

# Nukleární medicína

MUDr. Otto Lang, PhD.

lang@fnkv.cz

## Nukleární medicína

- Samostatný lékařský obor
  - Od 50. let 20. století
  - Vlastní atestace – vychází zejména z interny
- Nutné široké znalosti
  - Klinické
    - z řady oborů (kardiologie, neurologie, onkologie, pediatrie, nefrologie, ...)
  - Technické
  - Farmakologické a farmaceutické

## Historie

- Sledování funkčních změn (metabolismus, perfuze ...) v organismu pomocí radionuklidů
  - V klinice i v experimentu
- Nezobrazovací vyšetření
  - Měření vzorků tělesných tekutin, časových změn radioaktivity nad orgány
- Zobrazovací vyšetření
  - Obraz distribuce v orgánech a tkáních
    - (2D i 3D)

## Součásti oboru

- Diagnostika
  - In vitro
    - RSA metody, dnes hojně u biochemie
  - In vivo
    - Převaha zobrazovacích, SPECT, PET, hybridní
- Terapie
  - Kausální
    - Nespecifičtější v onkologii
  - Paliativní

## Podmínky provozu

- Zákony
  - č. 18/1997 Sb. Atomový zákon
- Vyhlášky
  - č. 307/2002 Sb. O radiační ochraně
  - č. 146/1997 Sb. O radiačních činnostech
  - č. 214/1997 Sb. O zabezpečení jakosti
- Doporučení SÚJB
  - Léčba štítné žlázy, Systém zabezpečení jakosti apod.

## Zobrazení

- Proces tvorby obrazu
  - Přenos informace
    - Orgán – detektor – fotonásobič – elektronika – monitor (display)
- Možnosti zobrazení
  - Velikost objektu
  - Kontrast objektu
    - Poměr informace v objektu a v jeho okolí
  - Způsob odlišení od okolí
    - Akumuluje více – „horké“ ložisko
    - Akumuluje méně – „studené“ ložisko



## Radiofarmaka (RF)

- Léčivo nebo lék obsahující radionuklid
- Dvě součásti
  - Lék
    - Zajišťuje požadovanou tkáňovou distribuci
  - Radionuklid
    - Nositel diagnostického nebo léčebného účinku
- Podléhají zákonným normám
  - Čs. lékopis, zákon o léčivech č. 97/1997 Sb.

## Farmakum

- Požadovaná farmakokinetika (distribuce)
  - Akumulace v orgánu
  - Účast v metabolickém procesu
- Bez farmakodynamického účinku
  - Stopová množství
  - Není vztah mezi dávkou a účinkem
- Dodává se v kitové formě (pro hromadné značení)
- Vazba radionuklidu (značení)

## Kity radiofarmak



## Kity radiofarmak



## Kity radiofarmak



## Metody značení

- Chemická syntéza
  - Nejčastější, radionuklid se přidává jako poslední (kitová radiofarmaka)
- Izotopová výměnná reakce
  - Výměna prvku za radioaktivní (značení jodem)
- Přímé ozáření v cyklotronu
- Biologická syntéza
  - Výjimečně (vitamin B12 značený Co)

## Měření radioaktivity

- Základní měření v radiofarmacii
- RF se dávkuje podle aktivity, nikoli podle váhového množství jako ostatní léky
- Měří se v měřiči aktivity
- Měří se jednotlivé stříkačky nebo celá výroba (penicilinka) a aktivity pro jednotlivé pacienty se počítají podle objemu radiofarmaka

## Měření radioaktivity



## Měření radioaktivity



## Radionuklidová čistota

- Přítomnost pouze žádoucích radionuklidů v radiofarmaku (nežádoucí = nečistota)
- Vyjadřuje se v procentech
- Odpovídá výrobce (RF, generátoru)
- Příměsi zvyšují absorbovanou dávku
- Mohou znehodnotit obraz (jiná energie)
- Příklady:
  - $^{99}\text{Mo}$  nebo  $^{99}\text{Tc}$  v  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  značených RF
  - Směs izotopů jodu v jodem značených RF

## Radiochemická čistota

- Přítomnost příslušného radionuklidu pouze v požadované chemické formě
- Vyjadřuje se v procentech
- Zodpovídá každé pracoviště
- Chromatografie po značení kitových RF
- Nečistoty mění biologickou distribuci, zvyšují tkáňové pozadí
- Příklady:
  - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  vázané na cínaté ionty, volné  $^{99\text{m}}\text{Tc}$

## Biologické testy

- Sterilita
  - Membránová filtrace
  - Kontroluje se mikrobiologickými metodami
- Pyrogenita
  - Kompletní aseptický postup při výrobě
  - Kontrola na zvířatech nebo spec. testy
- Toxicita
  - Málo pravděpodobná – stopová množství

## Mechanismy distribuce I

- Buněčná sekvence
  - Poškozené erythrocyty ve slezině
- Pasivní difuze
  - DTPA při sci ledvin, MIBI při sci myokardu
- Metabolická aktivita tkání
  - FDG pro vyšetření myokardu, tumorů a zánětů, mastné kyseliny pro myokard
- Blokáda kapilár
  - MAA pro perfuzní scintigrafii plic

## Mechanismy distribuce II

- Fagocytóza
  - Koloidy pro sci jater, sleziny a kostní dřeně
- Vazba na receptory
  - Zobrazení neuroreceptorů, nádorů
- Vazba protilátky na antigen
  - Zobrazování tumorů
- Aktivní transport přes buněčnou membránu
  - jod pro sci štítné žlázy, thallium pro sci myokardu, IDA pro sci hepatocytů, technecistan pro sci slinných žláz

## Mechanismy distribuce III

- Kompartmentová distribuce:
  - Červené krvinky pro zobrazení krevního poolu
- Kompartmentový únik:
  - Erythrocyty pro sci krvácení do trávicí trubice
- Fyzikálně chemická adsorpce:
  - Fosfonátové ionty při zobrazení kostní tkáně

## Eliminace radioaktivity

- Fyzikální poločas – nelze ovlivnit
  - Co nejkratší, ale umožňující vyšetření
  - $^{99m}\text{Tc}$  optimální
- Biologický poločas – ovlivnitelný
  - Daný mechanismy distribuce
- Efektivní poločas
  - Kombinace obou
  - V krajních případech stejný (žádná exkrece = fyzikální)

## Eliminace radiofarmaka

- Možnost farmakologické intervence
  - urychlení eliminace = nižší radiační zátěž
- Ledviny - diuretika
- Játra - cholekinetika
- Střevo - projímadla
- Plíce
- Kůže

## Lékové formy RF

- Parenterální - nejčastější
  - roztoky, disperze, suspenze
- Perorální
  - roztoky, tobolky
- Inhalační
  - plyny, aerosoly
- Topické
  - folie

## Radioaktivní odpad

- Veškerý materiál kontaminovaný radionuklidy
  - Jehly, stříkačky, tampóny, rukavice, lahvičky, prádlo
- Likvidace podle T/2 kontaminujícího RN
  - Skladování ve stíněném prostoru 10 x T/2
  - Třídění –  $^{99m}\text{Tc}$
  - Tříměsíční –  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{131}\text{I}$
  - Dlouhodobý –  $^{125}\text{I}$ ,  $^{89}\text{Sr}$

## Správná výrobní praxe SVP (GMP)

- Postup, jak vyrobit produkt (radiofarmakum) předepsané kvality
- „Hardware“
  - Prostředky
    - Místnosti, přístroje, pracovní pomůcky
  - Personál (složení a vzdělání)
- „Software“
  - Pracovní postupy – standardní operační postup SOP

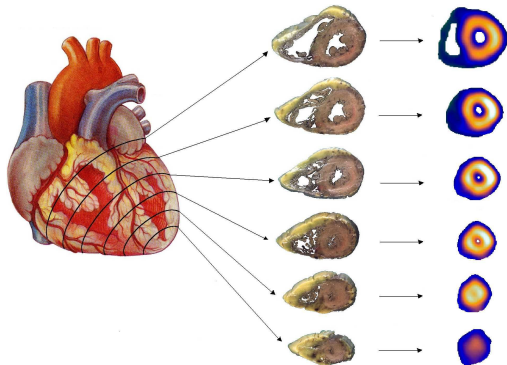
## SVP – vybrané složky

- Ochrana produktu i personálu
  - Výroba ze sterilních surovin ve sterilním prostředí
  - Neradioaktivní kity radiofarmak
  - Boxy s laminárním prouděním vzduchu s filtry
- Průvodní list radiofarmaka - označení
  - Název radionuklidu, chemická forma, celková a specifická radioaktivita (den a hodina), radiochemická čistota, kdo připravil

