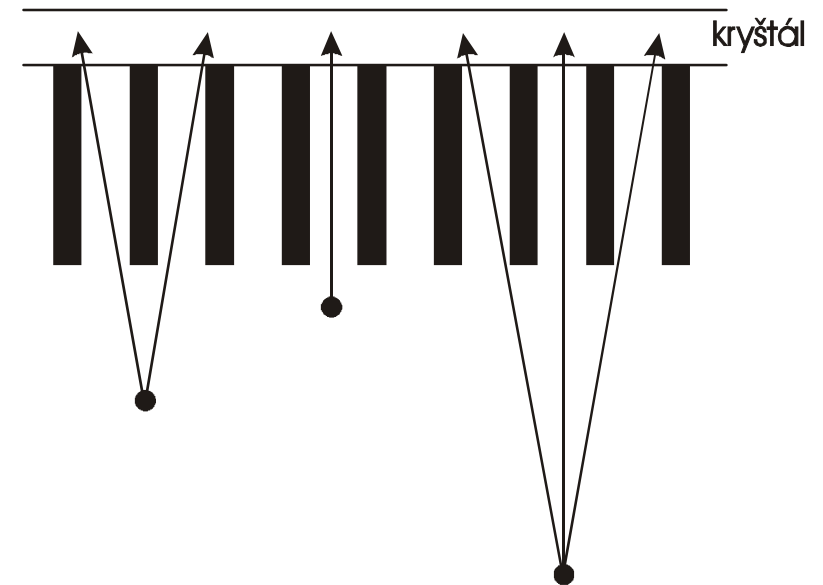
- výber smeru fotónov γ
- geometrické zorné pole kamery
- priestorový rozptyl
- citlivosť systému

- výber kolimátora

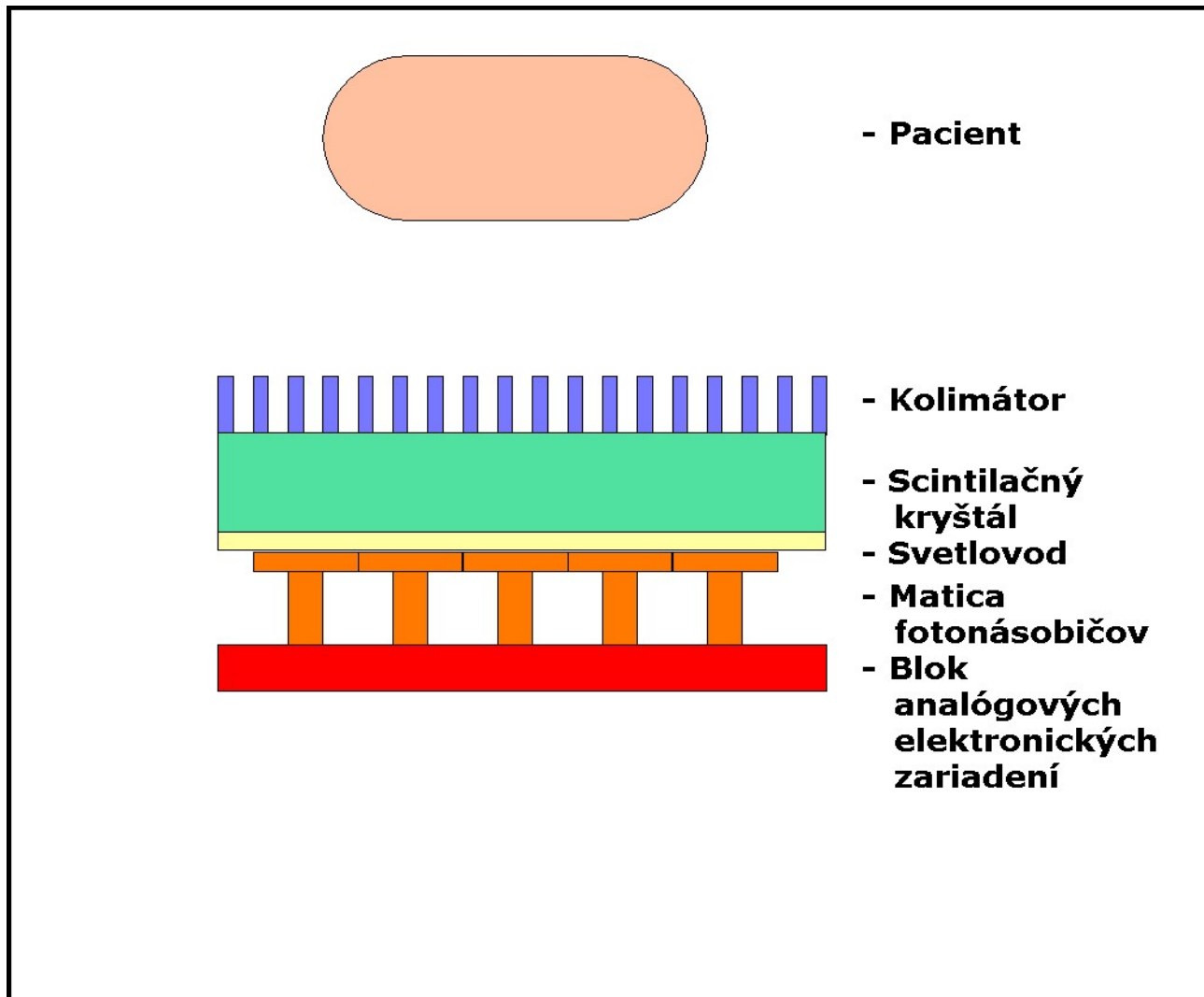
- energia registrovaných fotónov
- požadované rozlíšenie (veľkosť orgánu)
- požadovaná citlivosť
- skenovacia hĺbka

