

# **KLINICKÉ VYUŽITÍ zobrazovacích metod SPECT, SPECT/CT a PET/CT v medicíně**

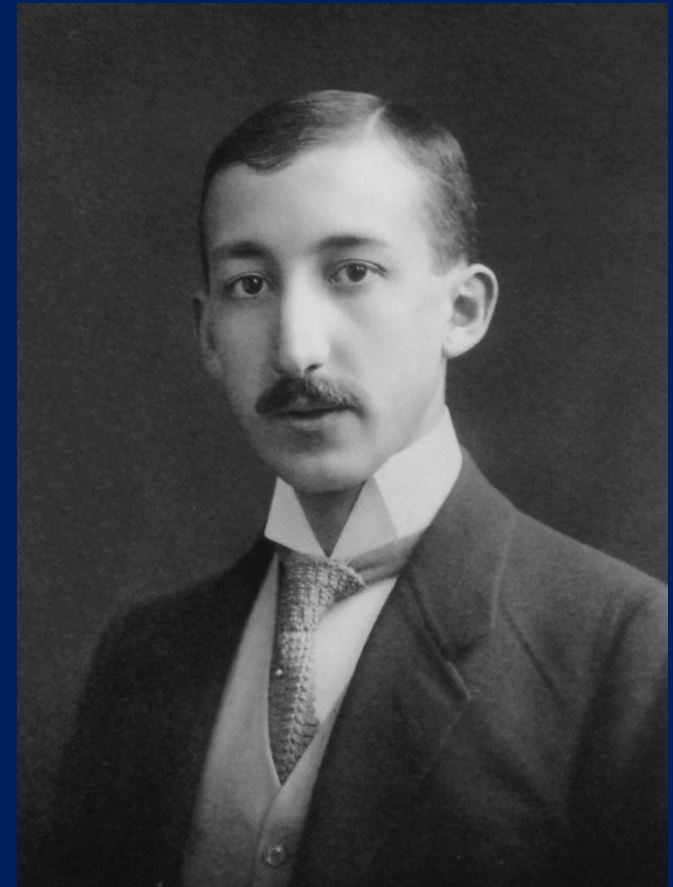
**PETR VLČEK**

**Klinika nukleární medicíny a endokrinologie  
2. LF UK a FN Motol**

# Nukleární medicína

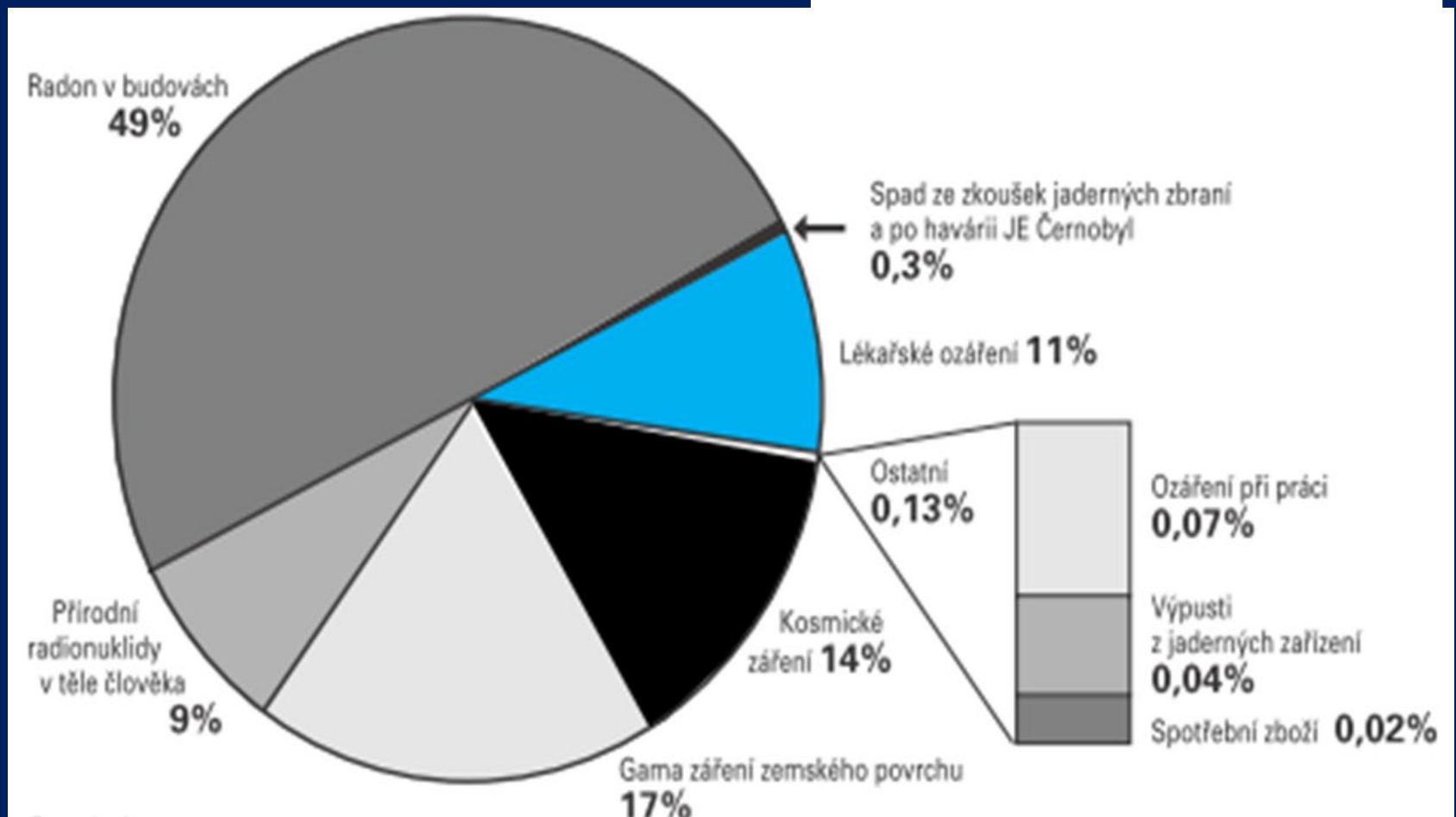
je obor zabývající se **diagnostikou** a **terapií** pomocí **otevřených radioaktivních zářičů** aplikovaných do vnitřního prostředí organismu.

Metoda jsou založena na tzv. **indikátorovém** nebo **stopovacím principu**, který objevil maďarský chemik Gyorgy Hevesy v r. 1913 – radioaktivní izotopy reagují stejně jako stabilní izotopy téhož prvku, r.1943 Nobelova cena za chemii.



# Rozdělení zdrojů ozáření pro průměrného obyvatele světa

(Zdroj: UNSCEAR, IAEA)



# Nukleární medicína

## $^{131}\text{I}$ radiojód

30.-40. léta 20. století využití ve studiu fyziologie š.ž., později v diagnostice a terapii



1946 – Samuel Seidlin, Journal of the American Medical Association  
úspěšná léčba pacientů s metastázami karcinomu štítné žlázy radiojódem  $^{131}\text{I}$

# Radionuklidy pro diagnostiku

- $\gamma$  zářiče

| radionuklid                         | Enregie (keV) | Poločas rozpadu $T_{1/2}$ |
|-------------------------------------|---------------|---------------------------|
| <b><math>^{99m}\text{Tc}</math></b> | <b>140</b>    | <b>6,03h</b>              |
| $^{111}\text{In}$                   | 172,247       | 2,83d                     |
| $^{123}\text{I}$                    | 159           | 13,2h                     |
| $^{81m}\text{Kr}$                   | 190           | 13s                       |
| $^{201}\text{Tl}$                   | 75,167        | 73h                       |