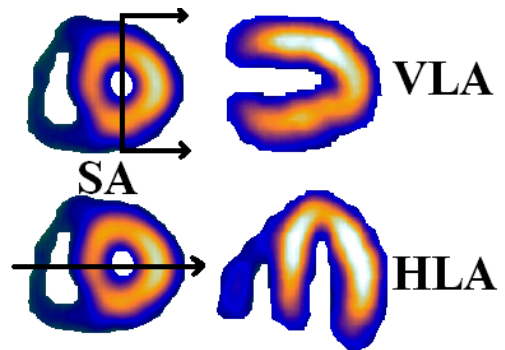
## Vyšetřovací metody

## Srdce

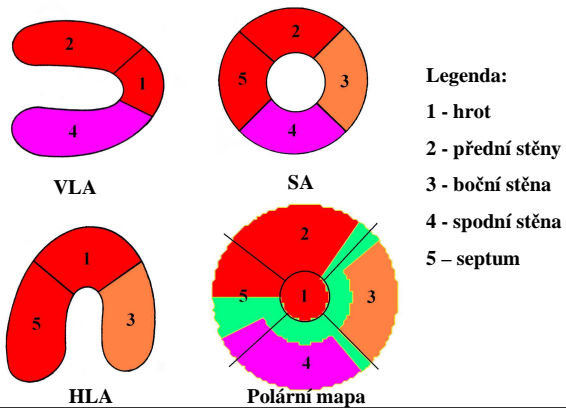
### Tomografické zobrazení - SA řezy



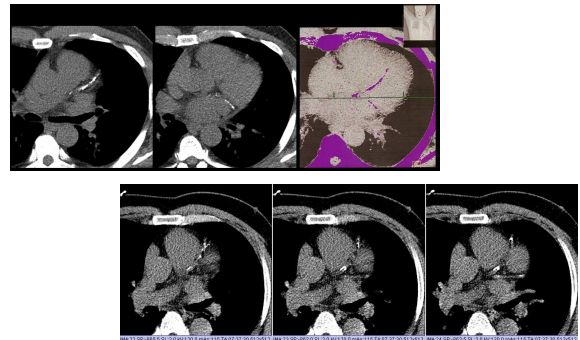
### Ostatní tomografické řezy



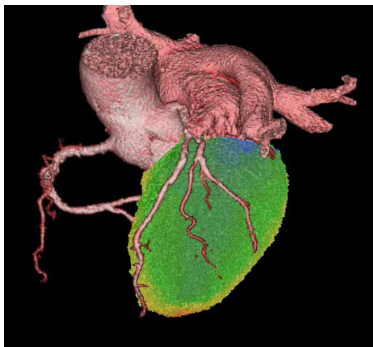
### Určení lokalizace - názvosloví



### Kalciové skóre PET-CT nebo SPECT-CT



### Fúze CT angio + PET perfuze

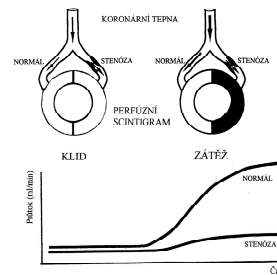


### Vyšetření srdce

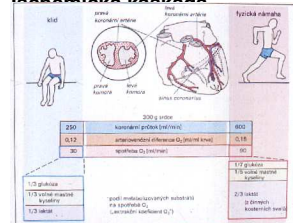
- **Zobrazení myokardu**
  - Perfuze (90% výkonů NK) v klidu a v zátěži
  - Viabilita
  - Nekróza, sympatikus
- **Hodnocení mechanické funkce**
  - Rovnovážná ventrikulografie v klidu a v zátěži
  - Angiokardiografie
  - Nezbrazovací systémy

# Scintigrafie perfuze myokardu

## Proč zátěž?



- Patofyziologie ICHS
- Hemodynamická významnost anatomických stenóz
- Přítomnost kolaterálního oběhu
- Ischemická kaskáda



## Možnosti zátěže

- Fyzická dynamická
  - Ergometr
- Farmakologická
  - Vasodilatační – dipyridamol, adenosin
  - Pozitivně inotropní – dobutamin, arbutamin
- Kombinovaná

## Ergometr

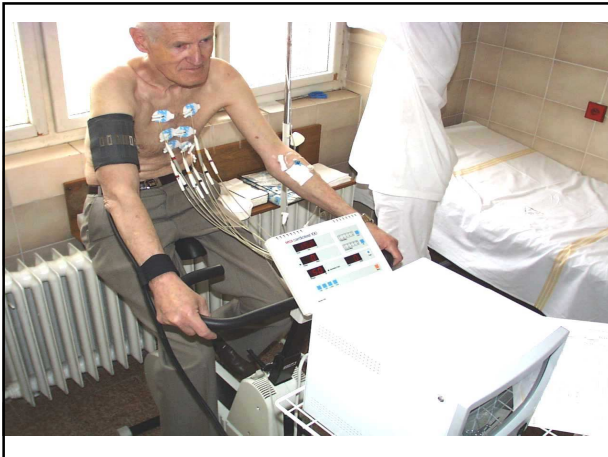
- Snaha dosáhnout tabulkové TF nebo dvojproduktu nad 25 tisíc
- Zátěž po 50 (25) watech po 3 (2) minutách
- Frekvence šlapání 40 – 60/min.
- Aplikace radiofarmaka na vrcholu zátěže
  - Distribuce úměrná prokrvení v době aplikace
- Udržet hemodynamický stav 0,5 – 1,5 min.
- Vysadit betablokátory, pacient lačný

## Kombinovaná zátěž

- Pacientovi je i.v. infuzí podáván dipyridamol vsedě nebo vleže
- Dále následuje 3-6 minut ergometrická zátěž
  - Lepší kvalita obrazů
  - Nižší výskyt nežádoucích účinků
  - Možno provést i u pacientů s nízkým výchozím TK
- Jednu až dvě minuty před ukončením ergometrické zátěže aplikujeme radiofarmakum

## Uspořádání zátěžového testu

- Na PHK je upevněna manžeta tonometru
- Do LHK má pacient zavedenou infuzní kanylu
- Po vykapání infuze s dipyridamolem zapojíme infuzi fyziologického roztoku, abychom měli zajištěný přístup do žíly pro případ komplikací
- Pacient sedí na bicyklovém ergometru, má zapojeny elektrody podle Massona a Likara



## Vyšetřovací protokoly

- Jednodenní (TI, Tc, FDG)- dvoudenní (Tc, FDG, TI)
- Stres – rest nebo rest – stres (Tc, TI-Tc)
- Stres – (redistribuce) – reinjekce (TI)
- Stres – metabolismus (Tc, FDG)
- Stres – rest – metabolismus (Tc, FDG)
- Rest – redistribuce – (pozdní redistribuce) (TI)
- Rest – metabolismus (Tc, FDG)

## Hlavní klinické indikace

- Detekce ischemické choroby srdeční
  - lokalizace, rozsah, závažnost
- Hemodynamická významnost stenóz koronárních tepen
  - výběr vhodné terapie
- Prognóza pacientů s ischemickou chorobou srdeční
- Hodnocení efektu revaskularizačních výkonů a detekce restenózy
- Pacienti po infarktu myokardu a jejich stratifikace
- Viabilita myokardu
- Akutní koronární syndromy
- Kardiální riziko operace u nekoronárních výkonů

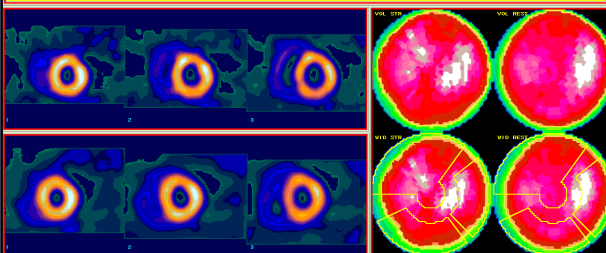
## Základní obrazy perfuzní scintigrafie u ICHS

- **Normální obraz**
  - Homogenní perfuze v zátěži i v klidu
- **Známky ischemie**
  - Defekt perfuze v zátěži, mizí v klidu
- **Známky jizvy**
  - Defekt perfuze v zátěži i v klidu
- **Známky ischemie a jizvy**
  - Kombinace předchozích