- výsledný obraz

- počet otvorov, priemer otvorov, dĺžka otvoru, hrúbka septy, materiál



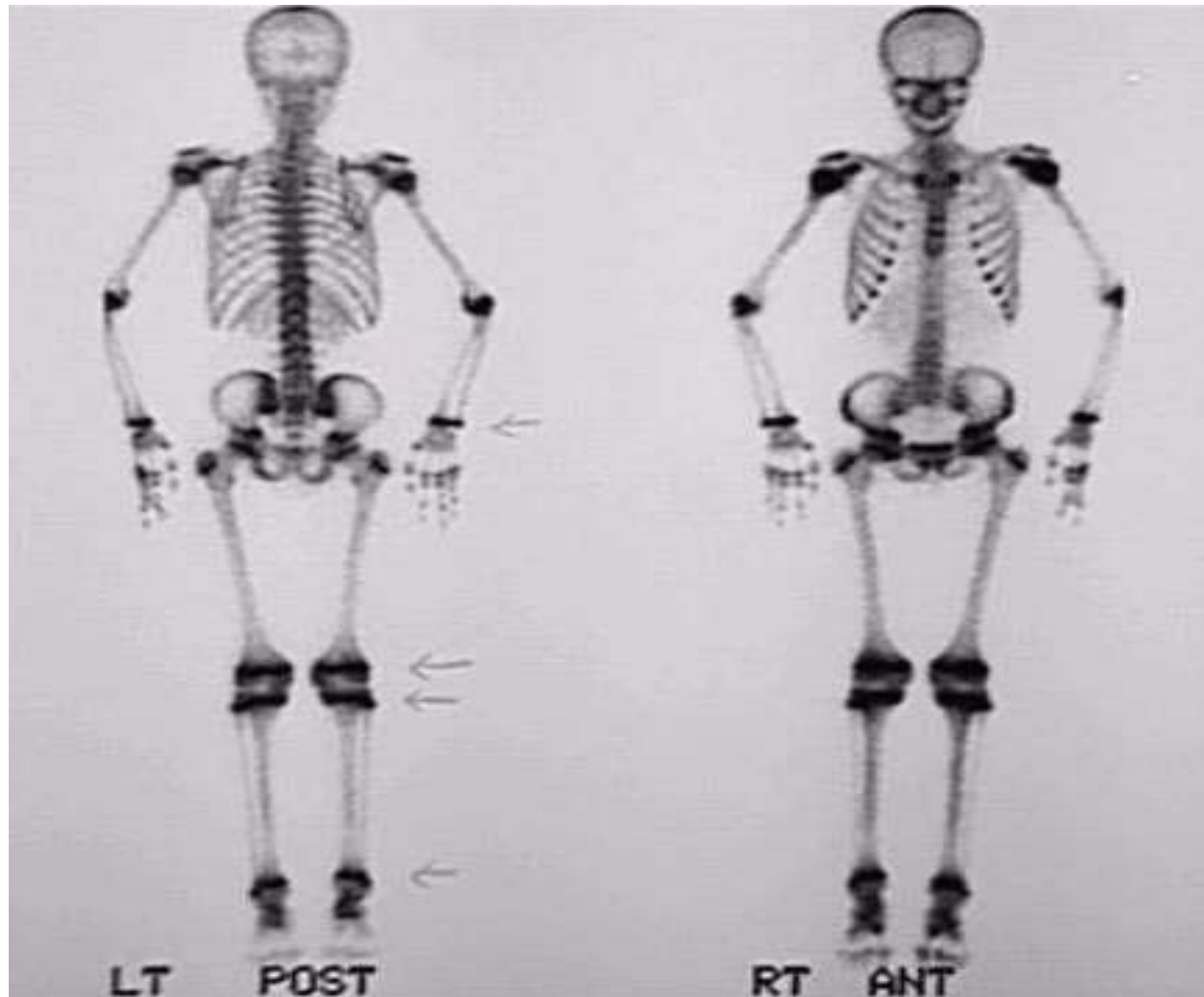
Snímanie obrazu



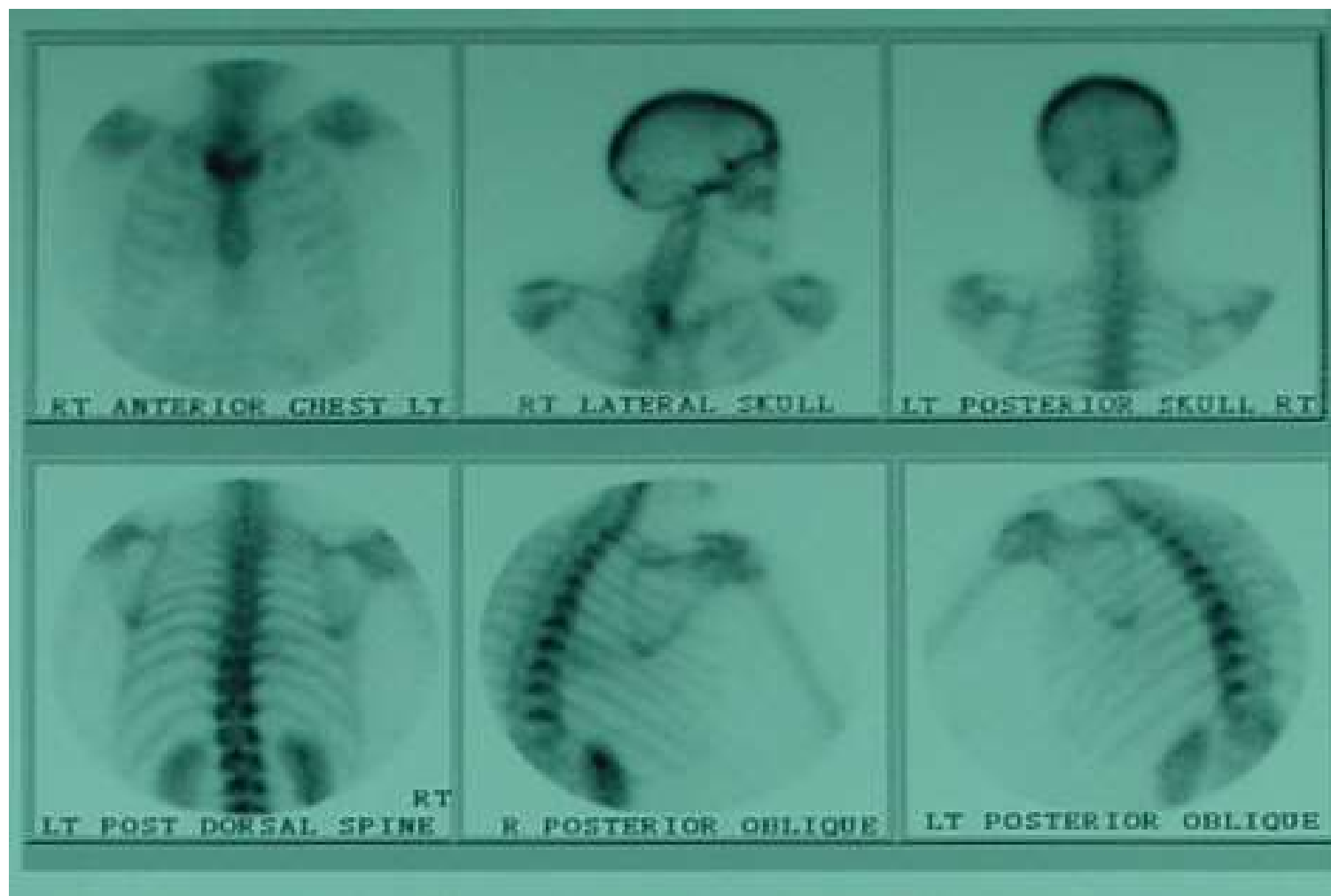
Gama kamera



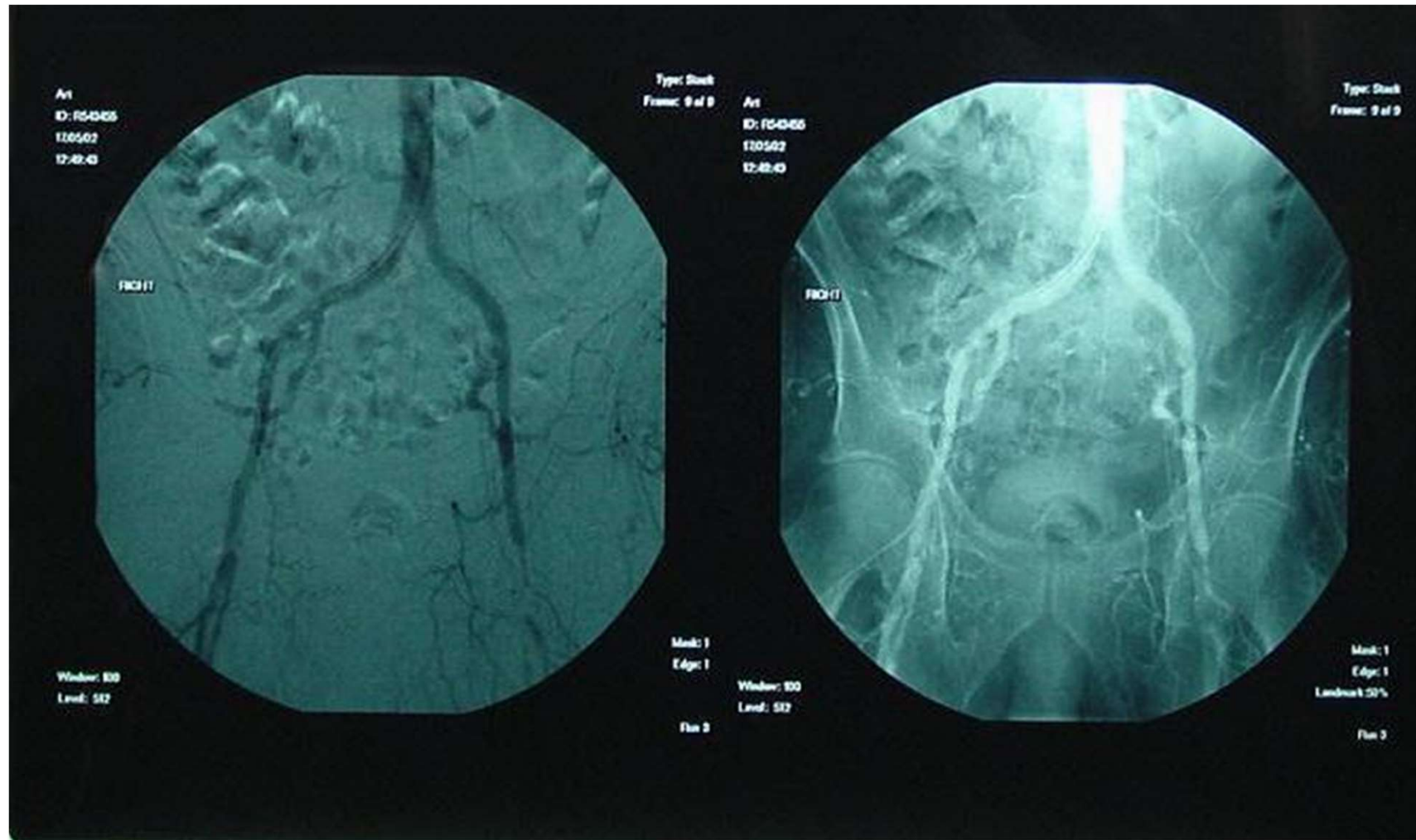
Celotelový scintigraf



Časti tela



Krvný obeh srdca



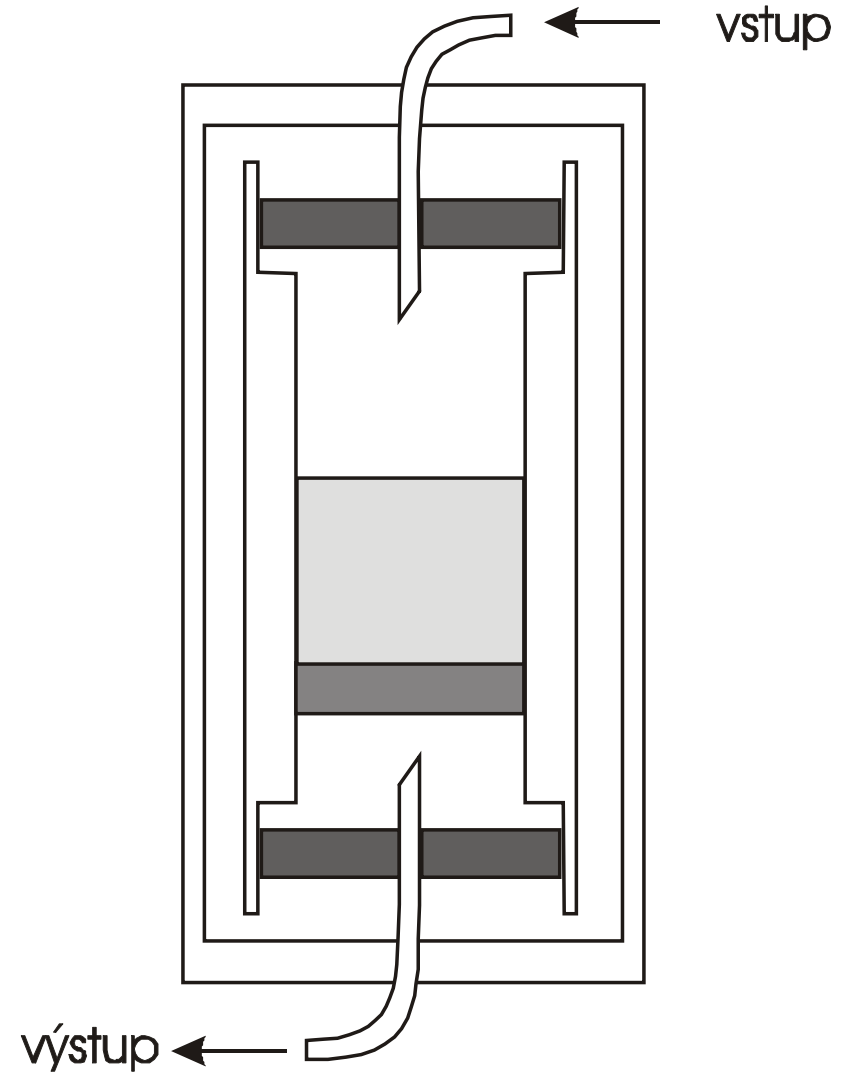
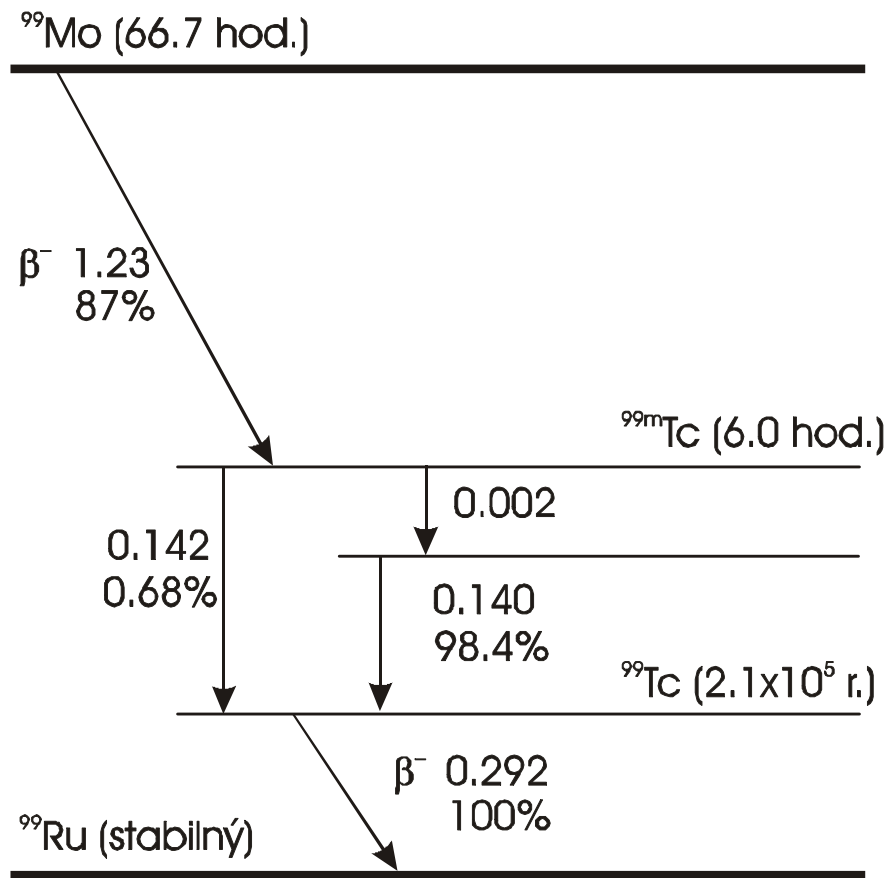
Aplikácia vo veterinárstve



Výber rádionuklidov

- polčas rozpadu – niekoľko hodín
- produkcia γ žiarenia niekoľko stoviek keV
- ľahko zabudovateľný do farmaceutika
- môže byť dodaný do nemocnice vo forme, v ktorej vydrží niekoľko dní

Generátor ^{99m}Tc



Generátory rádionuklidov

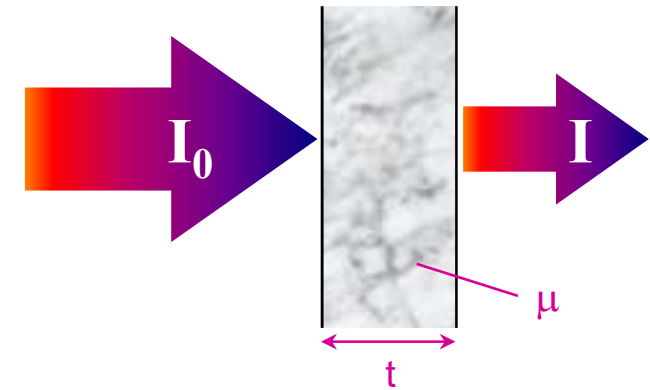
materské jadro	$T_{1/2}$	jadrová reakcia	dcérske jadro	$T_{1/2}$
^{99}Mo	67 hod.	$^{98}\text{Mo} (n, \gamma)$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6 hod.
^{113}Sn	117 dní	$^{112}\text{Sn} (n, \gamma)$	$^{113\text{m}}\text{In}$	100 min.
^{81}Rb	4.7 hod.	$^{79}\text{Br} (\alpha, 2n)$	$^{81\text{m}}\text{Kr}$	13 sek.
^{82}Sr	25 dní	$^{85}\text{Rb} (p, 4n)$	^{82}Rb	75 sek.
^{191}Os	15.3 dní	$^{190}\text{Os} (n, \gamma)$	$^{191\text{m}}\text{Ir}$	4.9 sek.
^{195}Hg	41.6 hod.	$^{197}\text{Au} (p, 3n)$	$^{195\text{m}}\text{Au}$	30.6 sek.
^{137}Cs	30 rokov	rozpad	$^{137\text{m}}\text{Ba}$	2.6 min.