- Pozitronové zářiče

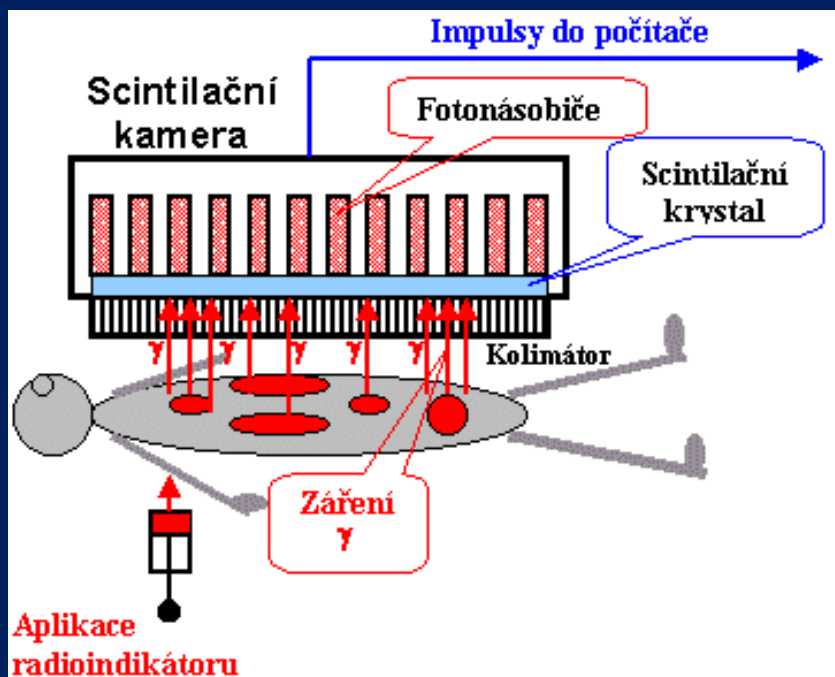
| radionuklid                       | $E_{\gamma}$ (keV) | $T_{1/2}$      |
|-----------------------------------|--------------------|----------------|
| <b><math>^{18}\text{F}</math></b> | <b>511</b>         | <b>110min.</b> |
| $^{11}\text{C}$                   | 511                | 20,4min.       |
| $^{15}\text{O}$                   | 511                | 2,07min.       |
| $^{13}\text{N}$                   | 511                | 10min.         |

# Gamakamery (scintilační kamery)

- umožňují zobrazení distribuce radiofarmaka v organismu
- na základě zevní detekce vycházejícího záření gama.

## scintigrafie (gamagrafie)

umožňuje získávat informace nejen anatomické, ale o orgánových funkcích a metabolismu.

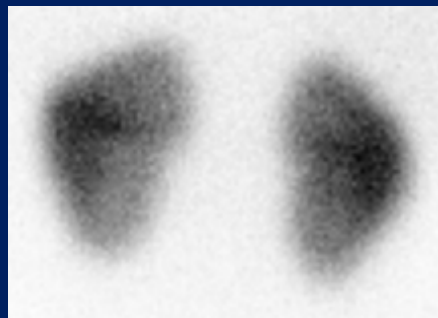


emitované záření gama –  
scintilační záblesk ve scintil. krystalu  
tyto jsou snímány fotonásobiči  
převáděny na elektrické impulzy  
jsou vedeny na elektrický obvod  
digitalizovány  
obsazují buňky v obrazové matici paměti  
počítače podle místa vyzáření

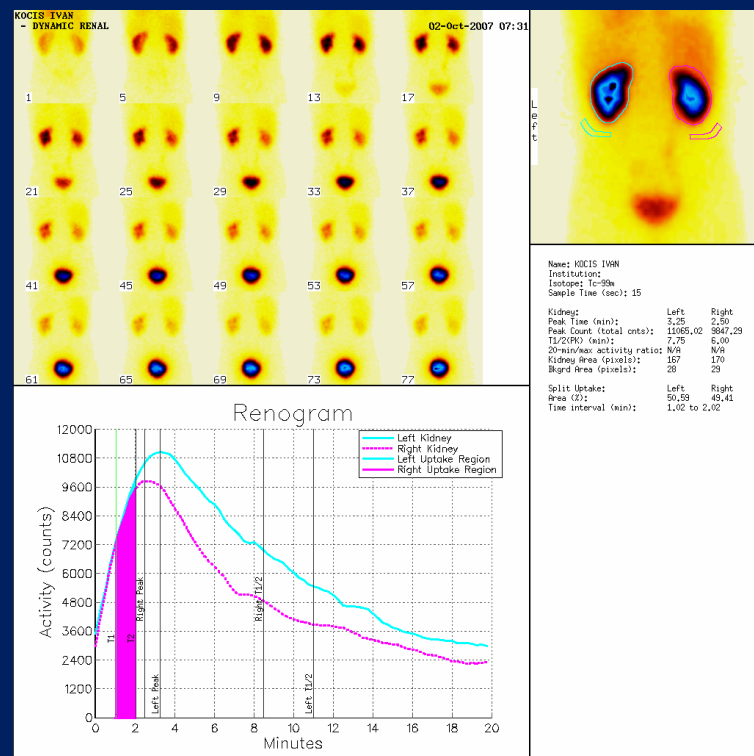
# Druhy scintigrafie

## rozdělení z hlediska časového

**-statická** – jeden či více scintigrafických obrazů vyšetřované oblasti bez ohledu na čas



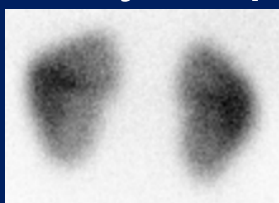
**-dynamická** série (statických) snímků snímaných v různých časech



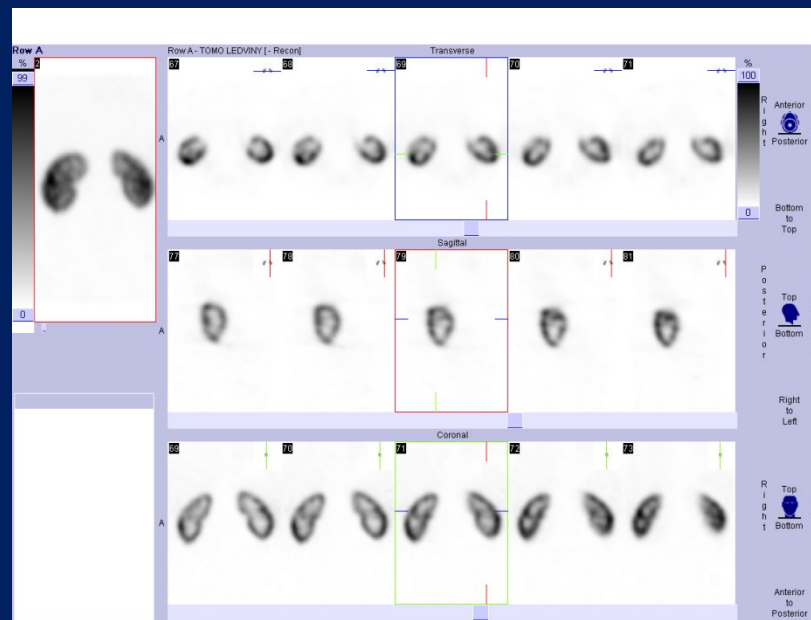
# Druhy scintigrafie

rozdělení z hlediska prostorového

- planární** – obraz distribuce radioindikátoru v záření gama do dvojrozměrné zobrazované roviny, speciálním druhem = **celotělová scintigrafie**



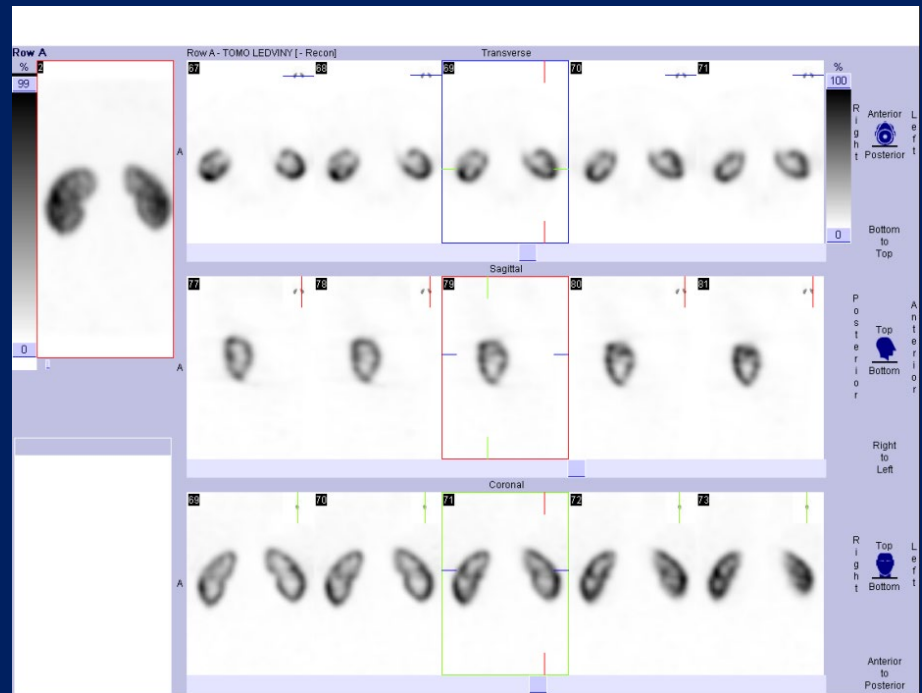
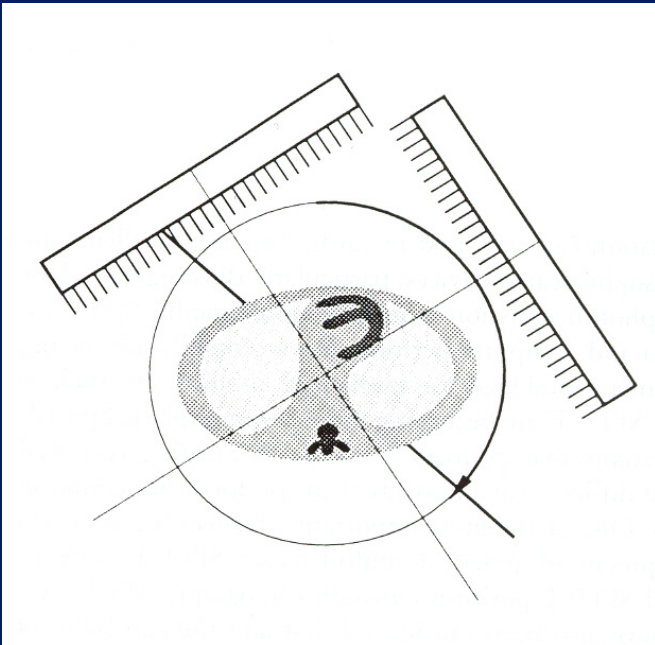
- tomografická** – poskytuje prostorové trojrozměrné zobrazení  
**SPECT**