### SCINTIGRAPHIC PATTERN OF NORMAL MYOCARDIUM

Radiopharmaceutical:  $^{99m}\text{Tc}$  MIBI  
short axis slices of middle myocardium

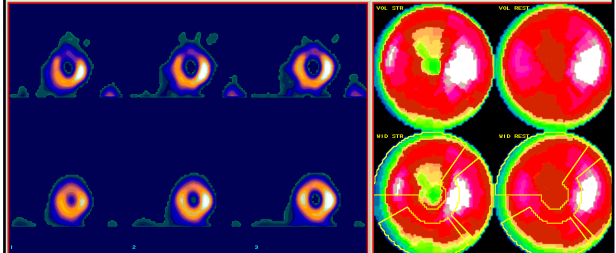
top row: homogenous perfusion through the whole myocardium  
bottom row: the same distribution of radiopharmaceutical  
right side: polar map (Bull's eye) with coronary artery territories



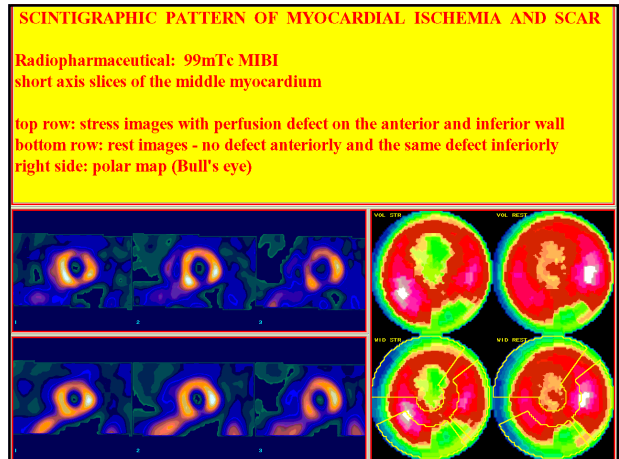
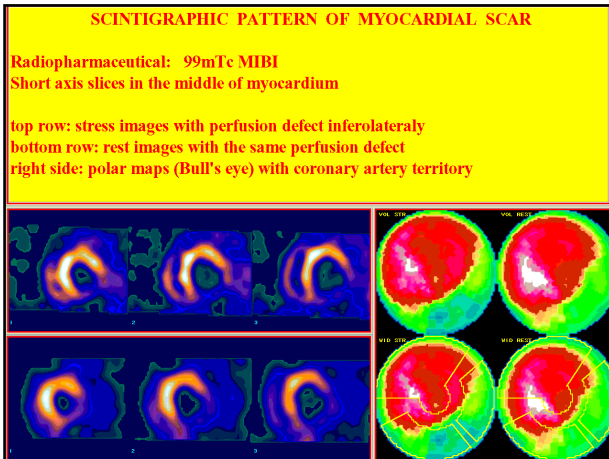
### SCINTIGRAPHIC PATTERN OF MYOCARDIAL ISCHEMIA

Radiopharmaceutical:  $^{99m}\text{Tc}$  MIBI  
short axis slices in the apical part of the myocardium

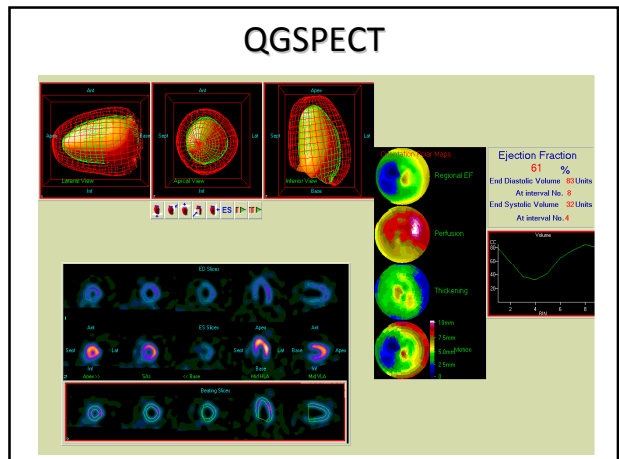
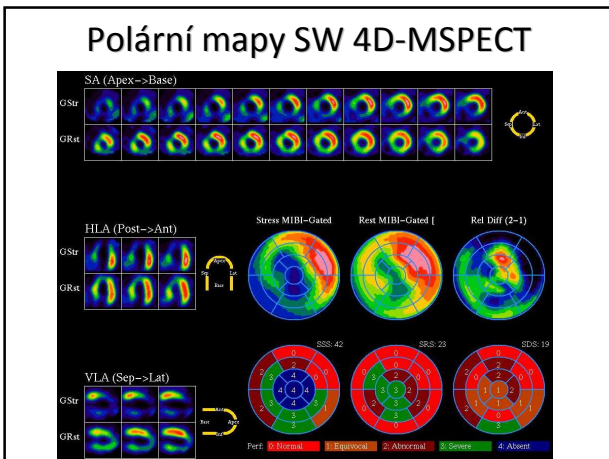
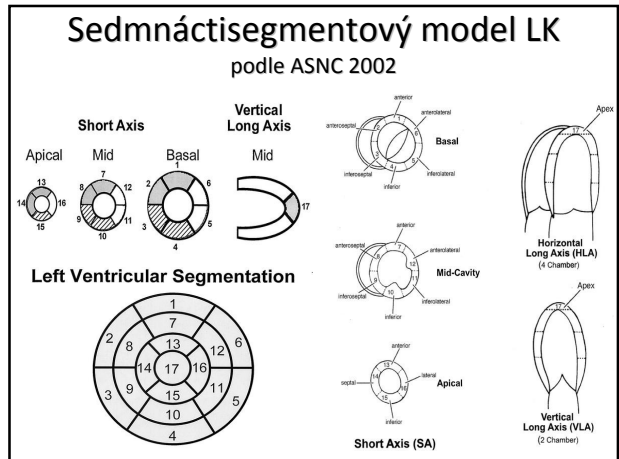
top row: stress images with perfusion defect in the anterior wall  
bottom row: rest images with homogeneous perfusion in the whole myocardium  
right side: polar map (Bull's eye) - ischemic pattern in the apex and anterior wall







- ### Možnosti zpracování dat
- **Kvantitativní analýza perfuze**
    - CEqual™ – využívá polární mapy pro standardizaci a komparaci
    - Další systémy - Emory Tool Box, 4DMSPECT
    - V současné době segmentové modely pro srovnání s echokardiografií (poslední je 17 segmentový)
  - **Kvantitativní analýza funkce - synchronizovaná tomografie – gated SPECT, GSPECT**
    - Navazuje na kvantifikaci perfuze
    - Dělí srdeční cyklus (R-R interval) na 8 (16) úseků
    - Hodnotí mechanickou funkci – EF, EDV, ESV
    - Hodnotí kinetiku - motion, thickening



## Příprava pacienta

- Jako na zátěžový test
  - Lačný, sebou svačinu a pití
  - Vynechat betablokátory event. dlouhodobé nitráty a kalciové blokátory
- Blokáda štítné žlázy Chlorigenem
- Celková doba vyšetření záleží na typu protokolu
  - Jednodenní 6 hodin
  - Dvoudenní 2 hodiny

## Mechanická funkce srdce

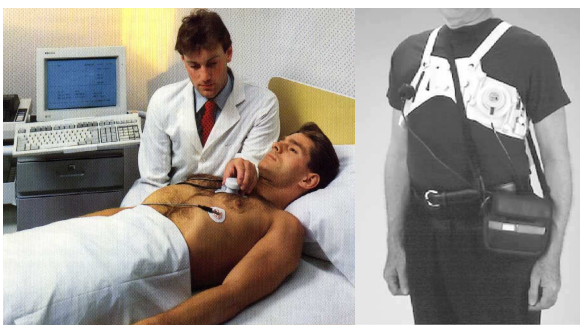
## Radionuklidová ventrikulografie (MUGA)

- Informace o regionální a globální funkci komor
- Vysoká reprodukovatelnost výsledků
- Měří změnu objemu krve v srdci
  - Značené erytrocyty
- **Indikace**
  - Kardiotoxicita cytostatik
  - Alternativa u ECHO nevyšetřitelných