Röntgenové žiarenie

$$I = I_0 \cdot \exp\{-\mu \cdot t\}$$

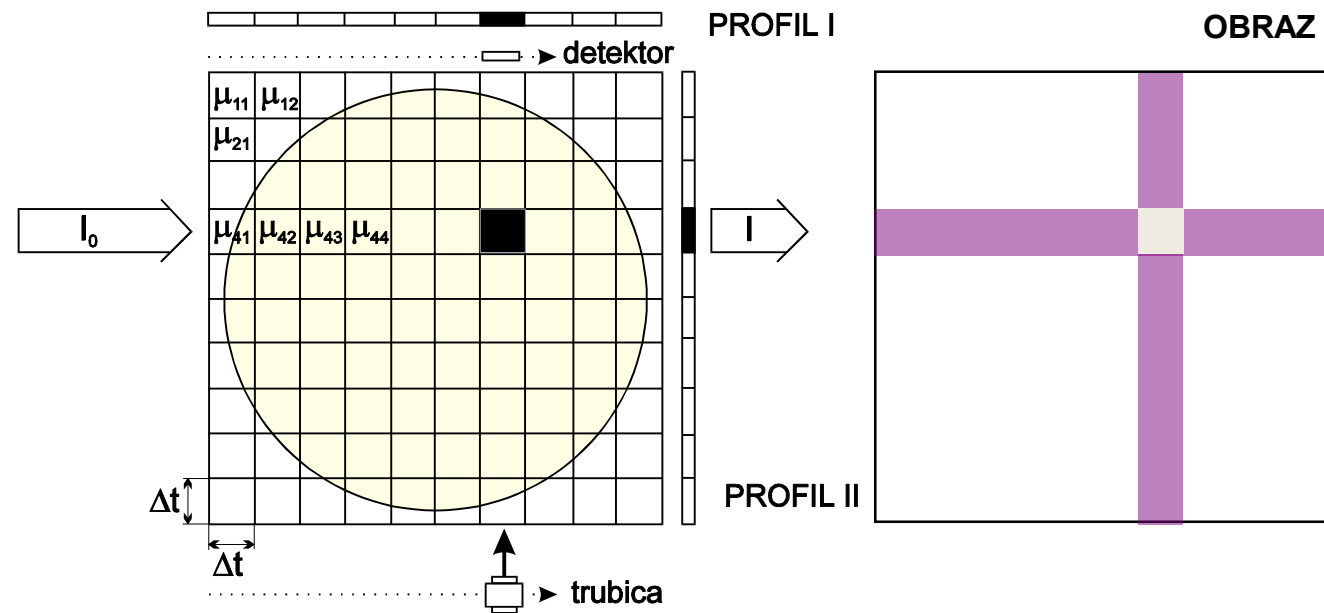
■ Röntgen

I_0, I - intenzita žiarenia
 μ - lineárny koeficient zoslabenia
 t - hrúbka vrstvy



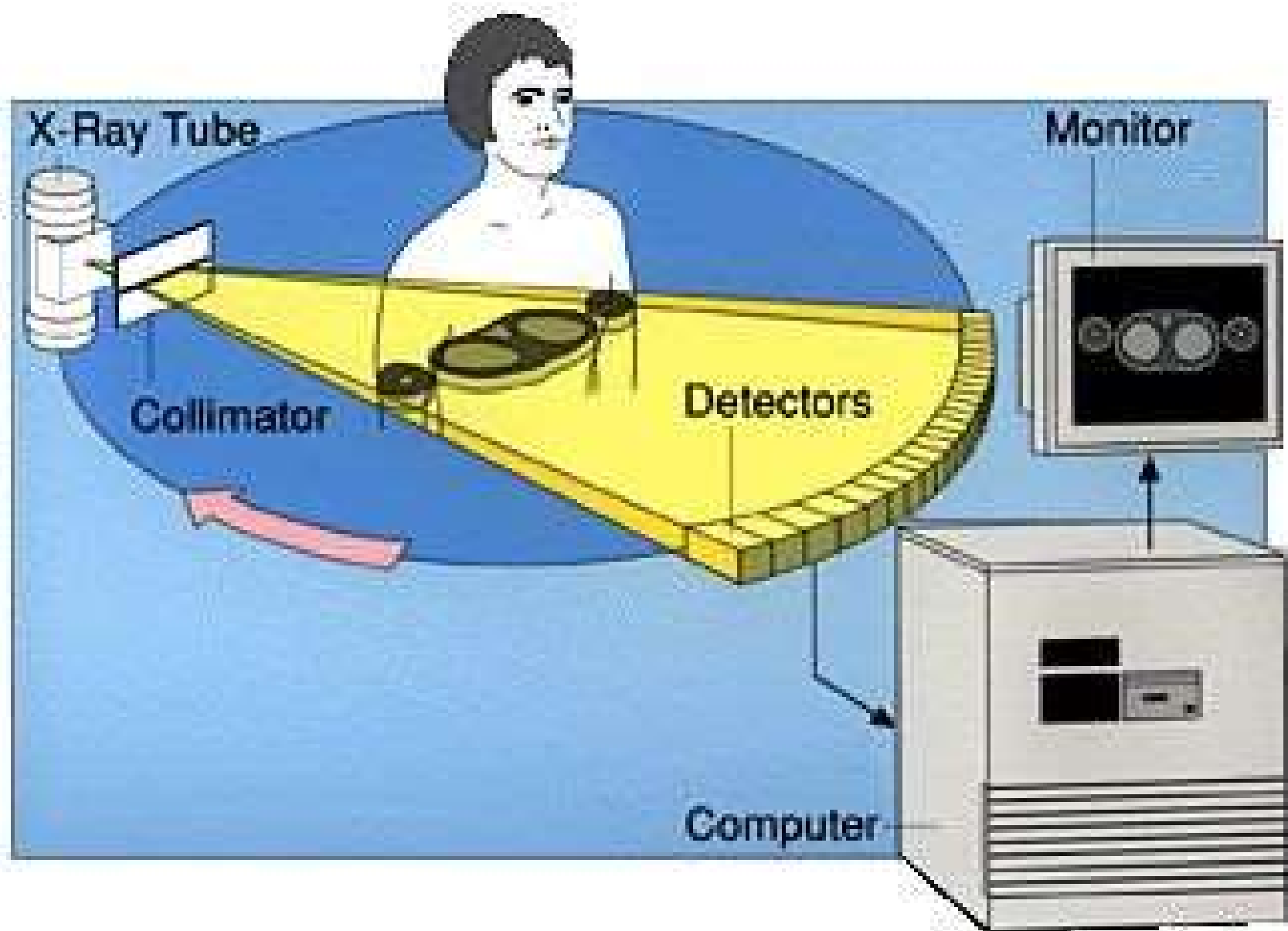
■ Počítačová tomografia (CT)

- j -riadkov
- i -stĺpcov



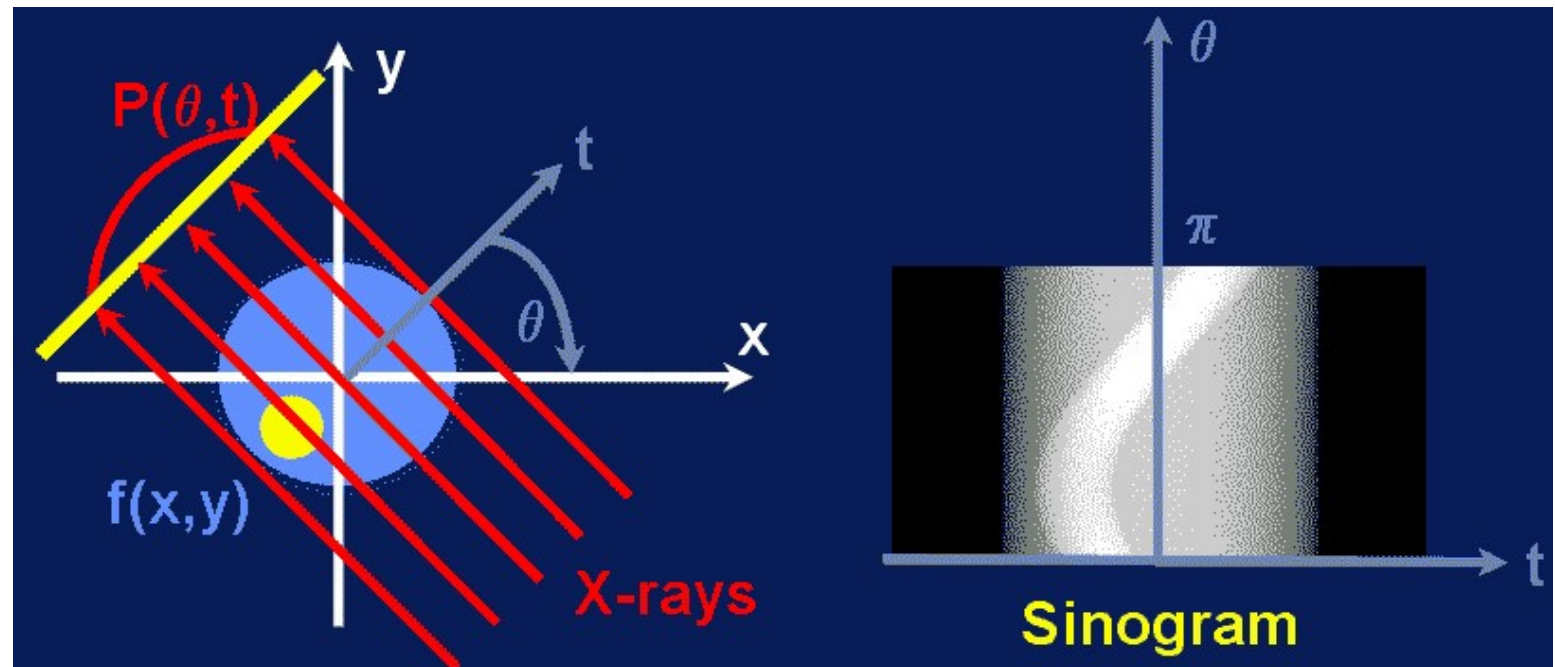
$$I_j = I_{j0} \cdot \exp\{-(\mu_{j1} + \mu_{j2} + \mu_{j3} + \dots) \cdot \Delta t\} = I_{j0} \cdot \exp\{-\sum \mu_{ji} \cdot \Delta t\}$$