# SPECT Single Photon Emission Computerized Tomography

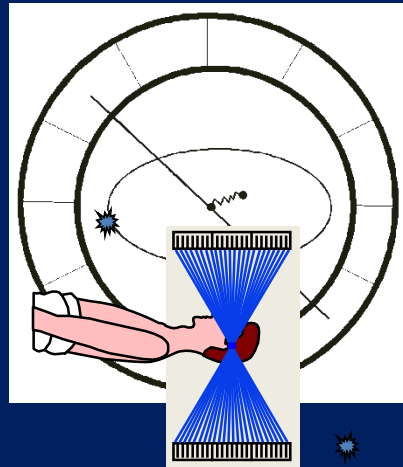
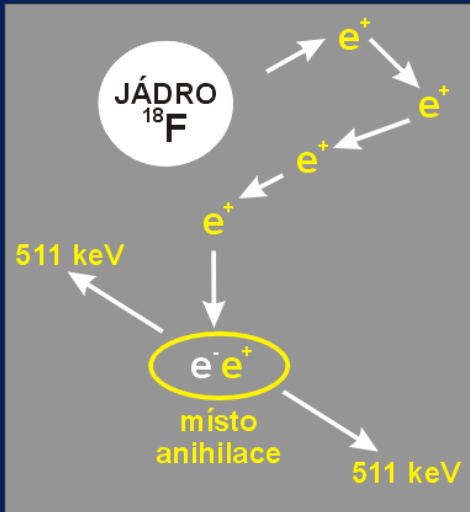
tomografická gamakamera pomalu rotuje kolem těla pacienta, snímá scintigrafické obrazy z různých úhlů a pak pomocí počítačové rekonstrukce vytváří obrazy příčných řezů (jsou kolmé na osu rotace kamery) z nichž pomocí počítačové grafiky lze zkonstruovat prostorové (3-rozměrné) obrazy uložení radioindikátoru uvnitř těla. **Prostorové rozlišení 5-20 mm, průměrně 10 mm.**



# PET pozitronová emisní tomografie

**$^{18}\text{F}$  Fluór** užití v onkologii (90%)

T1/2 110min,  $\beta^+$ , cyklotron



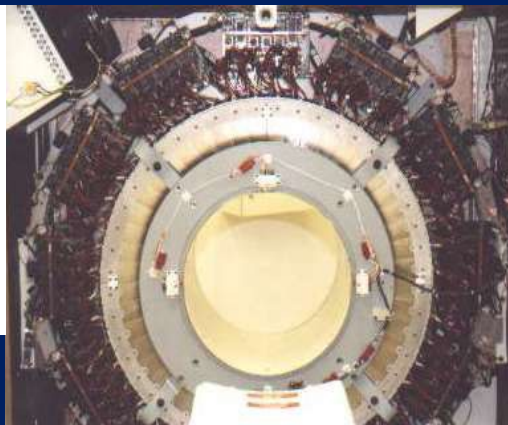
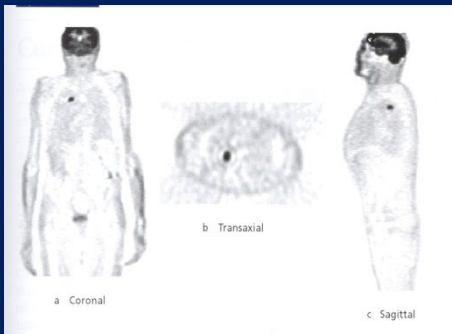
metoda scintigrafického zobrazení distribuce pozitronových (beta+) radionuklidů, při níž se detekují fotony anihlačního záření gama (o energii 511 keV)

vylétajících v protilehlých směrech při anihilaci pozitronů vyzařovaných beta plus radioindikátorem aplikovaným pacientovi

Tyto fotony anihlačního záření se koincidenčně detekují prstencovým anihlačním detektorem a

počítačovou rekonstrukcí přímkových průmětů koincidenčních míst se vytvářejí obrazy příčných řezů a

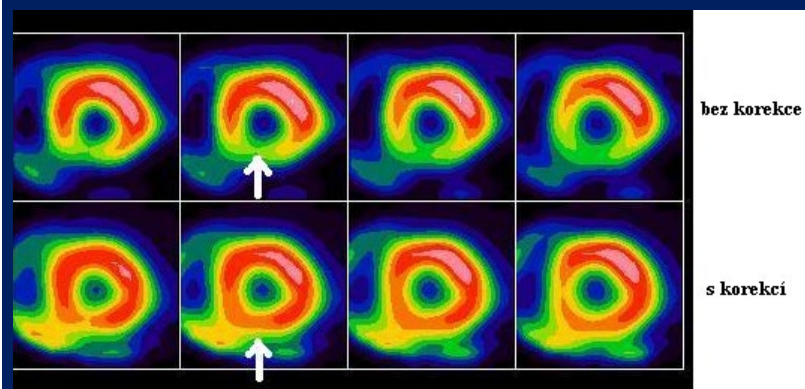
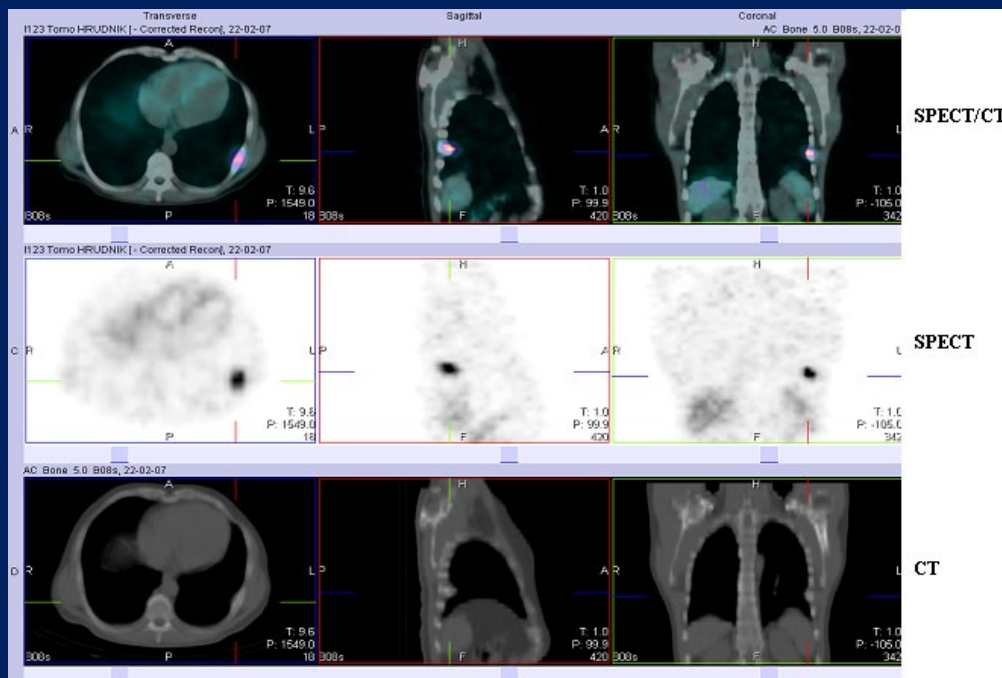
příp. 3-rozměrné obrazy podobně jako u SPECT