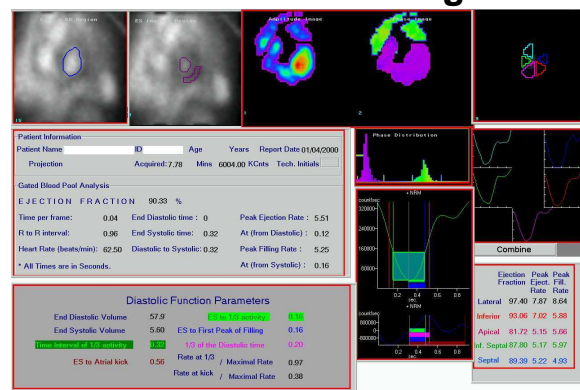
## Radionuklidová angiokardiografie

- First-pass
  - Hodnocení pravé komory srdeční
  - Kvantifikace zkratů centrální cirkulace
- Nezobrazovací systémy
  - monitorování EF na JIP
  - ambulantní monitorování EF

## Nezobrazovací systémy



## Pozátěžová ventrikulografie

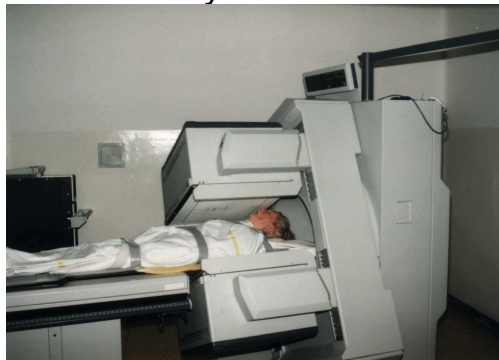


# Plíce

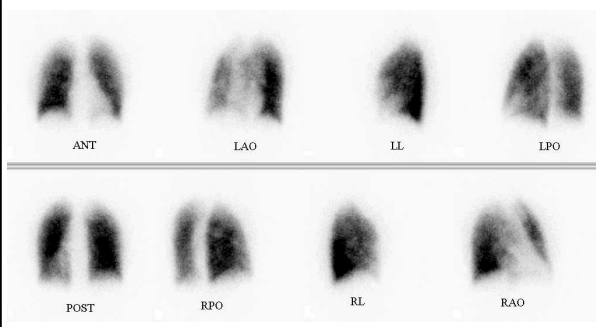
## Perfuzní scintigrafie plic

- $^{99m}\text{Tc}$  MAA - kapilární mikroembolizace, distribuce zobrazuje krevní tok v plicích
- Nezvyšuje tlak v plicnici (P-L zkraty)
- Aplikace vleže
- Zobrazení planární nebo SPECT
- Doba vyšetření cca 30 minut
- Interpretace vizuální - PIOPED kriteria

## Perfuzní scintigrafie plic vyšetření

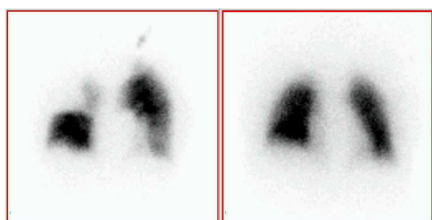


## Perfuzní scintigrafie plic planární obrazy - normální



## Perfuzní a ventilační scintigrafie plic

embolie do plicnice  
pohled přední, vlevo perfuze, vpravo ventilace



## Žilní systém

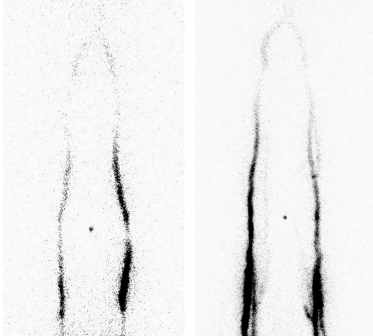
## Radionuklidová flebografie

- Zobrazuje průchodnost žilního řečiště dolních končetin
- Zobrazuje insuficienci žilních spojek
- Zobrazuje kolaterální oběh
- **Nezobrazuje trombus**
- Aplikace  $^{99m}\text{Tc}$  MAA na nártu
- Perfuzní scintigrafie plic navazuje
- Doba vyšetření cca 40 až 60 minut

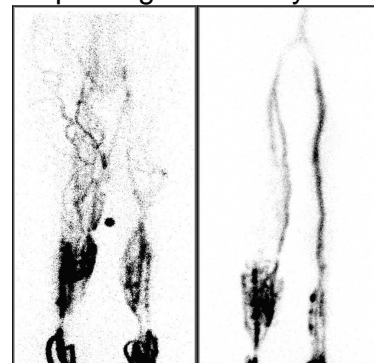
## Radionuklidová flebografie aplikace a vyšetření



## Radionuklidová flebografie obrazy: vlevo se, vpravo bez škrtdel



## Radionuklidová flebografie patologické nálezy



## Skelet

## Scintigrafie skeletu

- Metoda velmi citlivá
- Založena na detekci kostní přestavby
- Ukáže lokality, které je možno blíže vyšetřit radiologicky
- Objektivizuje negativní rtg nález v místě potíží

## Kostní scintigrafie - radiofarmaka

- $^{99m}\text{Tc}$  MDP nebo HDP
- Aplikovaná aktivita 600 – 1000 MBq
- Akumulace v kostní tkáni
  - Chemisorpce na povrch kostních trabekul
  - Závisí na
    - Krevním průtoku
    - Permeabilitě kapilár
    - Kostním metabolismu (přestavbě) – aktivita ostoblastů, osteoklastů, novotvorba kosti

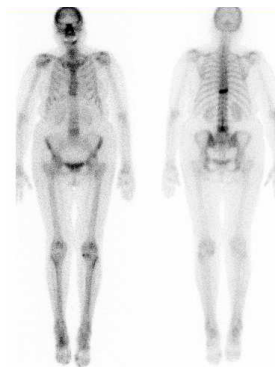
## Kostní scintigrafie

- Příprava pacienta
  - Blokáda štítné žlázy chlorigenem
  - Dobrá hydratace – ne nalačno!!!
  - Časté močení (ochrana močového měchýře)
- Metody
  - Scintigrafie – obrazy 2-3 hodiny po injekci
  - Třífázová scintigrafie – průtok krve + kapilární prokrvení + scintigrafie (kostní metabolismus)
  - Obrazy planární nebo SPECT, celotělové, cílené, pin-hole kolimátor (kyčle, malé kosti)

## Kostní scintigrafie - indikace

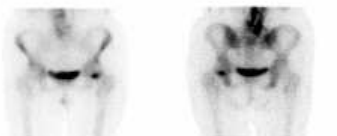
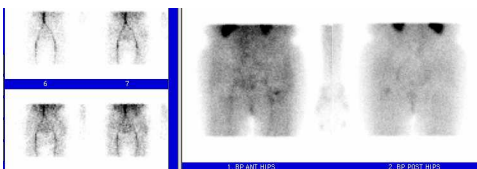
- Ortopedie
  - Fraktury, zejména některých lokalizací, které nejsou vidět na rtg (zápěstí)
  - Syndrom týraného dítěte
  - Únavové zlomeniny, avulse
  - Kontuze kosti
  - Reflexní sympatická dystrofie
  - Osteochondrální léze
- Onkologie
  - Pátrání po metastázách

## Kompresivní fraktura



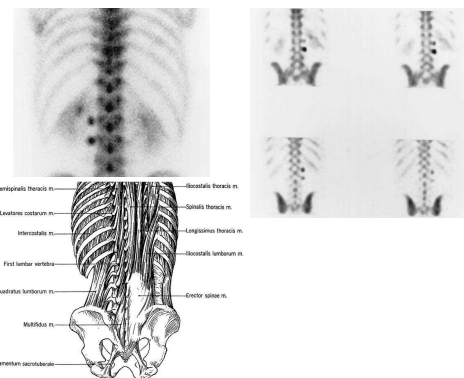
80letá pacientka s osteoporózou  
Pád před 6 týdny