CT



Tvorba obrazu

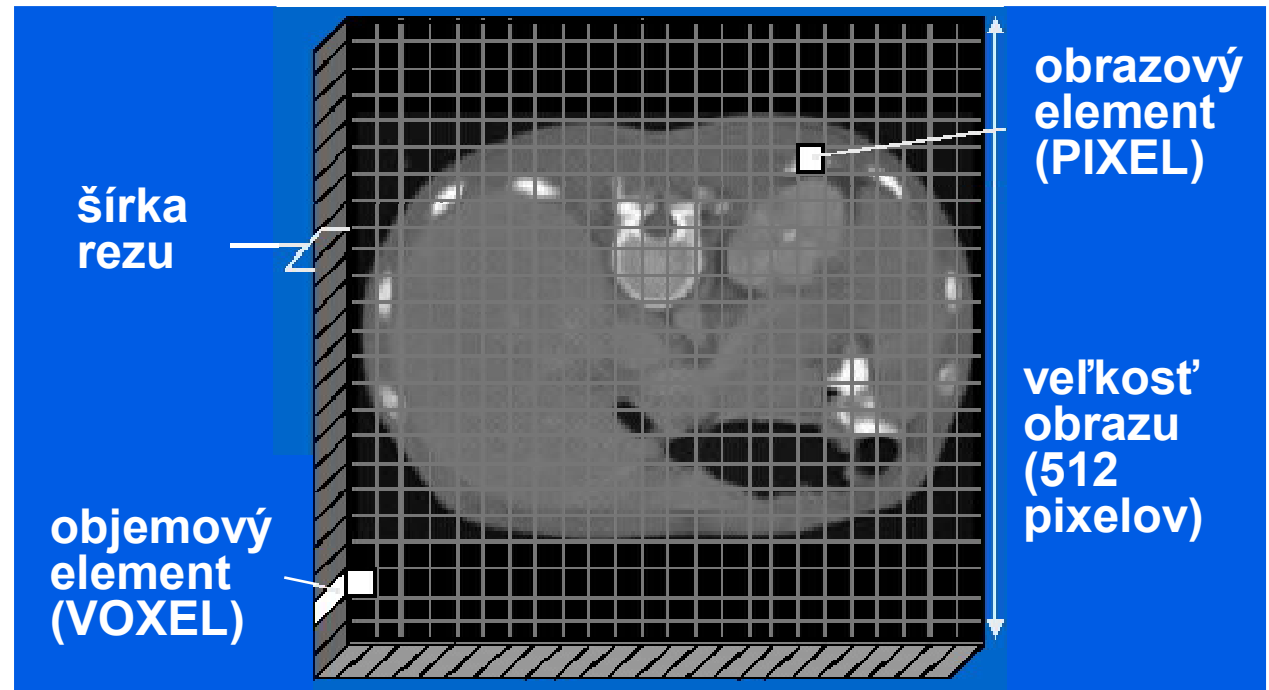
- rekonštrukcia obrazu z projekcií
- sinogram = kompletný súbor projekcií
 - grafická závislosť polohy objektu od uhla projekcie Θ



CT obraz

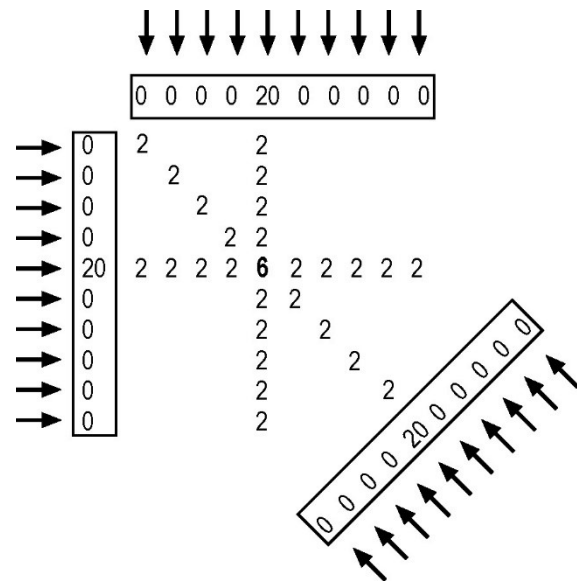
■ kvalita obrazu

- počet projekcií
- počet zoslabení v jednej projekcii
- veľkosť mriežky
- energia fotónov
- kvalita detektora

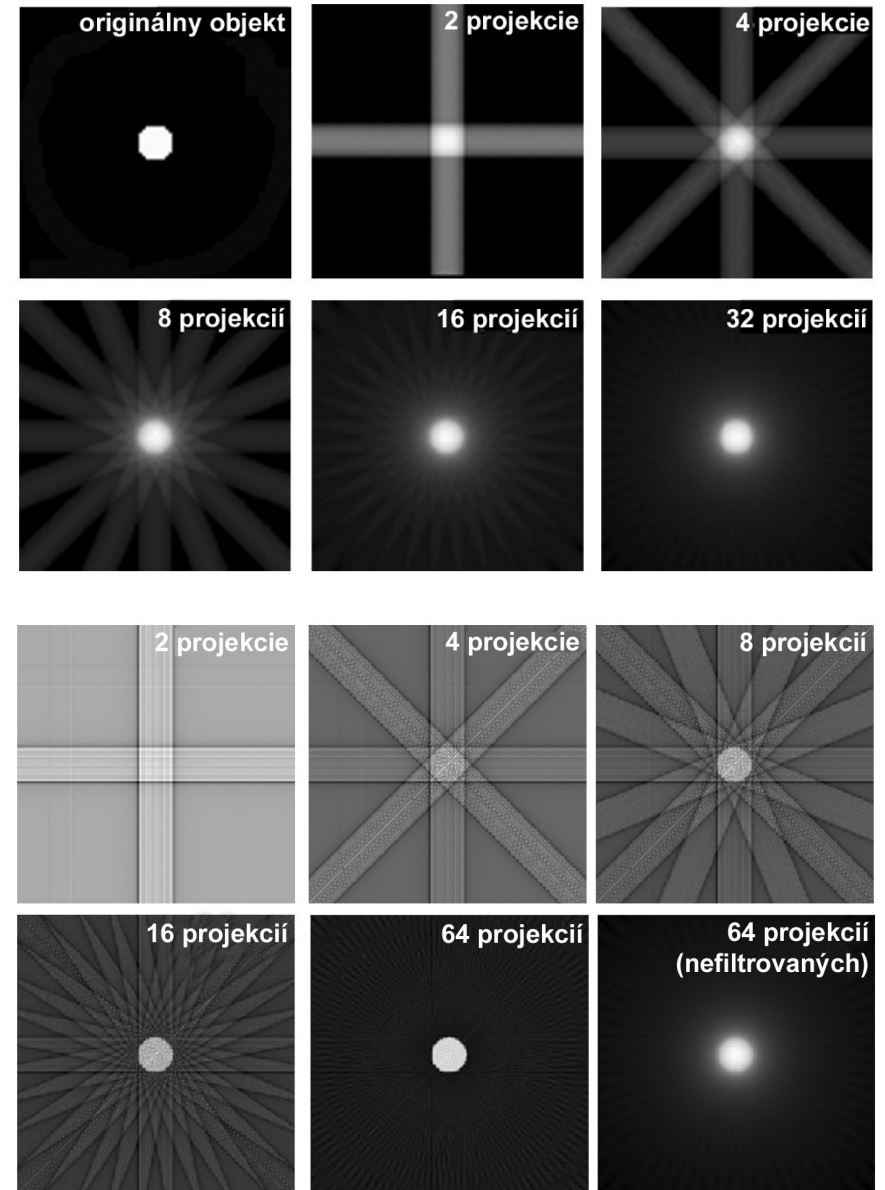


Spätná projekcia

- počet projekcií
 - zahmlenie (artefakty)



- filtrovaná spätná projekcia



Kontrast v CT

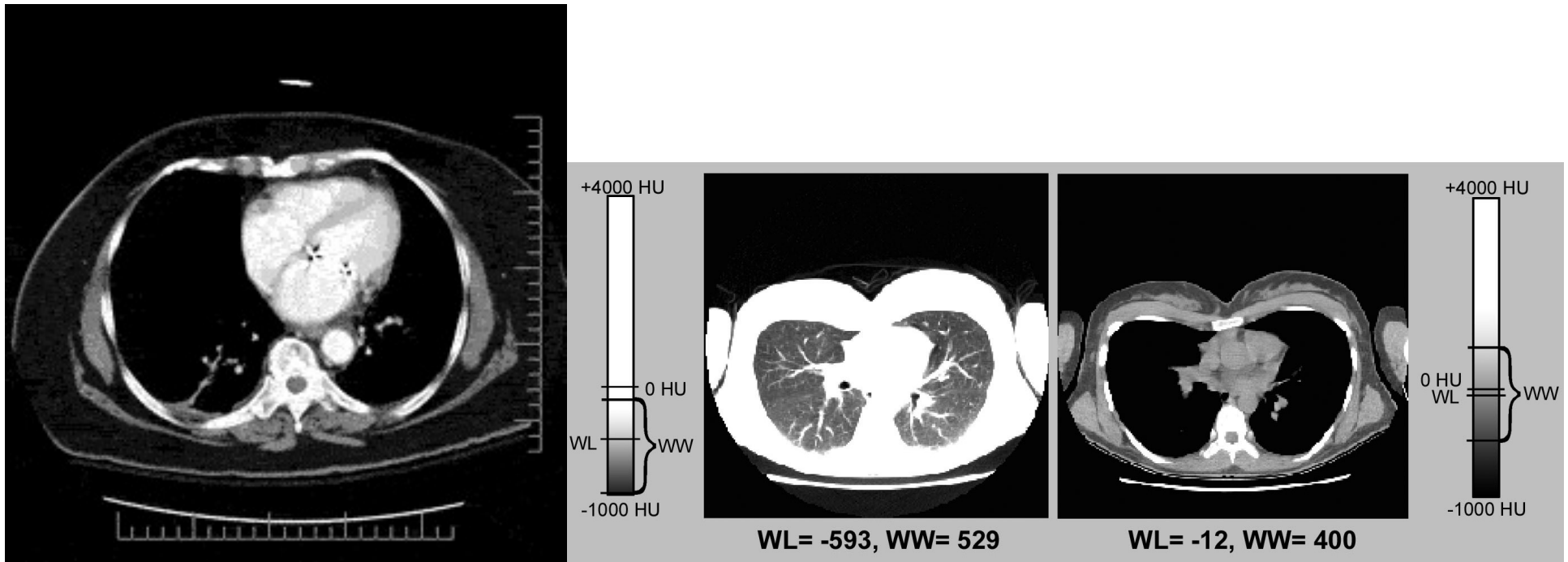
■ obraz – odtiene šedej – CT číslo:

- $N_{CT} = -1000$ vzduch
- $N_{CT} = 0$ voda
- $[N_{CT}] = \text{Hounsfield (HU)}$

$$N_{CT} = 1000 \cdot \frac{\mu - \mu_w}{\mu_w}$$

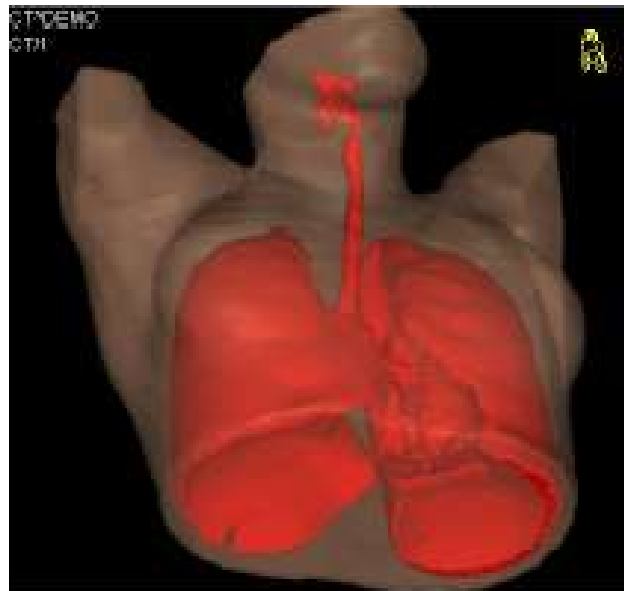
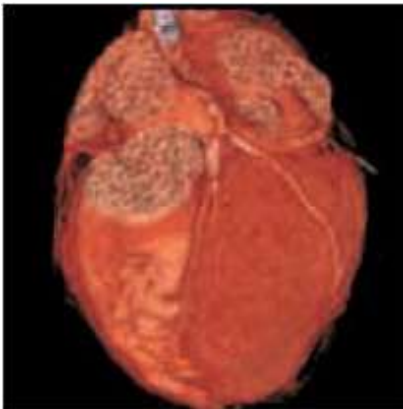
μ – lineárny koeficient zoslabenia