# SPECT/CT

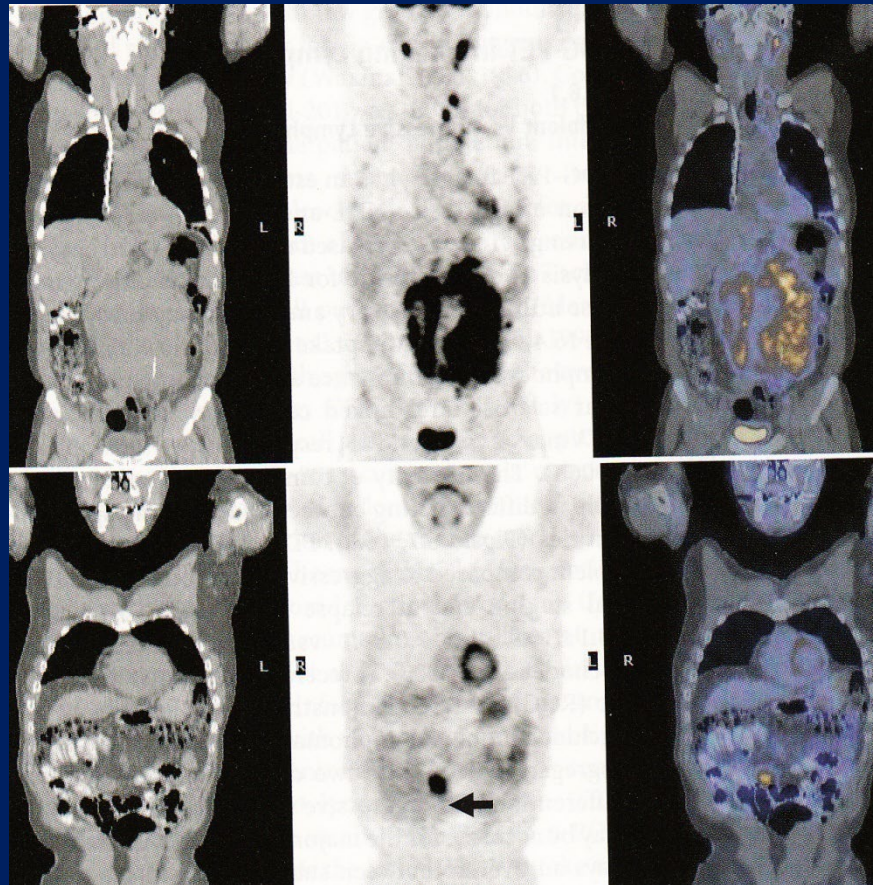
- hybridní tomografické systémy kombinují SPECT a CT do jednoho přístroje
- oba obrazy jsou snímány při jednom vyšetření a ve stejné geometrické konfiguraci pacienta ( in line) , což umožňuje jejich přímou fúzi, zajišťující přesné překrývání sobě odpovídajících struktur

**low dose CT** korekce atenuace  
přesná anatomická lokalizace

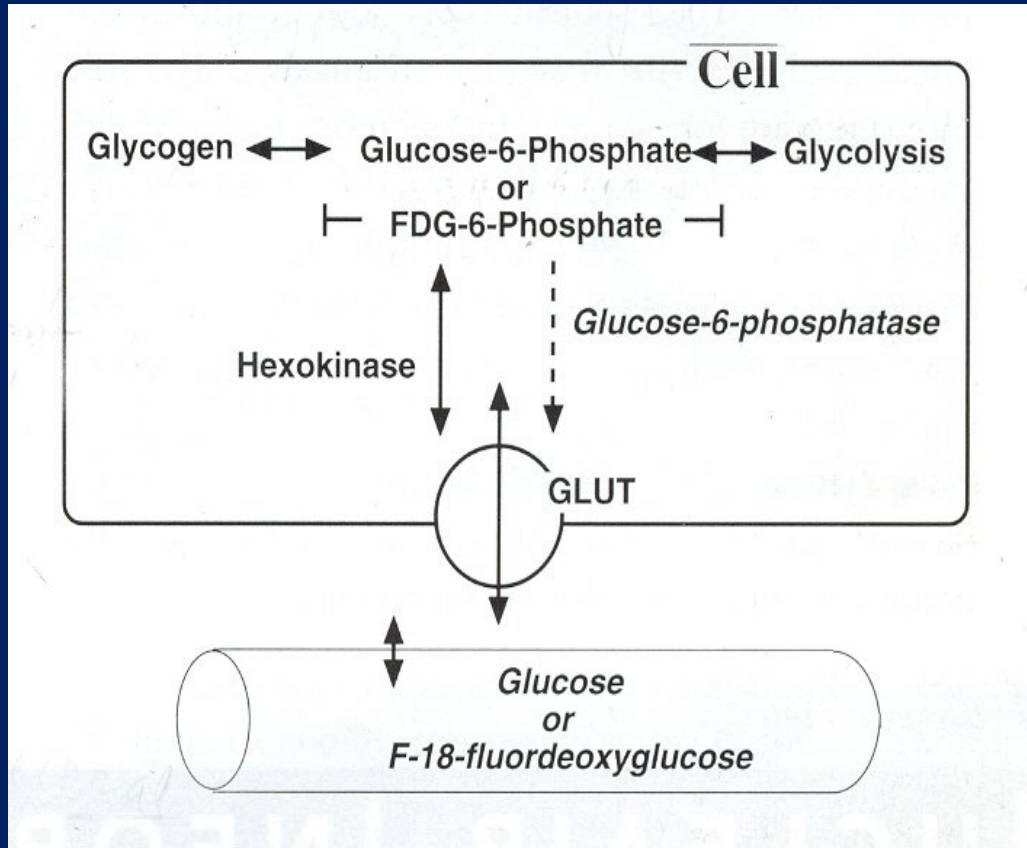


# PET/CT

- hybridní tomografické systémy kombinují PET a CT do jednoho přístroje , diagnostické multidetektorové spirální CT
- oba obrazy jsou snímány při jednom vyšetření a ve stejné geometrické konfiguraci pacienta ( in line) , což umožňuje jejich přímou fúzi, zajišťující přesné překrývání sobě odpovídajících struktur



# $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukóza (FDG)



FDG afinitu k buňkám se **zvýšeným metabolismem** (zvýšená potřeba cukru - glukózy), kam se dostává přes příslušné **transportní proteiny** a následně je **fosforylována**

- na rozdíl od pravé glukózy však FDG **není dále metabolizována**
- v buňce se proto **hromadí**
- důsledku toho dochází k výrazně **zvýšené akumulaci** FDG v nádorových buňkách, takže nádorové ložisko se zobrazí s **vysokým kontrastem** vůči tkáňovému a krevnímu pozadí.

# INDIKACE PET/CT V ONKOLOGII

Diagnostika maligních lézí – odlišení od benigních

Hodnocení rozsahu onemocnění: staging/re-staging, odlišení rekurence malignity od změn indukovaných terapií

Grading malignit

Vyšetření nemocných s metastázami při neznámém primárním tumoru

Lokalizace nejagresivnější části nádoru před biopsií

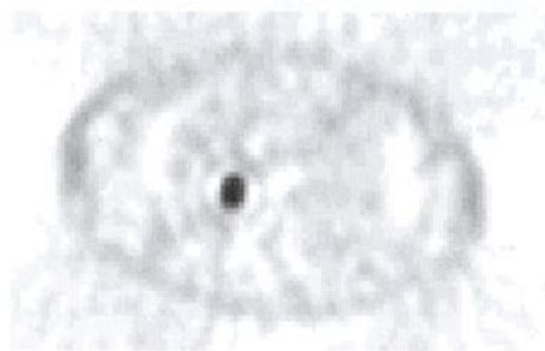
Plánování radioterapie (kurativní, paliativní)

Hodnocení reakce nádoru na léčbu (chemo, radio) – snížení stupně akumulace FDG v nádoru svědčí pro efektivní terapii