## Únavová zlomenina krčku femuru

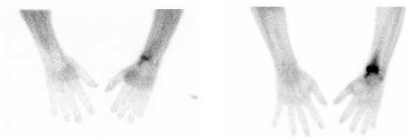


76letá žena s bolestivým tříselem – rtg negativní

## Fraktura processus transversus

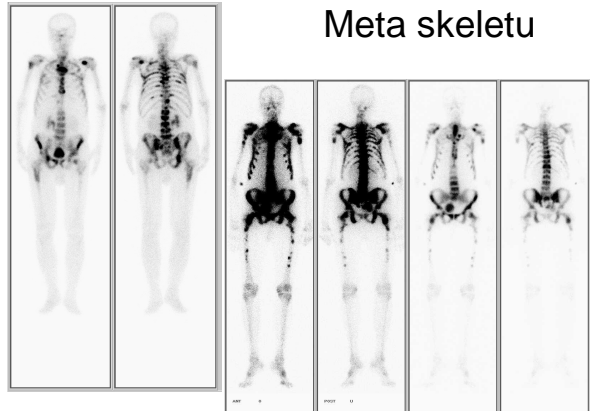


## Zlomenina radia a scaphoidea

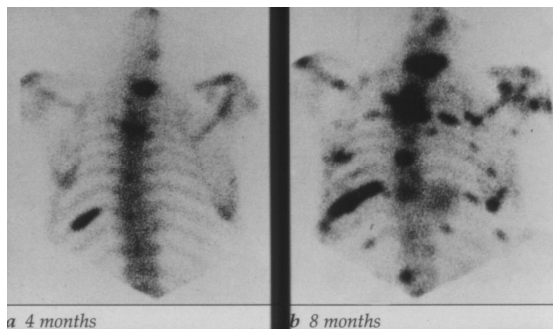


Pád, fraktura scaphoidea  
Rtg negativní

## Meta skeletu



## Kostní scan – karcinom prostaty progrese



## Ledviny

### Indikace

#### Vyšetření:

- Perfuze a funkce ledvin
- Obstrukce (furosemidový test)
- Renovaskulární HTZ (kaptoprilový test)
- Infekce (statická scintigrafie ledvin)
- Kvantifikace funkce před nefrectomií
- Transplantovaná ledvina
- Vrozené anomálie, ložiskové změny (statická scintigrafie ledvin)

### Dynamická scintigrafie ledvin

#### Příprava pacienta

- Pacient musí být dobře hydratován
  - Vypít 5-10 ml/kg váhy vody (2-4 šálky) 30-60 min. před injekcí
  - Možno měřit hustotu moči (<1.015)
- Vymočit před aplikací
- Vymočit po skončení studie

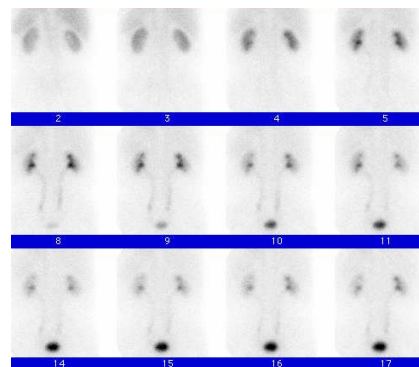
Int'l Consens. Comm.  
Semin NM '99:146-159

Dynamická scintigrafie ledvin

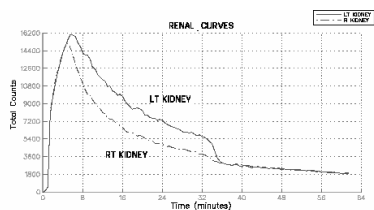
## Záznam dat

- Preferována poloha na zádech
- Neaplikovat bolově
- Flow (angiogram) : 2-3 sec / fr x 1 min
- Dynamika: 15-30 sec frame x 20-30 min

## DTPA normální nález



## Nefrogramy

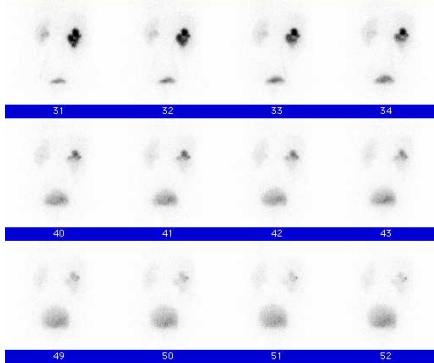


Furosemidový test

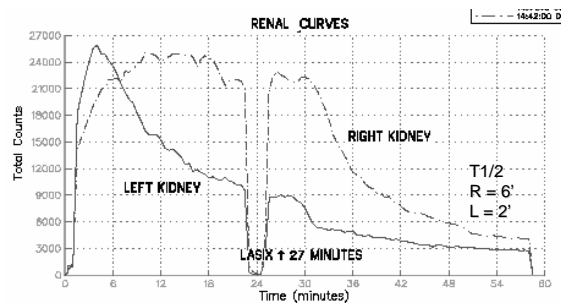
## Provedení

- Vymočit před podáním furosemidu
- Furosemid: 40mg dospělí, 1mg/kg děti iv v 10.-20. min (při plné pánvičce) *nebo* 15min před aplikací ("F-15" metoda) *nebo* současně s aplikací („F-0“ – malé děti)
- Záznam dat 30 min. po podání furosemidu
- Zhodnotit velikost diurézy
  - Měření vymočeného objemu moče
  - Dospělí vymočí 200-300 ml moče po podání furosemidu

## Po furosemidu



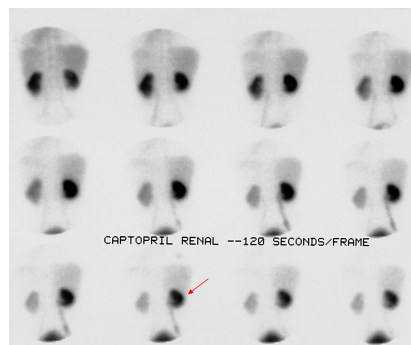
## Bez obstrukce



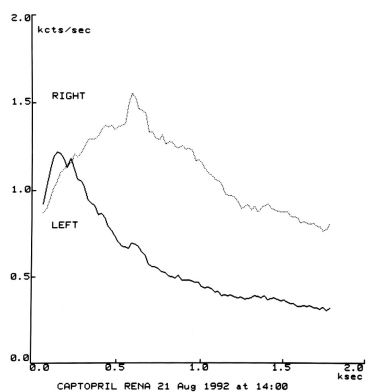
Kaptoprilový test  
**Příprava pacienta**

- Vysadit ACEI & ATII blokátory na 3-7 dní
- Vysadit diuretika na 5-7dní
- Lačnit alespoň 4 hodiny
- Pacient dobře hydratován
  - 10 ml/kg vody 30-60 min před a během testu
- ACEI
  - Captopril 25-50 mg p.o. (rozdrcený), 1 h před vyšetřením
  - Enalaprilat 40 µg/kg iv (2,5 mg max), 15 min předem
  - Monitorovat TK po 15 min

**Kaptoprilový test  
 MAG 3**



**Kaptoprilový test MAG 3**

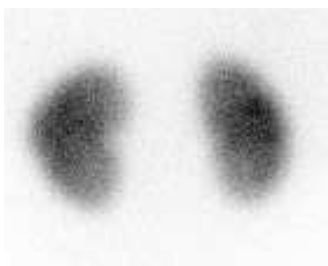


Statická scintigrafie ledvin

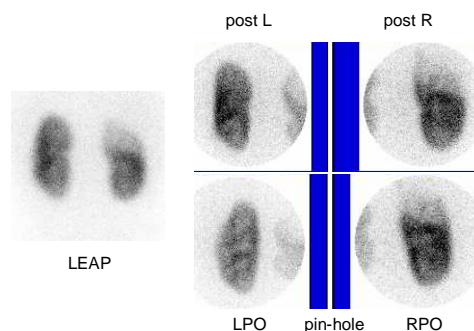
**Indikace**

- Detekce postižení ledviny u akutního zánětu močových cest (akutní pyelonefritida)
- Detekce kortikálního jizvení (chronická pyelonefritida)
- Follow-up po terapii

**DMSA  
 paralelní kolimátor**



**Akutní pyelonefritis  
 DMSA**





## DMSA podkovovitá ledvina



paralelní

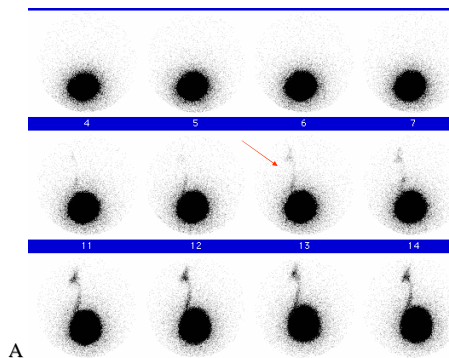
pin-hole

## Radionuklidová cystografie

### Indikace

- Vyšetření dětí s opakovanými infekcemi močových cest
  - 30-50% má VUR
- Sledování dětí po dg rtg cystografii
- Hodnocení efektu terapie / operace
- Screening u sourozenců dětí s refluxem