μ_w – lineárny koeficient zoslabenia pre vodu

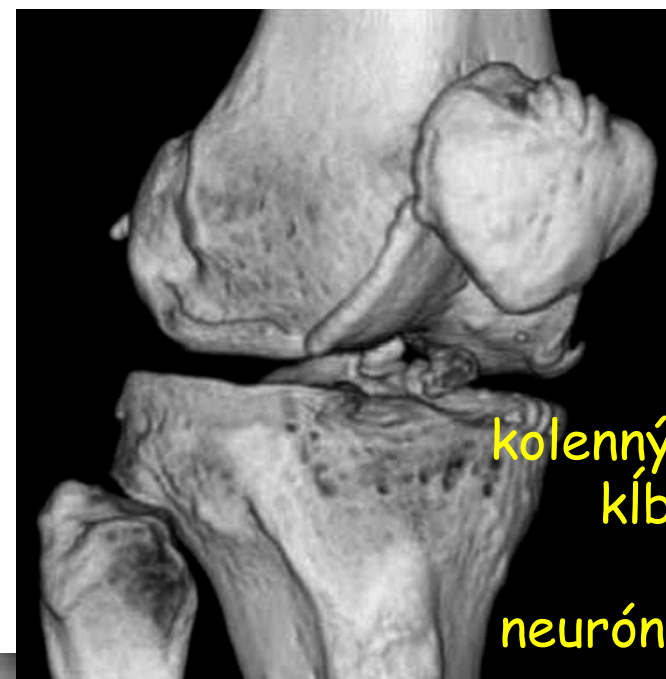
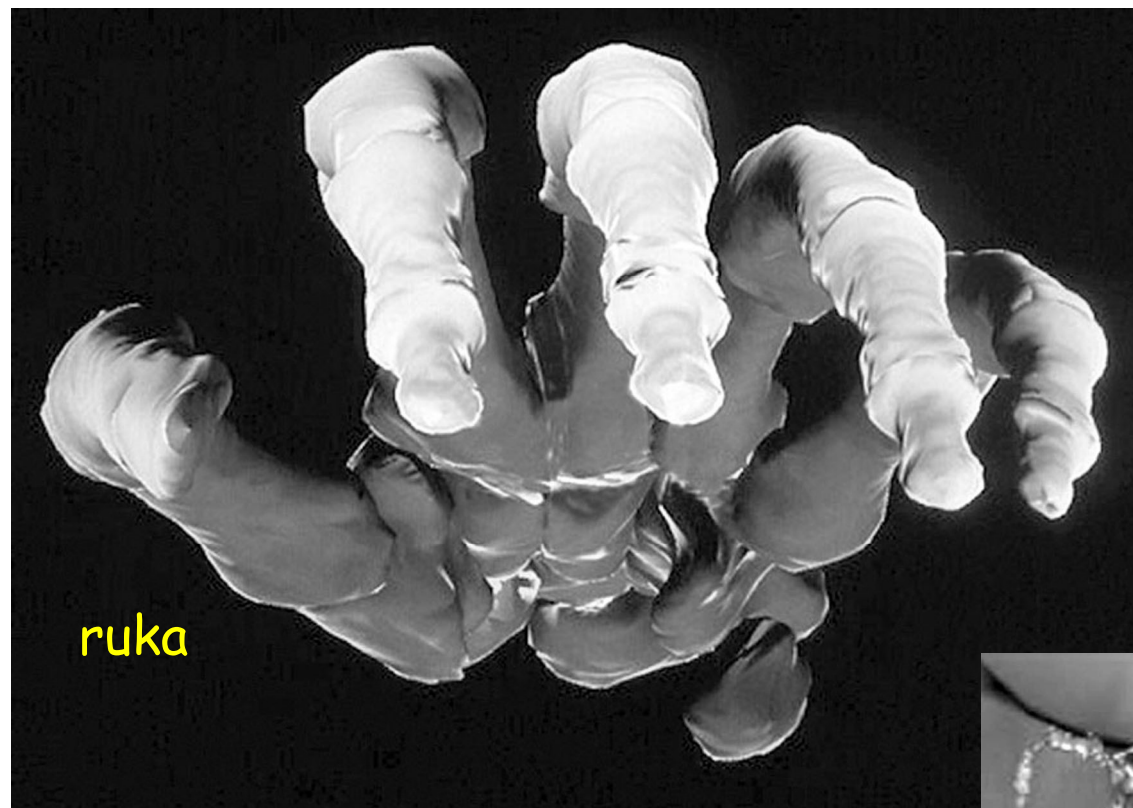


3D CT

- veľké množstvo rezov spätne poskladané do 3D objektu
- zobrazovanie celých orgánov
- virtuálna endoskopia



Príklady 3D zobrazení



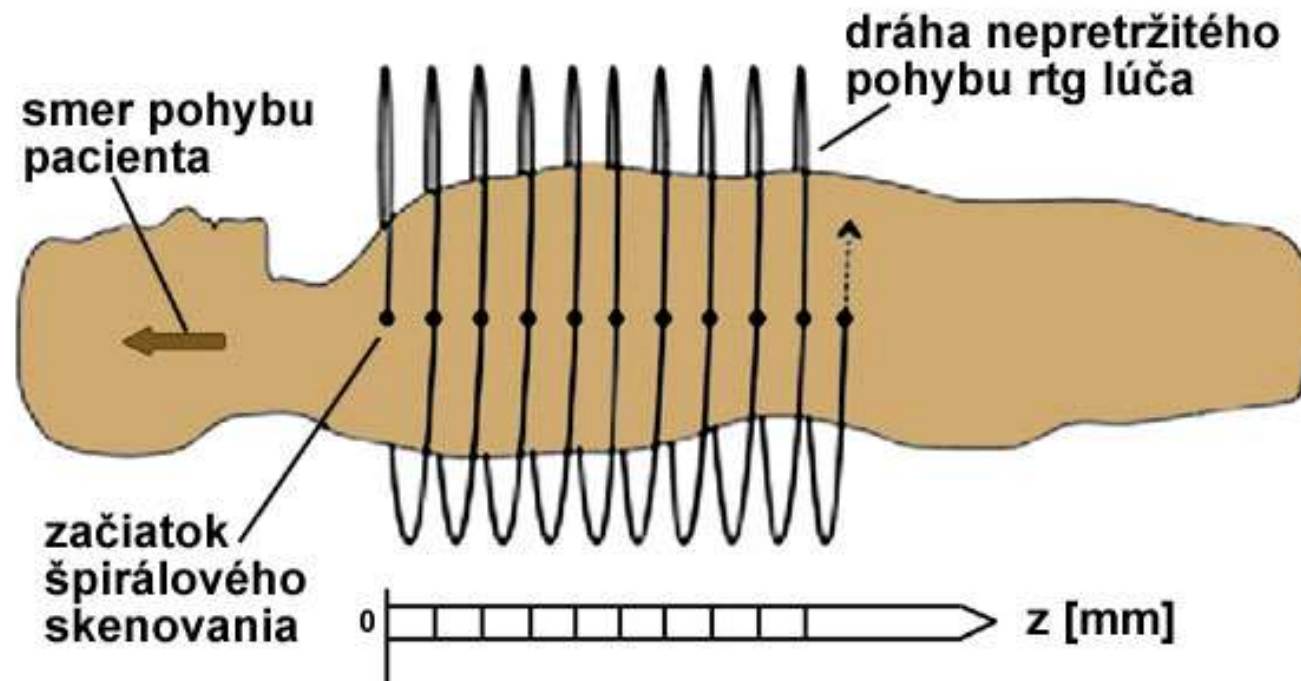
Základné časti CT tomografu

- gantry
- RTG trubica
- kolimácia a filtrácia
- detektory
- systém získavania údajov
- vyšetrovacie lôžko



Špirálové CT

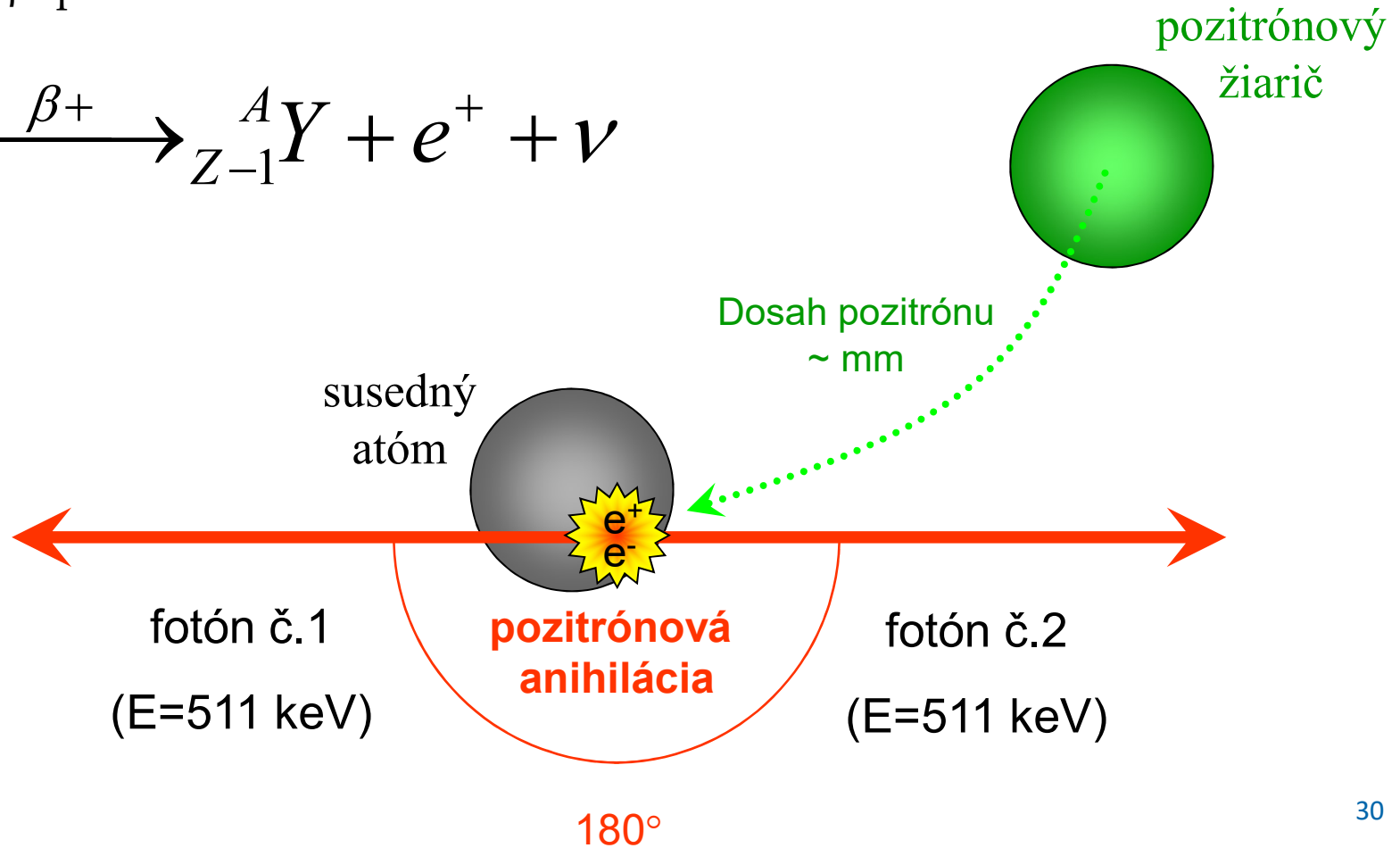
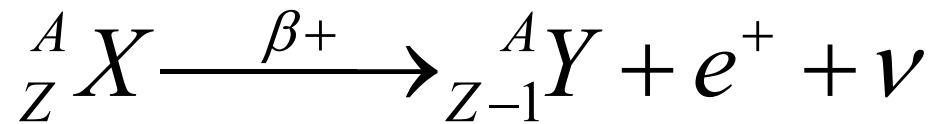
- súčasné skenovanie + pohyb stola s pacientom
- multirezové snímanie