# Pacient po operaci Ca ledviny vlevo Plicní metastáza v pravém horním laloku



a Coronal



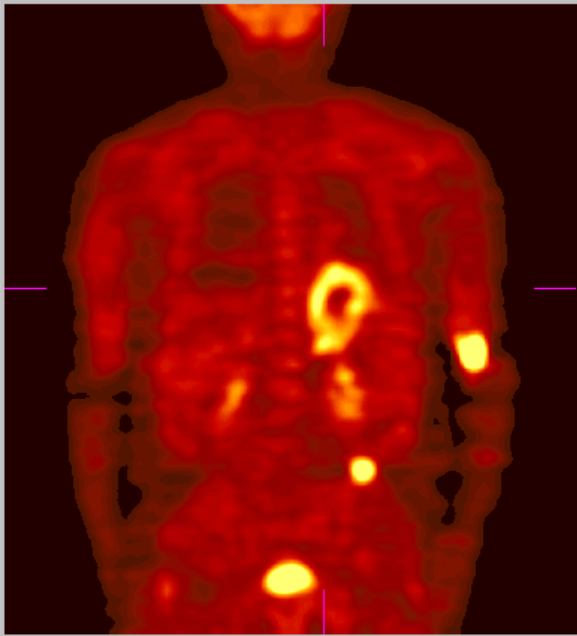
b Transaxial



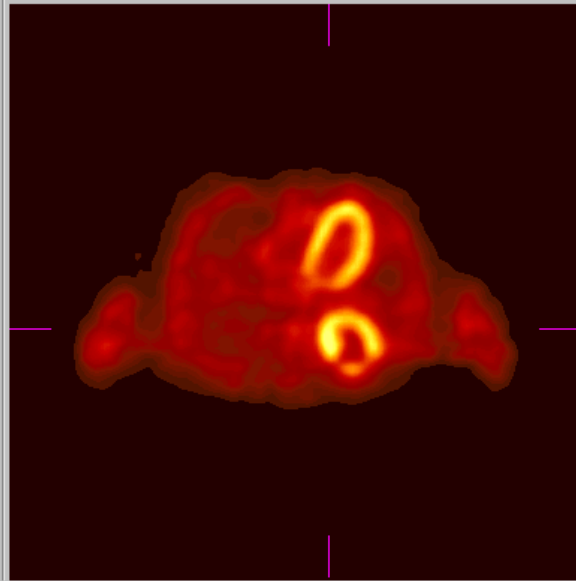
c Sagittal

# Staging maligních onemocnění: bronchogenní karcinom

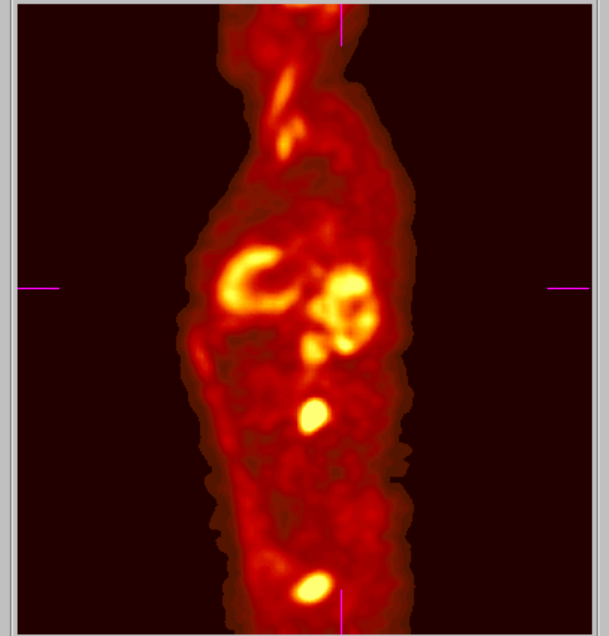
CORONAL



TRANSAXIAL



SAGITTAL



Podle CT

T2N0M0

zvažována  
operace



Podle PET

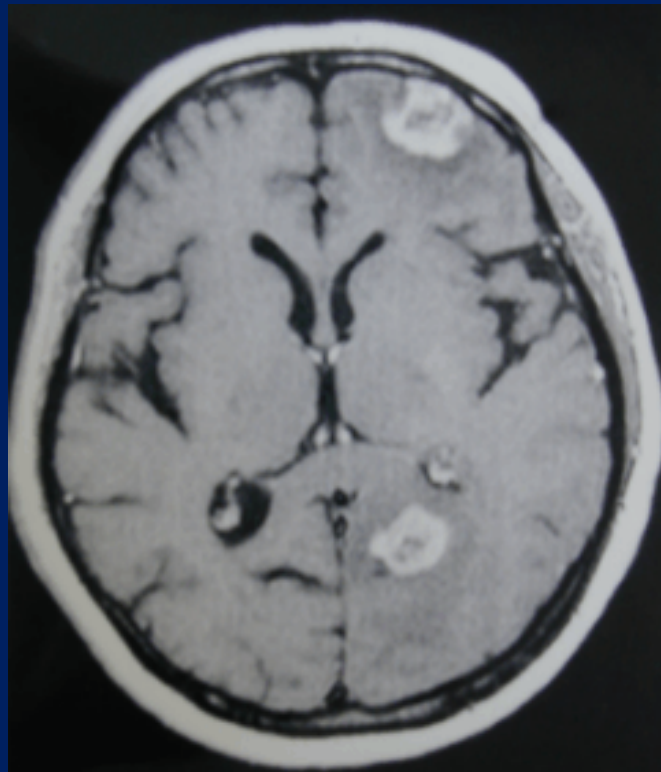
T2N0M1

podána CHT

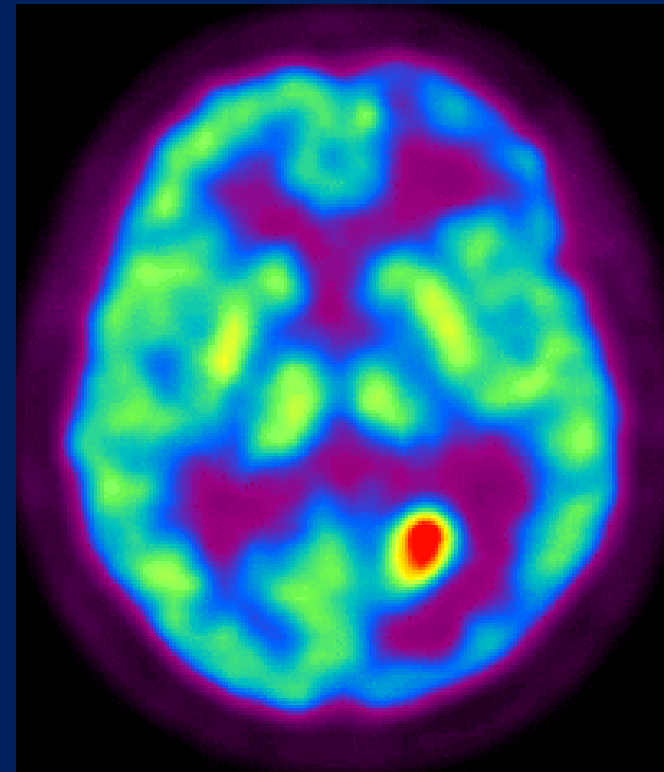


# Rozlišení rekurence malignity od změn indukovaných terapií

**MRI**



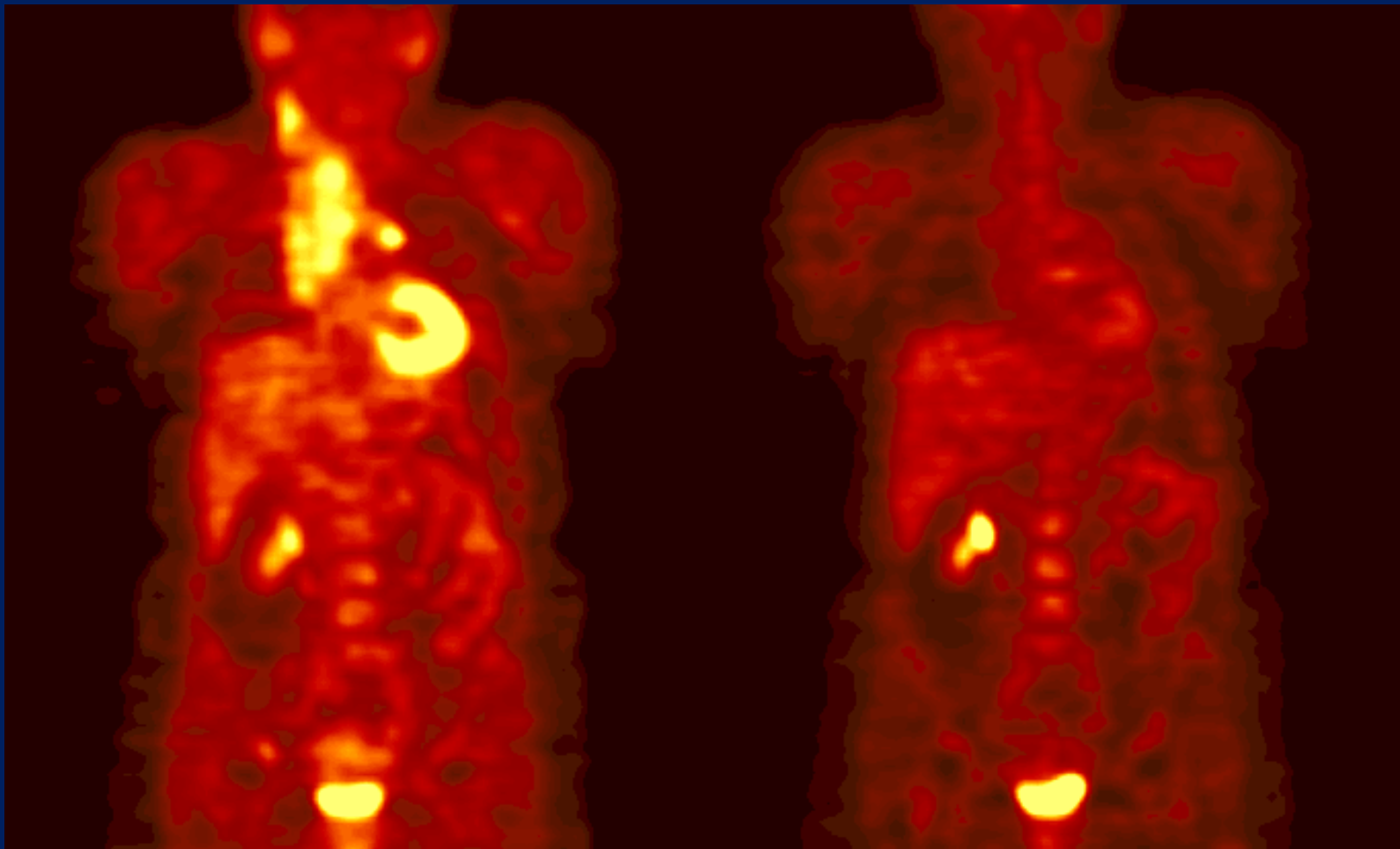
**18FDG**



MRI : metastázy BCA – dig.DG nekróza frontálně  
FDG: frontálně ametabolizmus (nekróza), okcipitálně  
hypermetabolizmus - metastáza