### VUR – plnicí fáze



## Nádory

### Role nukleární medicíny

- Diagnostika
  - Specifická a nespecifická
- Stážování (staging)
  - Nezbytné pro racionální a efektivní terapii
- Sledování (follow-up)
  - Včasná detekce recidivy
- Léčba
  - Specifická a nespecifická

## Nádory

- Metabolicky aktivní tkáň - mnoho znaků společných se záněty
  - zvýšená vaskularizace
  - zvýšená permeabilita kapilár
  - zvýšená proliferace nových kapilár
  - zvýšený krevní průtok
  - metabolicky aktivní buňky
  - zvýšená potřeba energie

## Nádory

- Specifické znaky nádorových buněk
  - vysoká hustota běžných buněčných receptorů
  - exprimace specifických receptorů
  - exprimace specifických nádorových antigenů
  - využití v diagnostice i terapii

## Radiofarmaka pro diagnostiku

- Nespecifická – lokalizační (pozitivní či negativní)
- Pro PET a PET/CT
  - $^{18}\text{F}$ -FDG – anaerobní metabolismus
- Pro planární, SPECT a SPECT/CT
  - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  difosfonáty – kostní scan
  - Koloidy – scintil jater a sleziny
  - Pertechnetát – štítná žláza
  - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  MIBI – různé tumory
  - $^{67}\text{Ga}$  – jako FDG – lokalizace ložisek
  - značené leukocyty – kostní dřeň

## Radiofarmaka pro diagnostiku

- Specifická - určité typy nádorů
- Pro PET nebo PET/CT
  - Nejsou komerčně dostupná
- Pro planární, SPECT a SPECT/CT
  - $^{123}\text{I}$ -MIBG - neuroendokrinní tumory
  - $^{131}\text{I}$  - folikulární karcinom štítné žlázy
  - $^{111}\text{In}$  - Octreotid - somatostatinové receptory
  - monoklonální protilátky značené  $^{123/131}\text{I}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$

## Radiofarmaka pro terapii

- Nespecifické
  - $^{89}\text{Sr}$  (Metastron),  $^{153}\text{Sm}$ ,  $^{189}\text{Re}$
  - Paliace bolesti u kostních metastáz
- Specifické
  - $^{131}\text{I}$ 
    - Diferencované karcinomy štítné žlázy
  - $^{90}\text{Y}$ 
    - Zevalin – B lymfomy

## $^{67}\text{Ga}$ scintigrafie

- Zavedeno do kliniky v 70. letech 20. století pro diagnostiku lymfomů (prof. Dienstbier)
- Mechanismus akumulace v nádorech
  - vitalita tumoru
  - krevní průtok
  - permeabilita kapilár
  - lymfatická drenáž
  - receptory transferinu nádorových buněk

## $^{67}\text{Ga}$ scintigrafie

- Průběh vyšetření
- Příprava pacienta
  - Projímadla před a v průběhu snímkování
  - Několik týdnů po léčbě nádoru (FN)
    - Terapie může blokovat akumulaci v nádoru
- Aplikace 180 MBq i.v.
  - Obrazy za 48 – 96 hodin
  - WB + SPECT, kolimátor pro střední energie

## Scintigrafie skeletu (kostní scan)

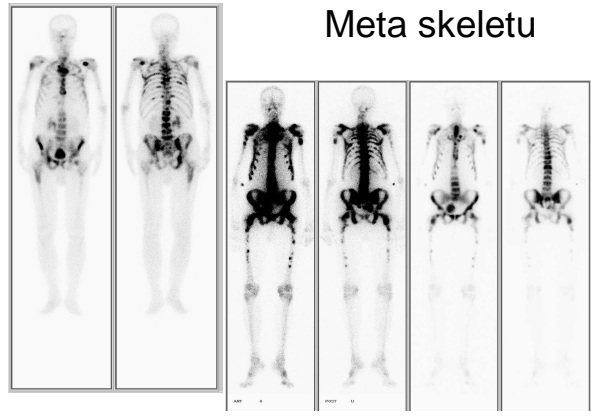
- Hlavní klinické indikace
- Detekce metastáz různých tumorů
  - Stážování a sledování vývoje choroby
  - Pozitivita mnoho měsíců před rtg
  - Metoda volby při pátrání po meta
- Nejčastěji do skeletu metastazují
  - Plíce, prs, prostata, štítnice, ledviny

## FDG PET

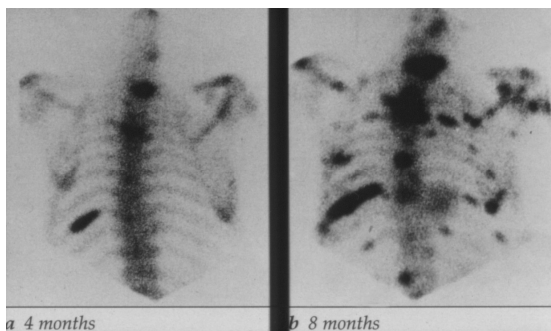
<http://www.homolka.cz/nm/>

- Pro většinu tumorů – staging a folow-up
- Hlavní indikace – lymfomy, plíce, melanomy, kolorektální a jiné
- Není vhodná pro ca prostaty
- Příprava pacienta
  - Nejdříve 1 týden po chemo a 3 měsíce po radio
  - 1 hod. před aplikací tělesný klid
  - Nalačno, nepít mléko a sladké nápoje

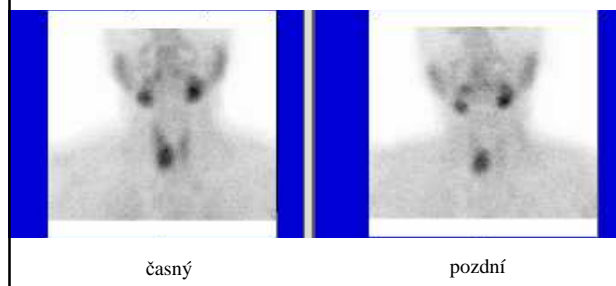
## Meta skeletu



## Kostní scan – karcinom prostaty progrese

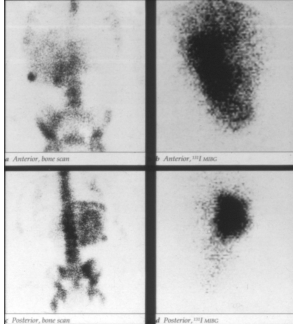


## $^{99\text{m}}\text{Tc}$ MIBI adenom přštítného tělíska

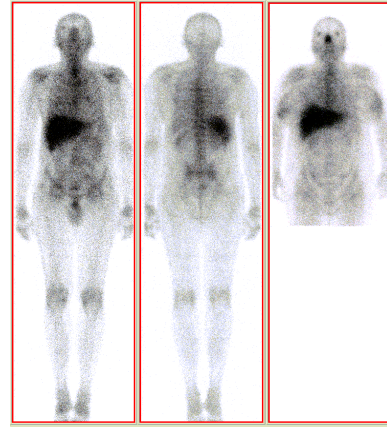


## Neuroblastom postižení jater a skeletu

Kostní  
scan

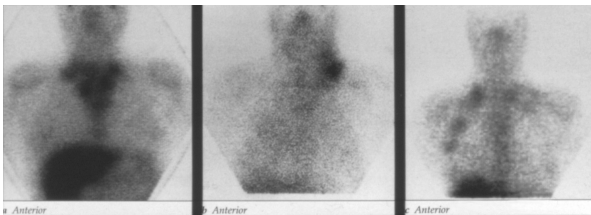


<sup>131</sup>I  
MIBG  
scan

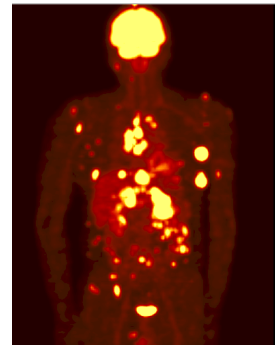


Normal <sup>67</sup>Ga scan in man and in woman

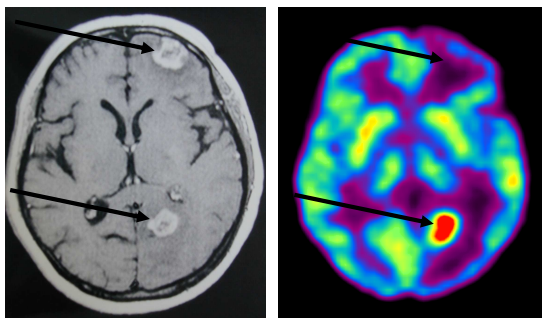
## Ga scan - lymfom



## FDG PET melanom generalizace



## FDG PET – meta v mozku rozlišení od radionekrózy – na CT stejně



# Neurologie

## Zobrazování CNS v NM

- Důležité informace o
  - Cévních mozkových příhodách
  - Záchvatových chorobách
  - Demencích
  - Mozkových nádorech
  - Mozkové smrti
  - Dynamice mozkomíšního moku
- SPECT, PET, fúze obrazů s CT nebo MRI