Princíp PET

■ fyzikálna podstata

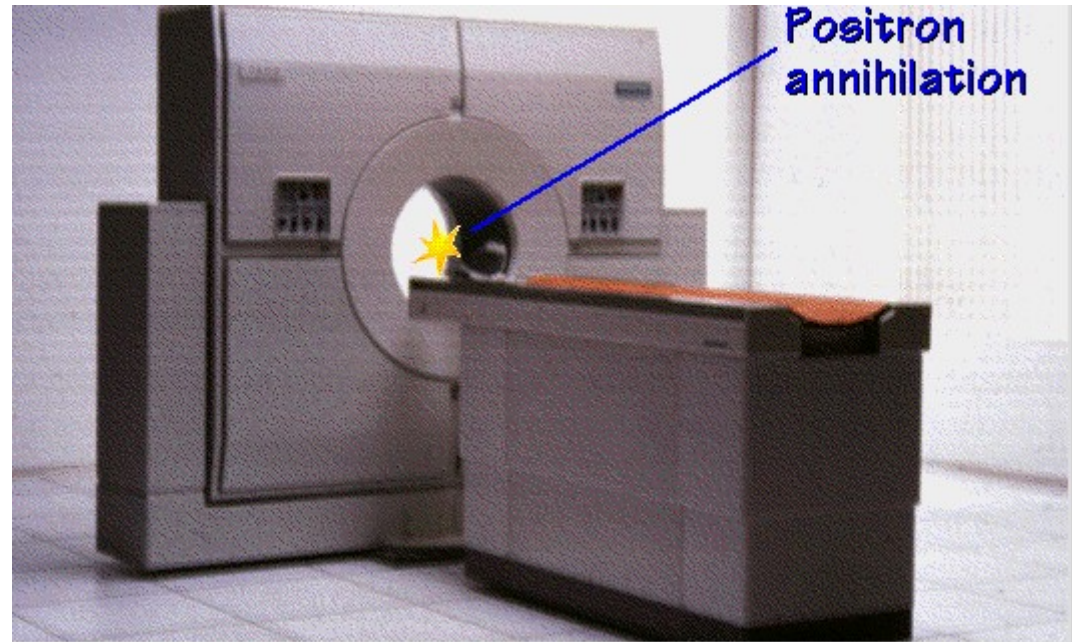
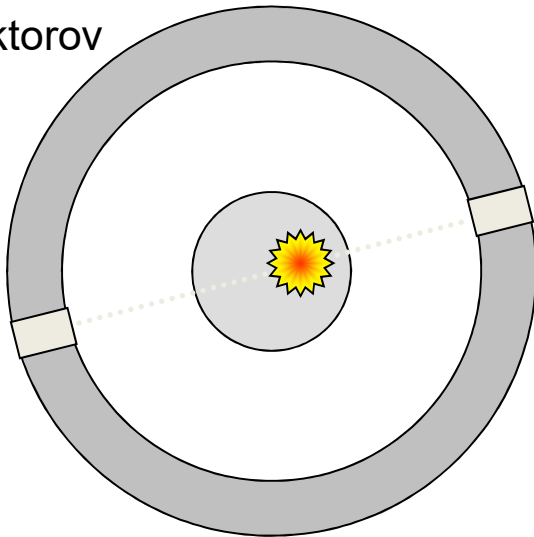
- elektrón-pozitrónová anihilácia
- β^+ premena



PET

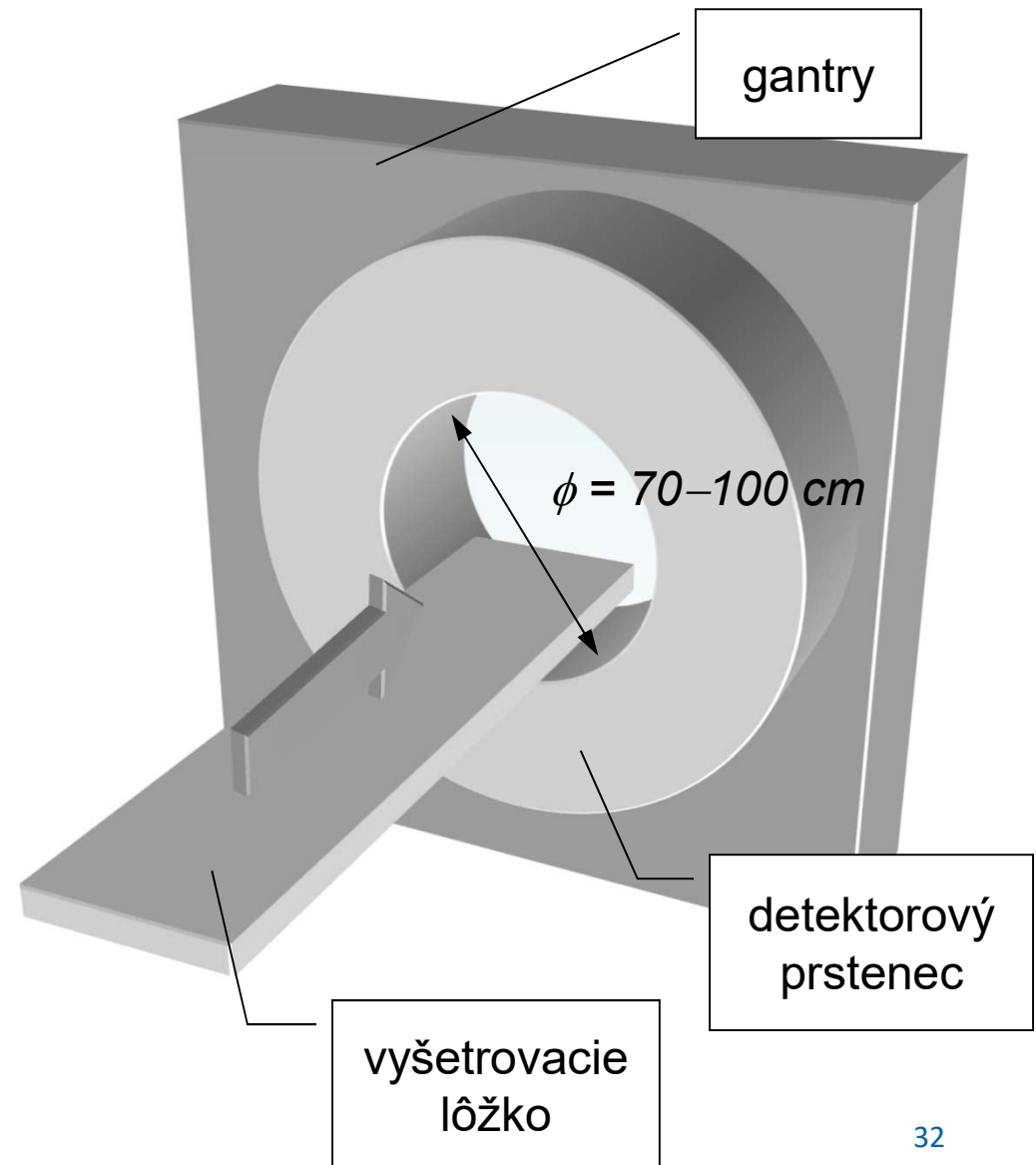
- Pozitrónová emisná tomografia (PET)
 - aplikácia zdroja **pozitrónov** (e^+)
 - anihilácia: $e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$ (0.511 MeV)

Prstenec
detektorov



Základné časti PET tomografu

- gantry
- vyšetrovacie lôžko
 - nízky útlm
 - pohodlnosť
- systém detektorov
 - súvislý kruh (šírka 10-20 cm)
 - multiprstencový tomograf
- počítač
- laserové zameriavače



Detektory PET

■ scintilačné detektory

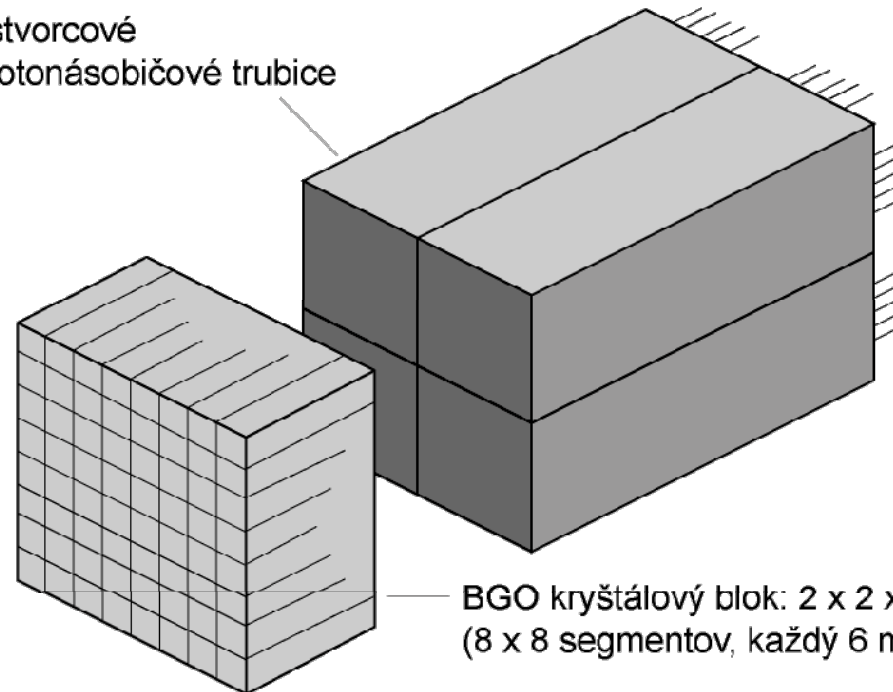
- rozlíšenie ~ počet detektorov (tisícky ks)

- prehľad:

Scintilátor	ρ (g/cm ³)	Z_{ef}	κ (%)	τ (ns)	λ_{max} (nm)
NaI(Tl)	3.67	51	100	230	410
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ (BGO)	7.13	75	15	300	480
Gd ₂ SiO ₅ :Ce (GSO)	6.71	59	30	60	430
Lu ₂ SiO ₅ :Ce (LSO)	7.40	65	75	40	420

■ blokový detektor

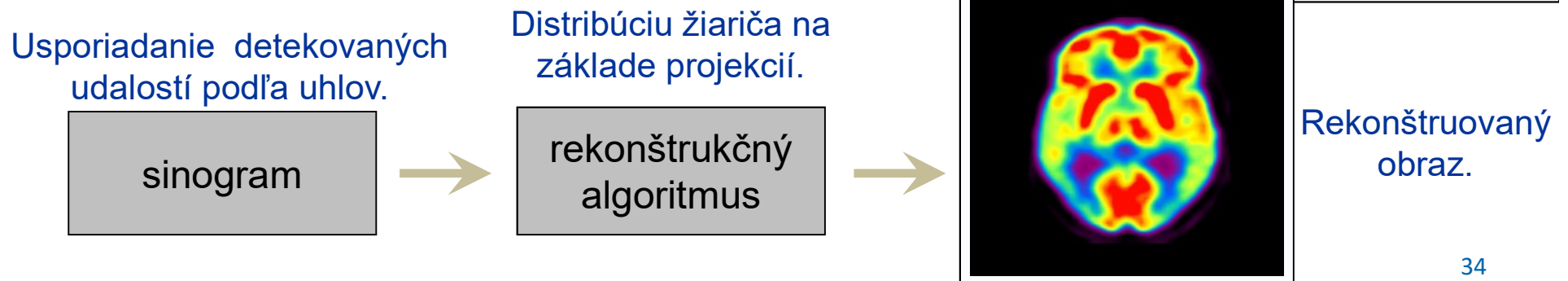
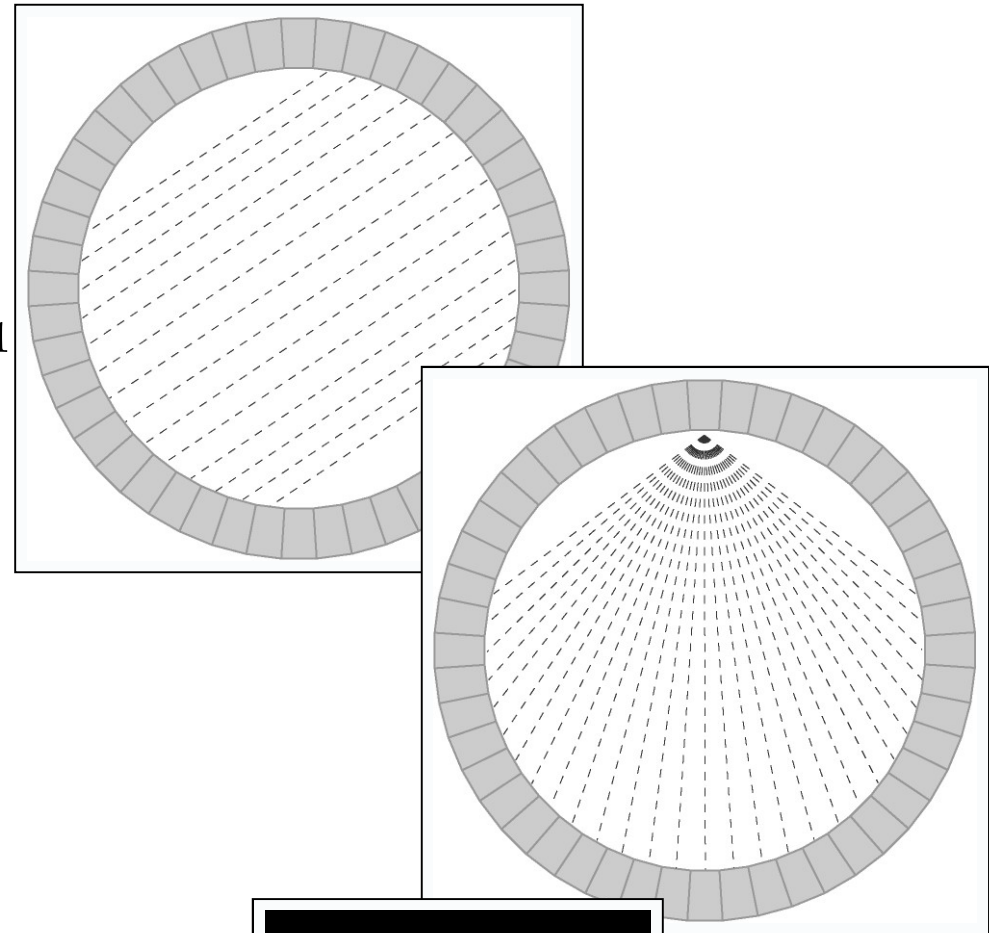
štvorcové
fotonásobičové trubice