# Hodnocení reakce nádoru na léčbu

## Hodgkin's lymphoma



před léčbou

po léčbě

# Scintigrafie skeletu

- funkční vyšetření
- zobrazí časné změny v metabolismu kostní tkáně
- osteotropní radiofarmakum se vychytává v kostech (vazba na anorganickou kostní matrix) a zobrazuje míru kostní přestavby (osteoblastické aktivity).
- vysoká senzitivita, nízká specificita**

## Indikátory

**99mTc-MDP** methylen difosfonát

## Princip

převážně vazba na minerální složku chemisorpce na povrch hydroxyapatitových krystalů - méně vazba na organickou matrix

## Intenzita závisí

- na nabídce - regionálním průtoku krve
- osteoblastické aktivitě - ovlivňuje tvorbu a růst hydroxyapatitových krystalů

# Scintigrafie skeletu

|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Provedení</b>      | interval mezi i.v. podáním radiofarmaka a snímáním - 4 hodiny |
| <b>Doba vyšetření</b> | 30 minut  |

**Scintigrafie** celotělové zobrazení  
tomografická scintigrafie (SPECT)  
třífázová scintigrafie vybrané části skeletu  
= kombinace dynamické a statické scintigrafie

- 1) fáze angiografická – regionální prokrvení
- 2) fáze „krevního poolu“ přestup RF z krevních cest do extracelul. prostoru
- 3) fáze pozdní „kostní“

# Indikace

## Onkologické

posouzení přítomnosti metastáz

primární kostní tumory – staging, sledování

## Neonkologické

osteomyelitida

morbus Legg-Calve-Perthes, avaskulární nekróza

fraktury

fibrózní dysplázie, m. Paget

komplexní regionální bolestivý syndrom (dříve algodystrofický, Sudeckův)

posouzení viability kostních štěpů

nejasné kostní bolesti

změny při systémových metabolických onemocnění (hyperparatyreóza)

# Charakter metastáz

**! Nezobrazuje se metastáza, ale osteoblastická odpověď**

**„Horká“ ložiska 98 %**

- metastázy osteoplastické a smíšené

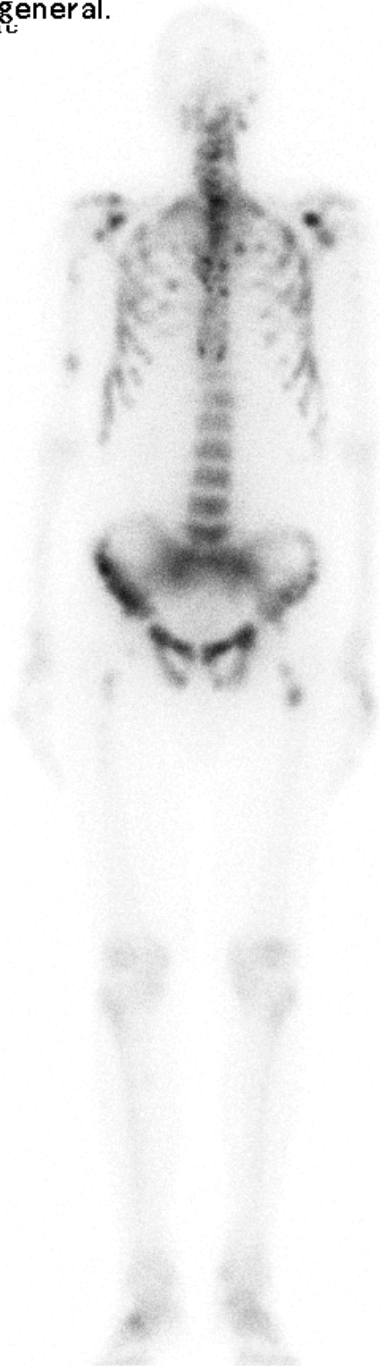
**„Studená“ ložiska 2 %**

- osteolytické metastázy bez reaktivního lemu (myelom, Ca ledvin)

- scintigrafický nálezn falešně negativní - nutno užít jinou vyšetřovací metodu

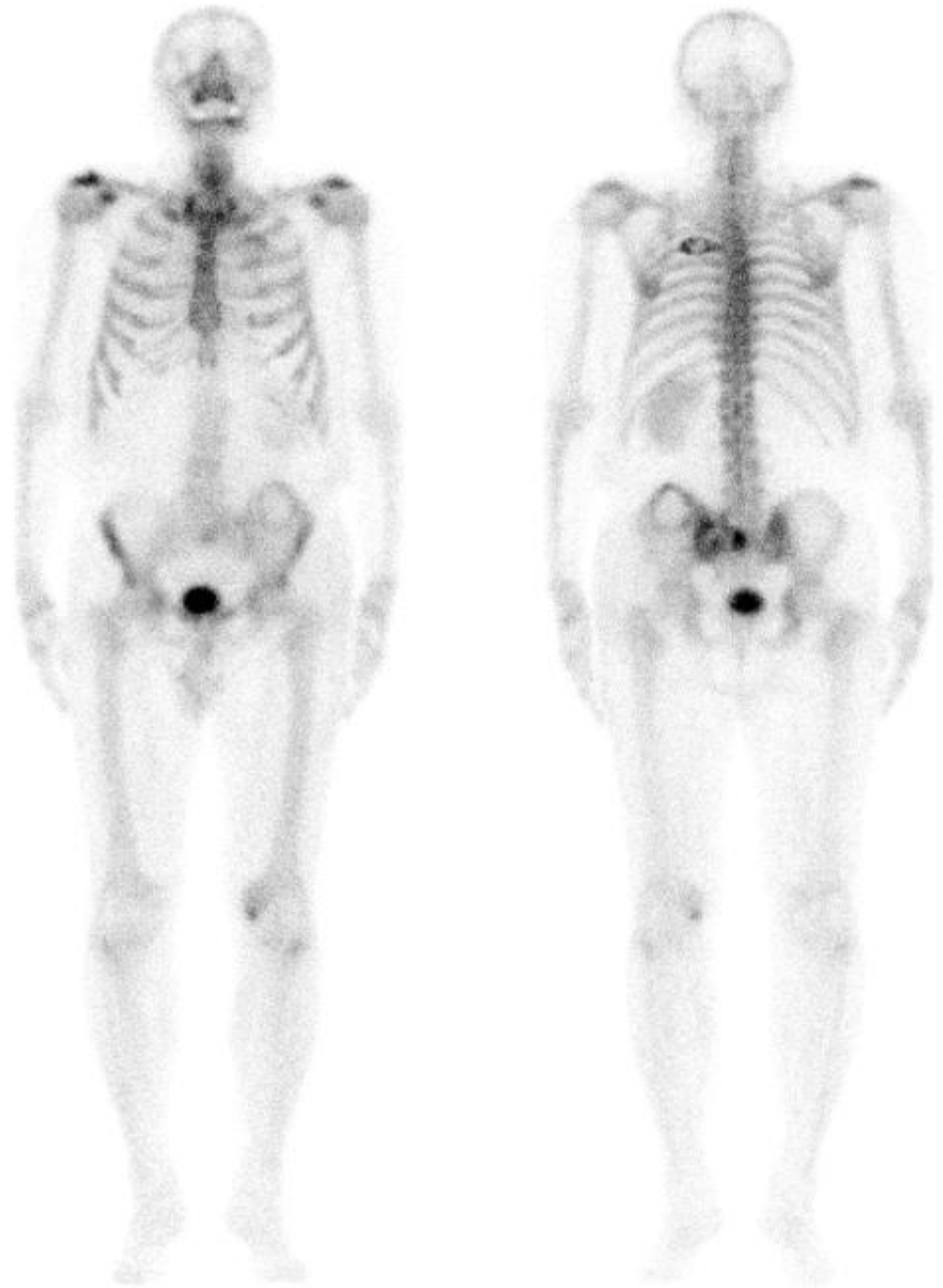
Ca prostatae general.  
- skelet 16 cm-16