## Radiofarmaka

- A) pro SPECT
  - Volně procházejí hematoencefalickou bariérou (BBB)
    - 1) Pro zobrazení krevního průtoku
      - $^{99m}\text{Tc}$  HMPAO, ECD – jsou lipofilní
    - 2) Pro zobrazení receptorů
      - $^{123}\text{I}$  IBZM, DaTSCAN
    - 3) Pro speciální indikace – např. onkologie
      - $^{99m}\text{Tc}$  MIBI
- B) pro PET (glukózový metabolismus)
  - $^{18}\text{F}$  FDG
- C) pro zobrazení likvorových prostor
  - $^{111}\text{In}$  DTPA,  $^{99m}\text{Tc}$  pertechnetát

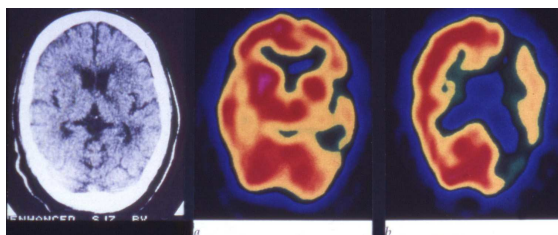
## Provedení metody

- Příprava pacienta
  - Chlorigen k blokaci plexus chorioideus
  - Někdy nutná sedace
- Pacient leží na zádech, hlavu pod detektorem ve speciálním držáku
- Aktivita 500 – 1000 MBq i.v., aplikace v temné tiché místnosti
- Záznam dat SPECT po dobu 30 - 40 minut

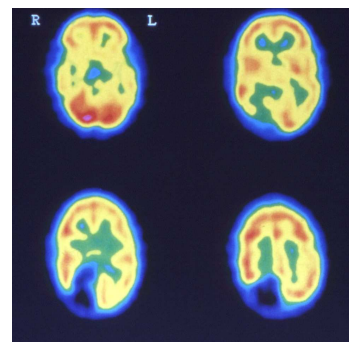
## Hlavní indikace

- Cévní mozkové příhody
- Demence
- Záchvatová onemocnění
  
- SPECT (perfuze) i PET (metabolismus)
- Podobná distribuce radiofarmaka
- Různá senzitivita obou metodik

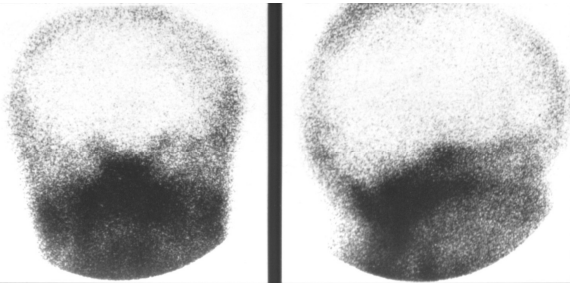
Infarkt v povodí ACM –  
hypoperfuze téměř celé  
hemisféry, CT časně beze změn



Infarkt v povodí ACP



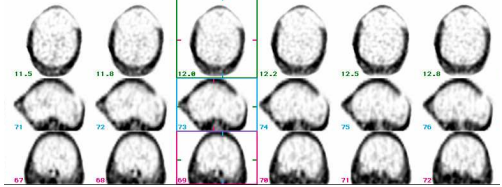
### Mozková smrt – $^{99m}\text{Tc}$ HMPAO



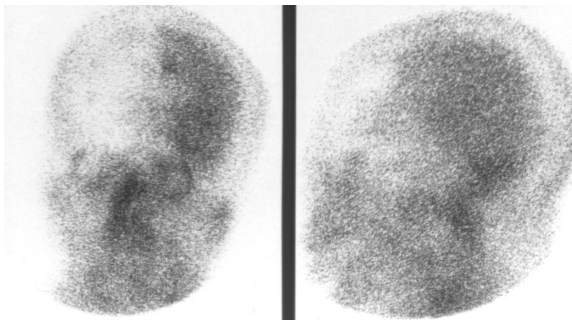
a Anterior HMPAO

b Right lateral HMPAO

### Smrt mozku



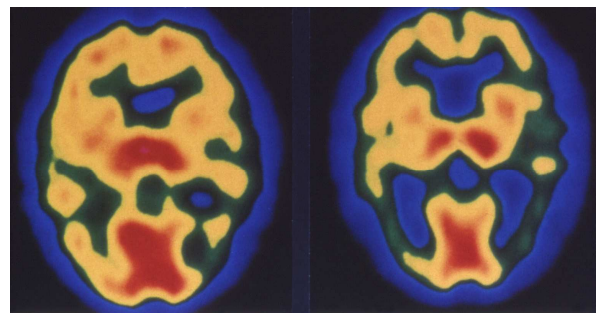
### Mozková smrt – nepotvrzena $^{99m}\text{Tc}$ HMPAO



a Anterior HMPAO

b Lateral HMPAO

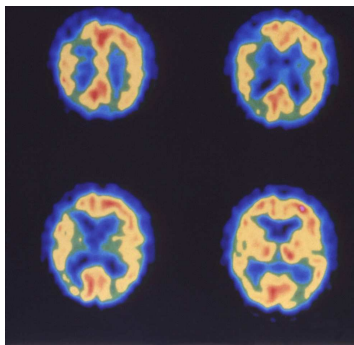
### AD – progrese choroby



a Transaxial HMPAO

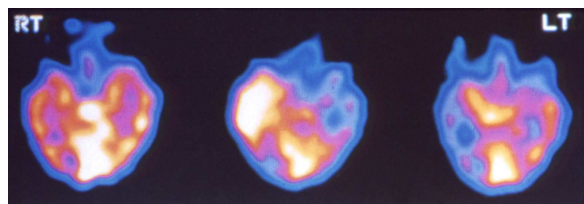
b Transaxial HMPAO

### Multiinfarktová demence (MID)



Transaxial HMPAO

### Epilepsie – interiktální, iktální a postiktální vyšetření



a Transaxial

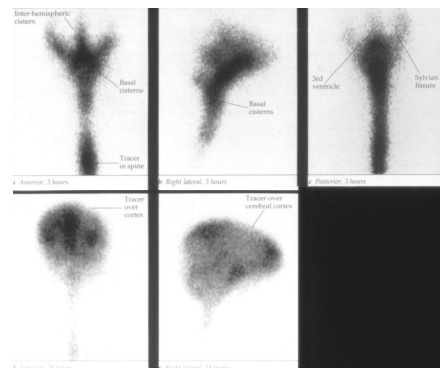
b

c

## Cisternografie - provedení

- Příprava pacienta jako před lumbální punkcí
- Aplikace intrathekálně suboccipitální nebo lumbální punkcí (perimyeloscintigrafie)
- Pacient zobrazován v sedě, planární obrazy A, R, L v intervalu 1, 4, 24, 48 a někdy i 72 hodin – hodnocení kinetiky moku
- Při vyšetření průchodnosti drenážního systému aplikace přímo do hadičky

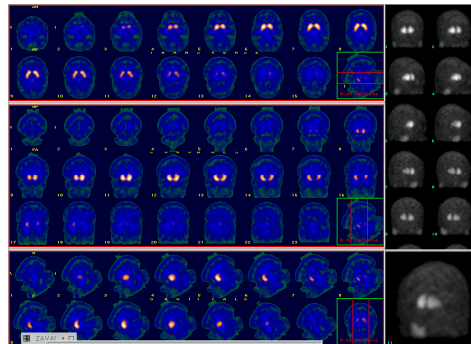
## Normální cisternografie



## Receptorové zobrazování

- Dopaminové receptory (D1, D2), serotoninové, GABA receptory a jiné
- Pro D2 komerčně dostupné
  - $^{123}\text{I}$  IBZM zobrazuje postsynaptické receptory
  - $^{123}\text{I}$  DaTSCAN zobrazuje presynaptické receptory
- Hlavní indikace – poruchy hybnosti (dystonie, parkinsonismus)