BGO kryštálový blok: 2 x 2 x 3 cm
(8 x 8 segmentov, každý 6 mm²)

Tvorba obrazu

- projekcia
- sinogram
- vzorkovanie – kvalita obrazu
 - lineárne
 - radiálne
- filtrovaná spätná projekcia



Rozlíšenie obrazu

■ faktory rozlíšenia (narušenie koincidencie)

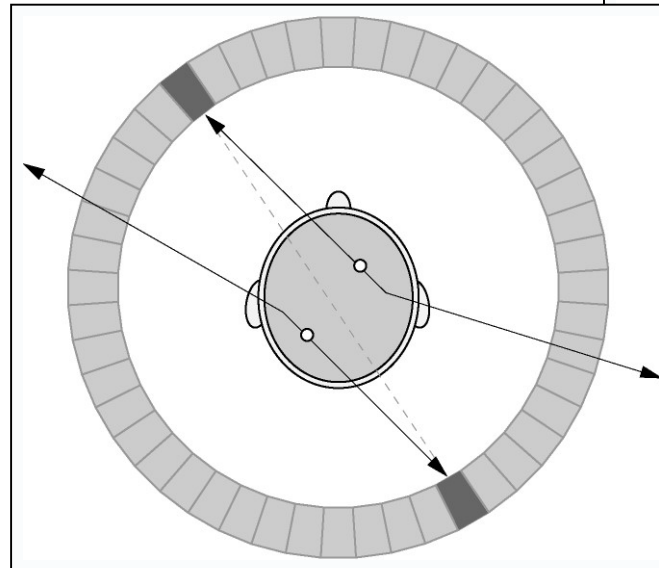
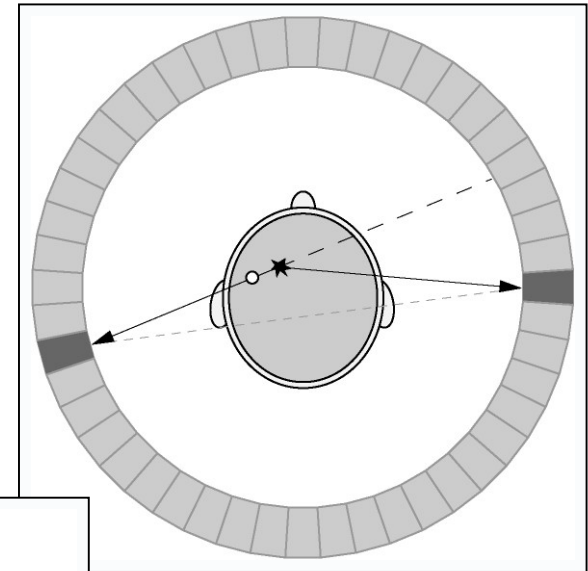
○ útlm

- hrúbka tkaniva
- fotoefekt
- Comptonov efekt

$$I(x) = I(0) e^{-\mu x}$$

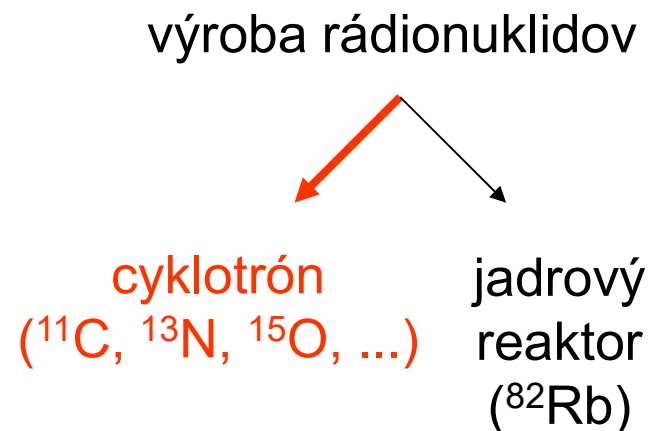
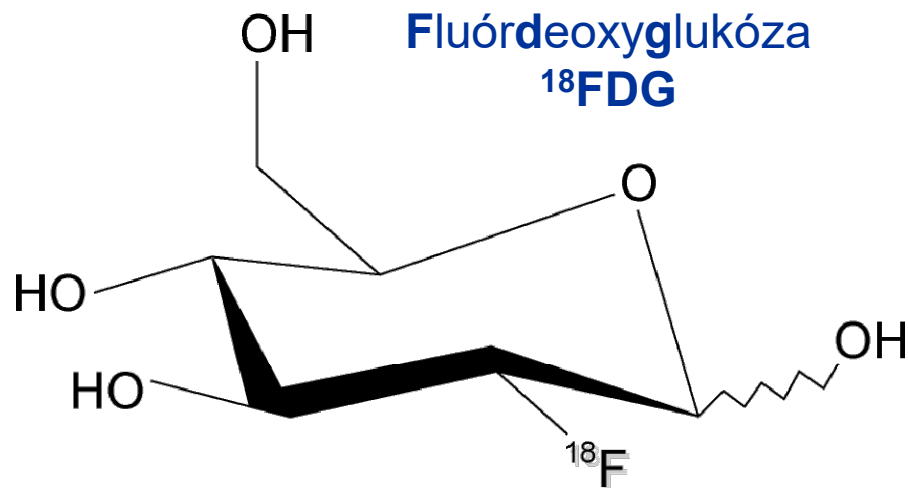
○ Comptonov rozptyl (efekt)

○ náhodná koincidencia

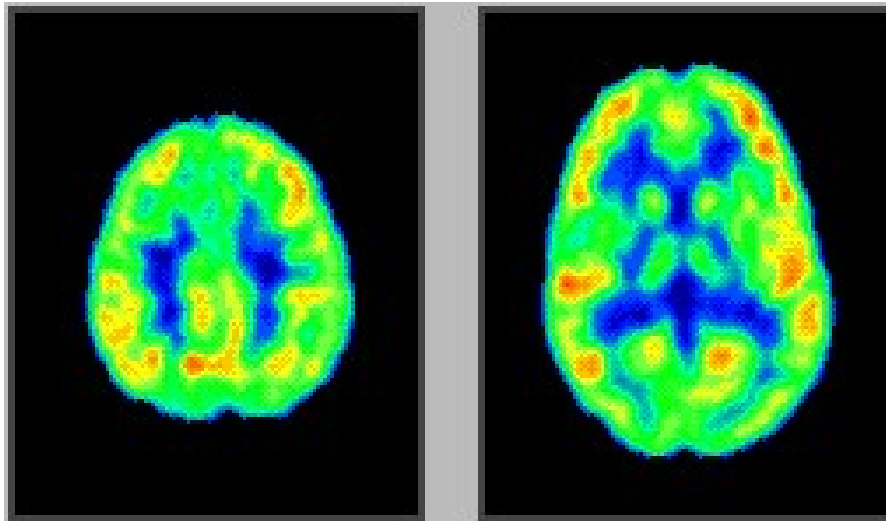


Rádionuklidy pre PET

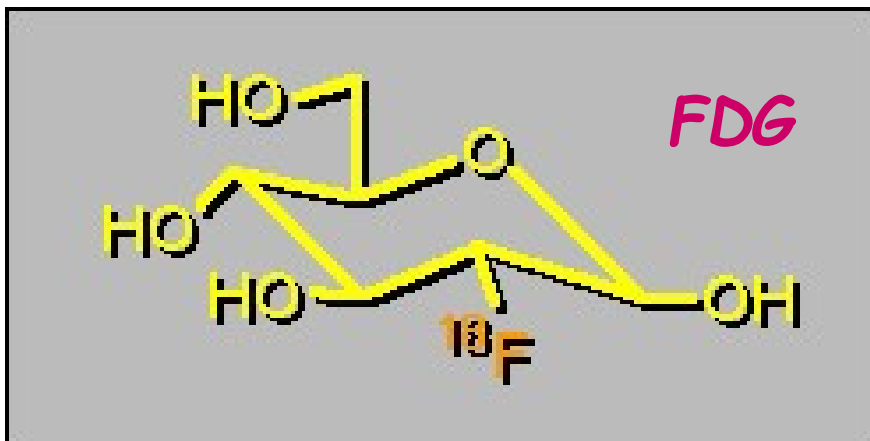
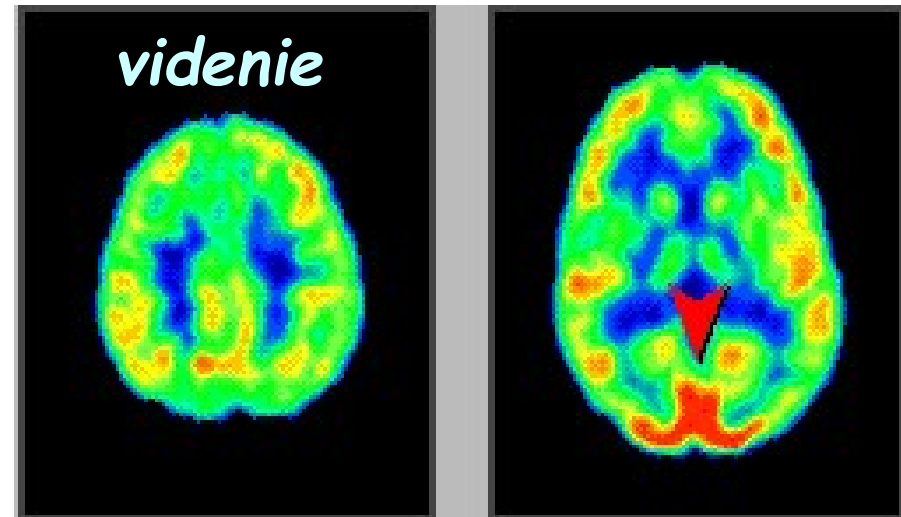
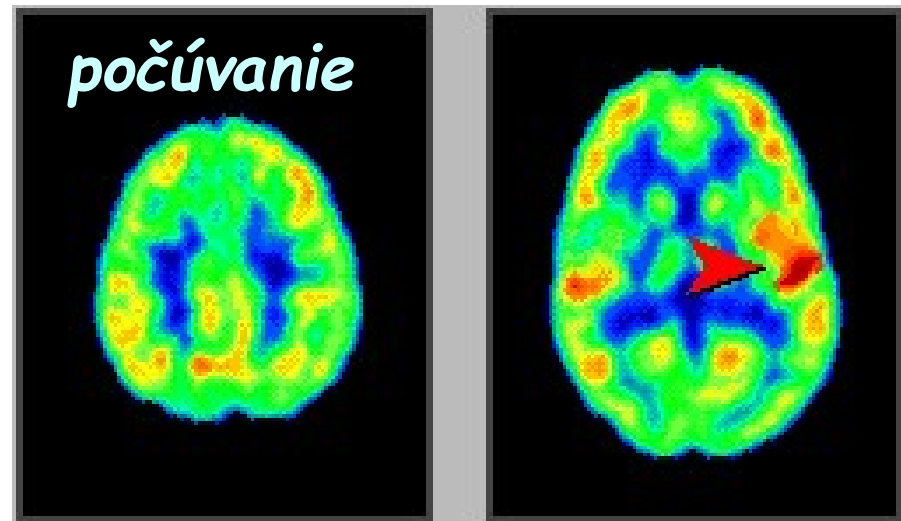
rádionuklid	$\tau_{1/2}$ (min)	E_{\max} (MeV)	a_{\max} (mm)	$\langle a \rangle$ (mm)	reakcia
^{11}C	20.38	0.96	5.0	0.3	$^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$
^{13}N	9.96	1.19	5.4	1.4	$^{16}\text{O}(p,\alpha)^{13}\text{N}$
^{15}O	2.03	1.72	8.2	1.5	$^{15}\text{N}(p,n)^{15}\text{O}$
^{18}F	109.8	0.64	2.4	0.2	$^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$
^{68}Ga	68.1	1.89	9.1	1.9	$^{68}\text{Zn}(p,n)^{68}\text{Ga}$
^{82}Rb	1.25	3.35	15.6	2.6	^{82}Sr generátor