13-Jun-2002 11:30



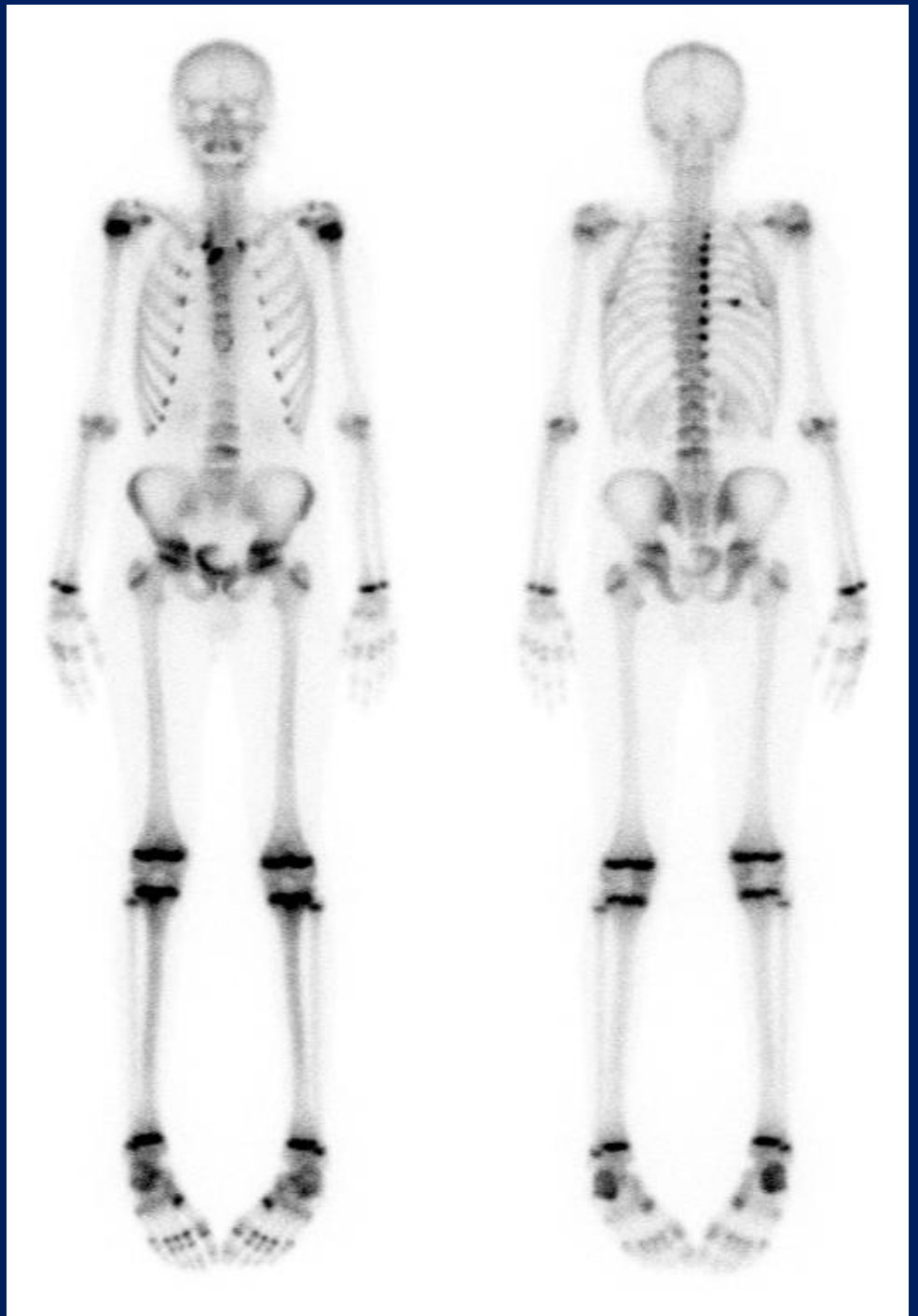
# Generalizace Ca ledviny do skeletu

Lytická ložiska  
s okrajovým lemem  
se zvýšenou kostní  
aktivitou





**Fraktura žeber  
pravého hemithoraxu,  
proximální části sternu  
vpravo, L1-L4.**



# Metody nukleární nefrologie

1. Dynamická scintigrafie ledvin
2. Statická scintigrafie ledvin
3. Radioizotopová cystografie
4. Clearancové techniky

# Dynamická scintigrafie ledvin

objektivizuje intra- a postrenální kinetiku nitrožilně podaného radiofarmaka pomocí gamakamery spojené s počítačem

## Indikátory

### a) vylučované tubulární sekrecí

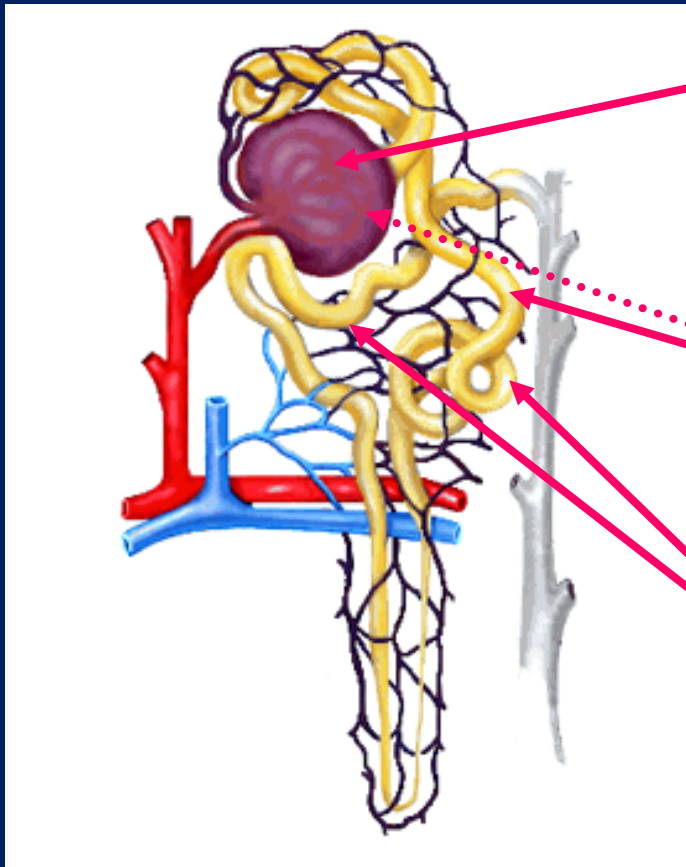
99mTc-MAG3 merkaptoacetyltriglycin

### b) vylučované glomerulární filtrací

99mTc-DTPA kyselina

diethylentriaminpentaoctová

# Mechanismus akumulace radiofarmak



**glomerulární filtrace**

- $^{99m}\text{Tc}$  DTPA

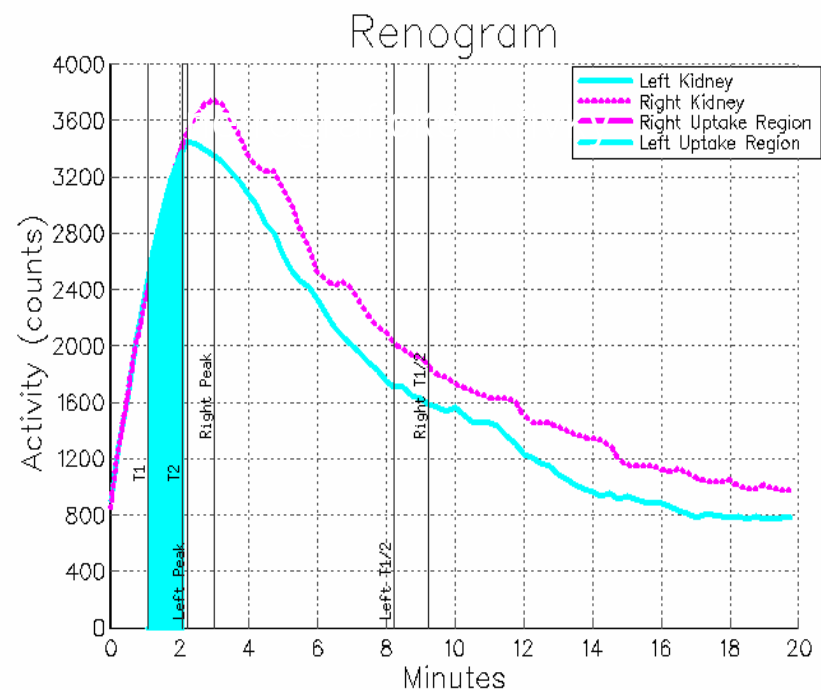
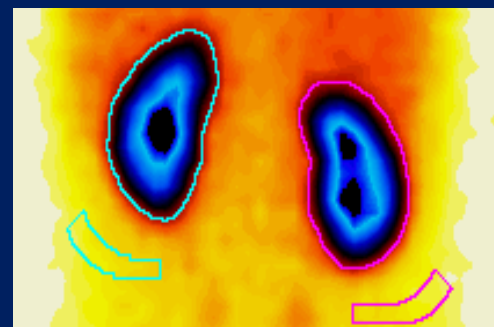
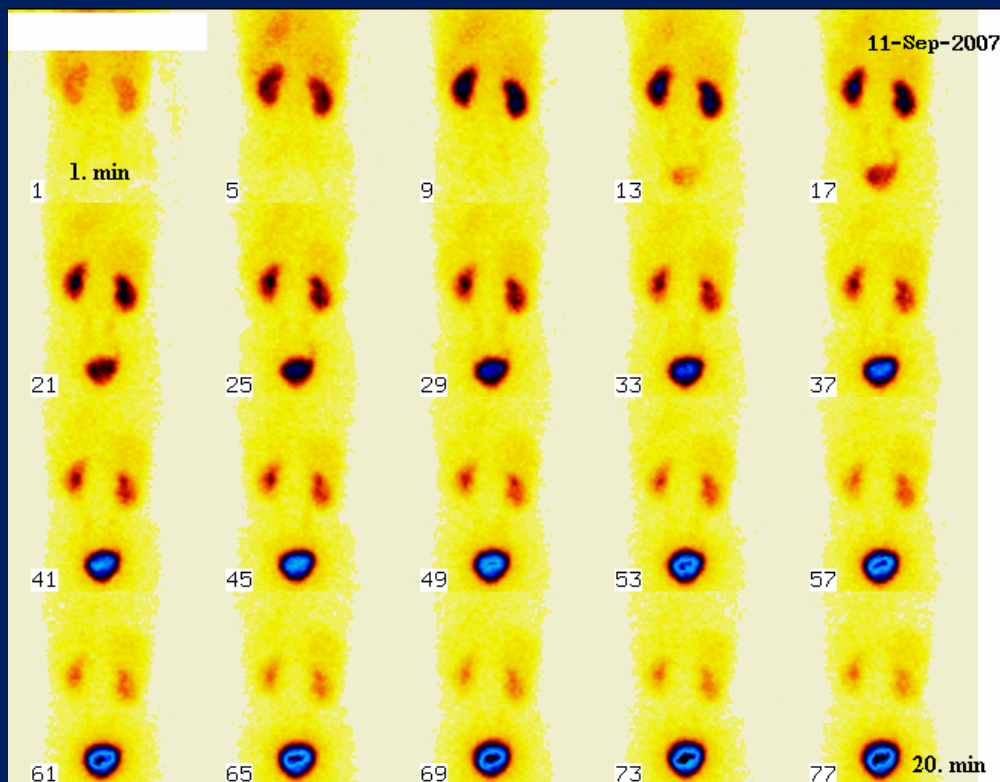
**tubulární sekrece**

- $^{99m}\text{Tc}$  MAG3

**tubulární fixace**

- $^{99m}\text{Tc}$  DMSA

# Dynamická scintigrafie ledvin



výpočet relativního % podílu  
ledvin na celkové funkci  
fyziologické rozmezí 45% - 55%

# Indikace

**Orientační informace** o tvaru, velikosti, poloze ledvin a jejich makrostruktuře

**Určení podílu jednotlivé ledviny** na celkové funkci

**Informace o odtokových poměrech** z dutého systému ledviny, ověření významnosti odtokové poruchy

**Diagnostika stavu** transplantované ledviny

# Nukleární medicína v terapii

Terapie otevřenými zářiči je využívána pro selektivní ozáření nádorové či jiné tkáně s cílem jejího poškození či úplné destrukce, přičemž okolní struktury by měly být léčbou ovlivněny minimálně.

**využívá účinku  $\beta$  záření  
vhodných radiofarmak !**

**narušení struktury DNA**

**zábrana buněčného dělení**

**buněčná smrt**

# Radionuklidy pro terapii

## • $\beta^-$ zářiče

| radionuklid                        | E(keV)          | $T_{1/2}$    |
|------------------------------------|-----------------|--------------|
| <b><math>^{131}\text{I}</math></b> | 606, <b>364</b> | <b>8,04d</b> |
| $^{153}\text{Sm}$                  | 635,708,808     | 2d           |
| $^{186}\text{Re}$                  | 940,1077        | 3,7d         |
| $^{89}\text{Sr}$                   | 1495            | 50,5d        |
| $^{90}\text{Y}$                    | 2280            | 2,5d         |



# LÉČBA POMOCÍ OTEVŘENÝCH ZÁŘIČŮ DNES

- LÉČBA NĚKTERÝCH NEMOCÍ ŠTÍTNÉ ŽLÁZY
- PALIATIVNÍ (ANALGETICKÁ) LÉČBA KOSTNÍCH METASTÁZ
- LÉČBA NĚKTERÝCH NEUROENDOKRINNÍCH NÁDORŮ
- LÉČBA NHL ZNAČENÝMI MONOKLONÁLNÍMI PROTILÁTKAMI
- RADIONUKLIDOVÁ SYNOVEKTOMIE

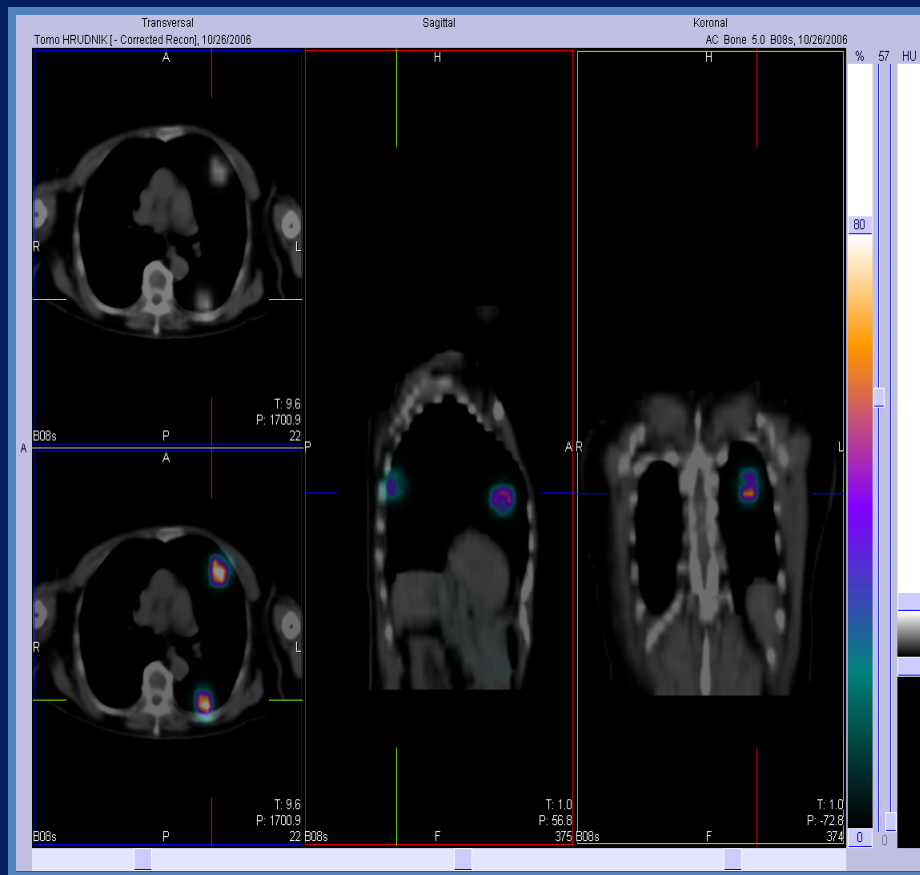
# Radiační ochrana

- ambulantně výjimečně: maximálně 550 MBq
- v domácnosti nejsou děti do 15 let
- písemné pokyny již při aktivitách nad 150 MBq, nutno dodržovat 10 dní
- propuštění pac. domů při poklesu aktivity  $^{131}\text{I}$  pod 250 MBq (dávkový příkon 12  $\mu\text{Sv/h}$  ve vzdálenosti 1 m)

## Doporučení

„Požadavky SÚJB při provádění terapie onemocněné štítné žlázy radiojodem na pracovištích NM“ (SÚJB 3/2000)

# SPECT/LDCT



Děkuji za pozornost

[petr.vlcek@fnmotol.cz](mailto:petr.vlcek@fnmotol.cz)