PET – Funkčná diagnostika

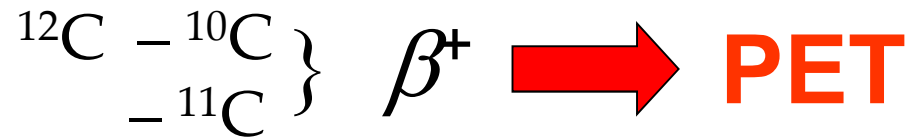


mozog v kl'ude

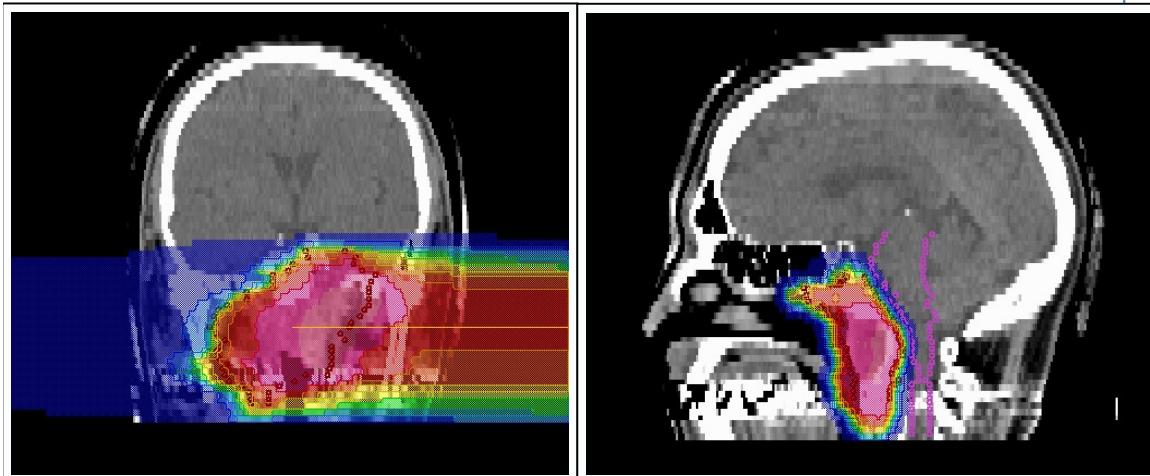
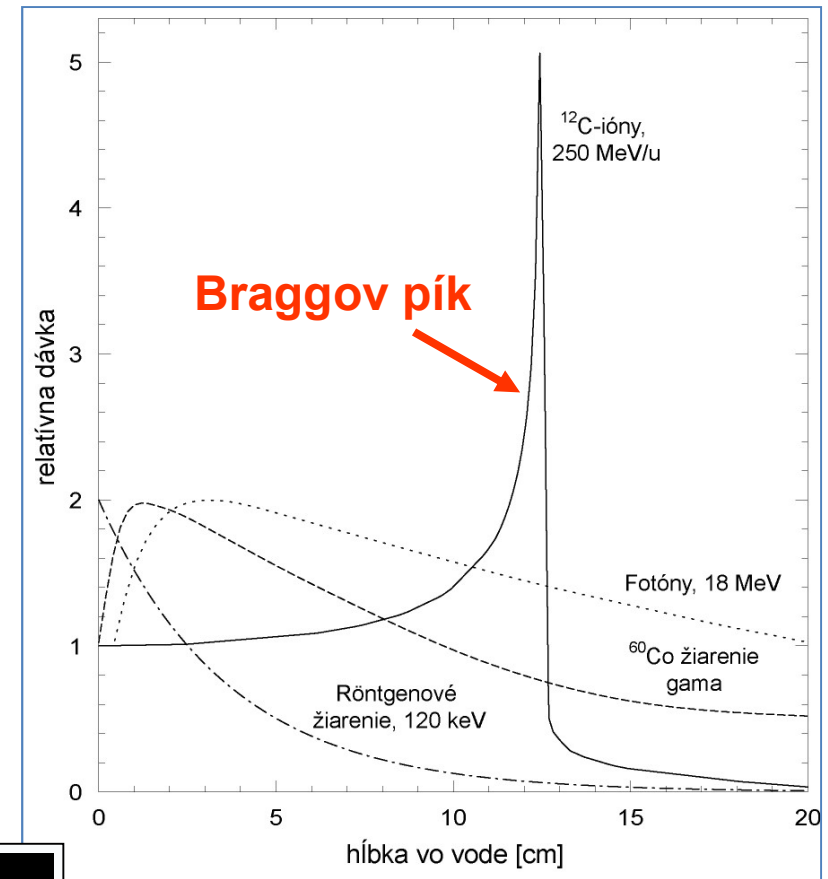


Overovanie ^{12}C terapie

- projektilová fragmentácia



- výpočet distribúcie dávky (CT sken)



Porovnanie rtg. a SR

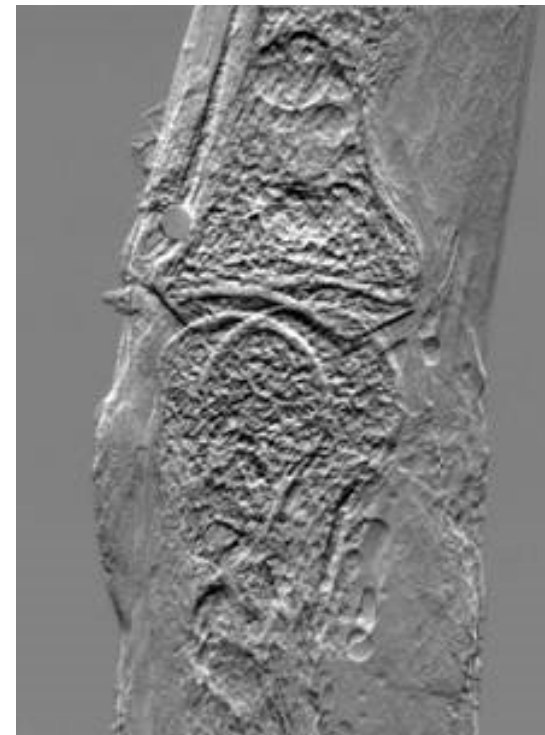
- zobrazenie pomocou röntgenových lúčov
 - prst ruky



klasický rtg. záznam

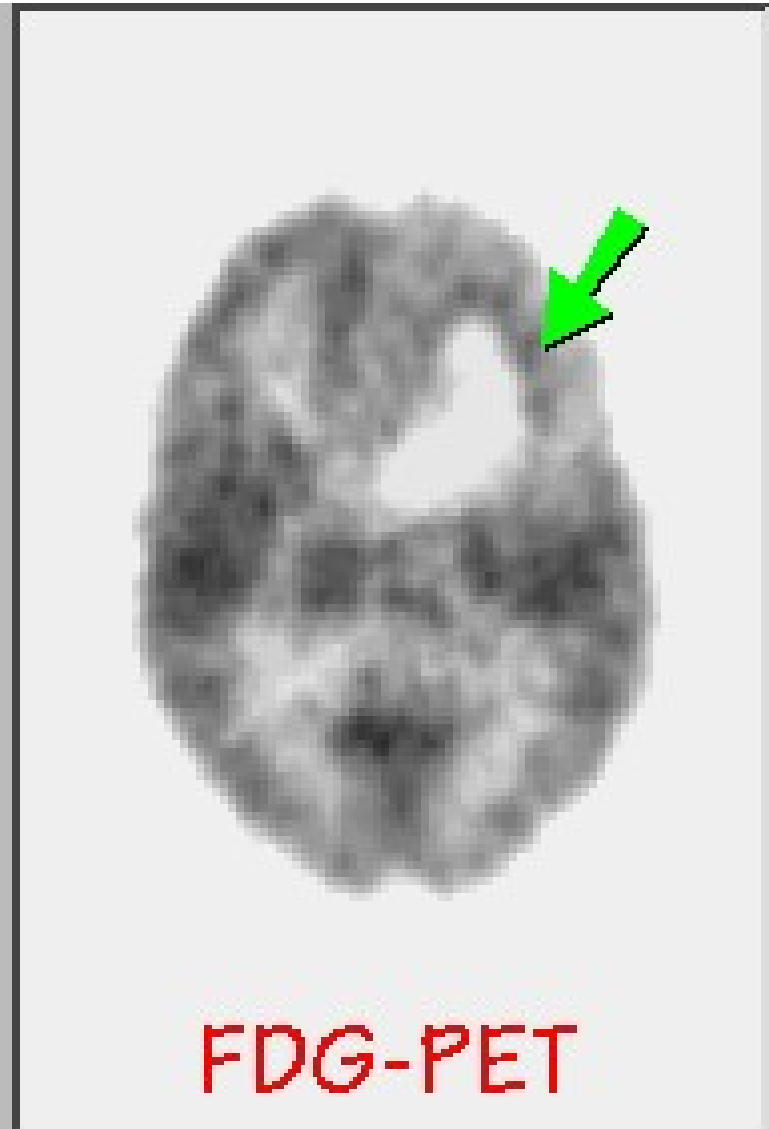


synchrotrónové
žiarenie (20 keV)



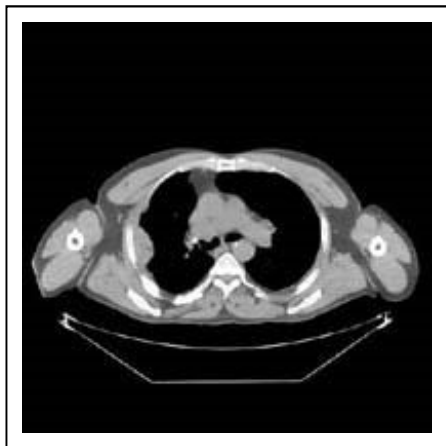
fázový kontrast

Porovnanie CT a PET



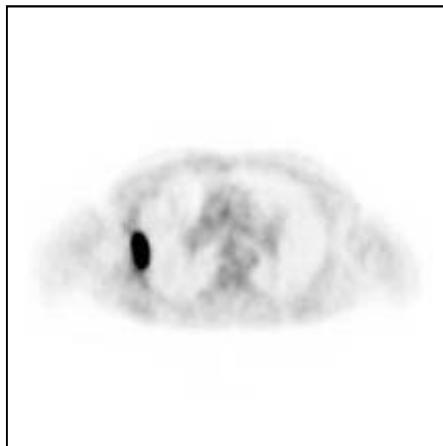
Kombinované CT + PET

CT snímka



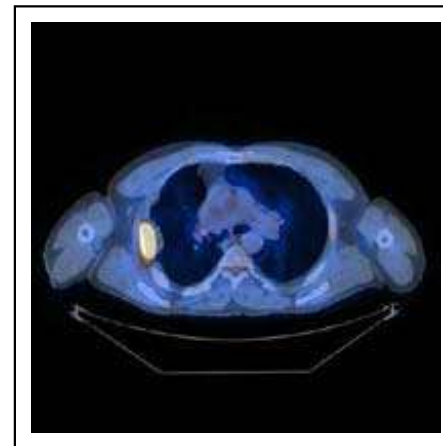
anatomická štruktúra

PET snímka



biologické procesy

PET/CT snímka



anatomická štruktúra
a
biologické procesy