## DaTSCAN – presynapse - normál



## Štítná žláza

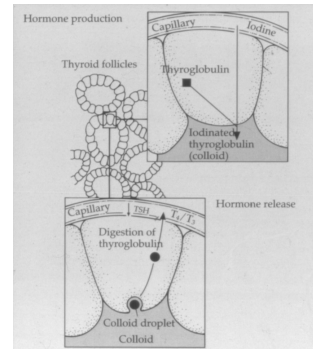
## Endokrinologie

- Základní postavení štítné žlázy
  - Thyreologie stála u zrodu NM – dostupnost  $^{131}\text{I}$ , I – klíčová součást T hormonů
- Diagnostika i terapie
  - Terapie využívá beta záření  $^{131}\text{I}$
- Příštítná tělíska
- Nadledviny
- Hormonálně aktivní tumory
  - Diagnostika i terapie

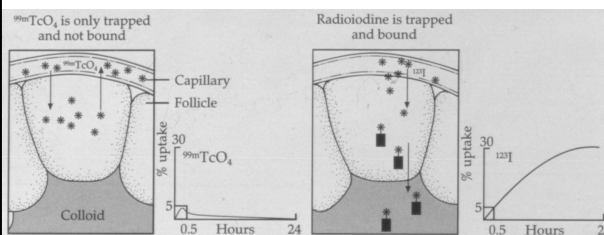
## Štítná žláza - histologie

- Folikul – funkční jednotka
- Váček, stěnu tvoří epitelové buňky
- Vytvářejí, skladují a uvolňují T hormony
- Skladování v koloidu folikulů ve vazbě na thyreoglobulin
- Parafolikulární buňky
  - Kalcitonin (metabolismus vápníku)

## Folikuly štítné žlázy



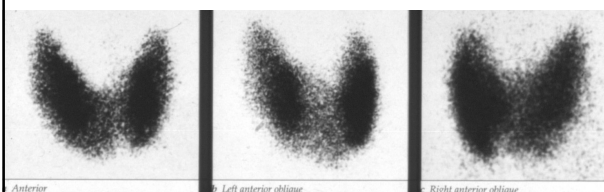
## Štítná žláza – fyziologie rozdíl mezi radiofarmaky (Tc vs I)



## Metody

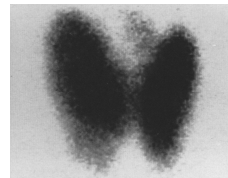
- Scintigrafie štítné žlázy – provedení
  - $^{99m}\text{Tc}$  100 – 150 MBq i.v.
    - Obrazy snímány 20 min. po injekci, poloha vleže na zádech, kolimátor pin-hole, nepolykat a nehýbat hlavou
  - $^{123}\text{I}$  10 – 20 MBq p.o.
    - Pacient musí být nalačno
    - Obrazy snímáme stejným způsobem, ale později (4 nebo 24 hodin)

## Normální scintigrafie štítné žlázy

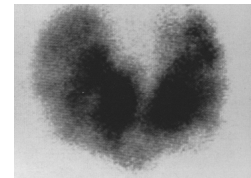


## Graves – Basedowova choroba

Difuzní



Uzlovitá



Po strumectomii



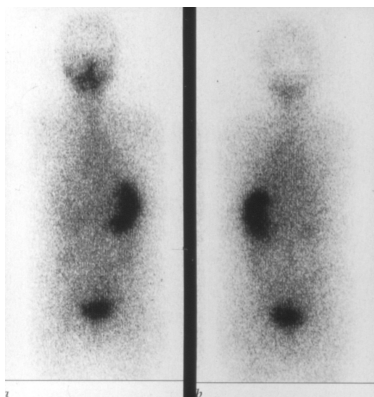
## Karcinom štítné žlázy

- 90% dobře diferencovaných (akumulují jod)
  - 80 – 90% papilární
    - Dvakrát častější u žen, metastazuje lymfogenně
  - 10 – 20% folikulární
    - Bez pohlavní preference, metastazuje hematogenně (plíce, skelet, játra, mozek)
  - Prognóza dobrá – pětileté přežití 95% pacientů
- 5% nediferencovaných (anaplastický ca)
  - Převážně ve stáří, prognóza špatná
- 5% medulárních
  - Produkují kalcitonin

## Metody

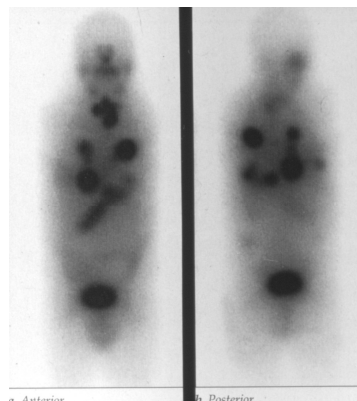
- Scintigrafie karcinomu štítné žlázy
  - Po strumectomii
    - 1 – 3 měsíce po operaci, substituční léčbu nutno vysadit (zvýšení TSH)
    - 100 - 200 MBq  $^{131}\text{I}$ , WB studie, 3-5 dní po aplikaci
  - Po terapii  $^{131}\text{I}$ 
    - Pátrání po metastázách
    - WB obrazy po terapeutické aplikaci
    - Snímání jako po strumektomii
    - Dokud není nález dva roky po sobě negativní

## Normální scan se $^{131}\text{I}$

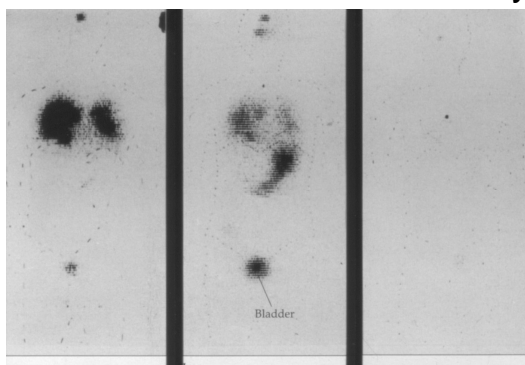


## Folikulární karcinom štítné žlázy

Mnohočetné metastázy



## Folikulární karcinom štítné žlázy



Meta v plicích a lebce

Efekt terapie  $^{131}\text{I}$

## Štítná žláza

- Těhotenství a kojení
  - Všechna užívaná radiofarmaka volně procházejí placentou, štítnice plodu akumuluje jod od 12. týdne – indikovat pečlivě
  - $^{131}\text{I}$  – kontraindikován
  - Všechna radiofarmaka volně procházejí do mléka – kojení se musí přerušit
    - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  na 12 – 24 hodin
    - $^{123}\text{I}$  – na 2 – 3 dny
    - $^{131}\text{I}$  nad 70 kBq – trvalé zastavení

## Terapie $^{131}\text{I}$

- Princip
  - Destrukce tkáně beta ionizujícím zářením
  - Účinek se projeví po týdnech až měsících
  - Kontraindikována v těhotenství
  - Otěhotnět může nejdříve 6 měsíců po léčbě
- Indikace
  - Tyreotoxikóza
  - Zbytky žlázy po strumectomii
  - Terapie metastáz, které akumulují jod
- V ČR pouze za hospitalizace (nad 500 MBq)

## Léčba karcinomu $^{131}\text{I}$ - podmínky

- Jednolůžkové pokoje s příslušenstvím
- Několik dnů po aplikaci nevycházet
- Návštěvy podle dávky
  - 2 m od pacienta
- Denně se sprchovat
- Po použití WC vícekrát splachovat
- Maximálně používat věci na jedno použití
- Praní prádla odděleně na pracovišti

## Léčba karcinomu $^{131}\text{I}$ - podmínky

- Veškerý tekutý odpad musí být jímán
- Personál může trávit u pacienta jen nezbytný čas
- Dveře pokojů označeny symbolem radioaktivity
- Pravidelně musí být monitorována kontaminace štítné žlázy personálu
- Pokud pacient zemře, musí se pohřbít do země

**GIT**

## RN metody

- Poskytují informace funkční, morfologické jen do jisté míry (játra)
- Jsou komplementární s informacemi radiologickými – informace morfologické
- Jsou pro pacienta většinou méně zatěžující
  - Většinou nízká radiační zátěž
- Přesněji odrážejí fyziologický stav
  - Používají přirozenou stravu, nikoli baryovou kaši

## Radiofarmaka

- A)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  pertechnetát
  - Kumulován slinnými žlázami a parietálními buňkami žaludeční sliznice
- B)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  sulfurkoloid
  - Chemicky velmi stabilní vazba, nevstřebává se – značení potravy pro vyšetření motility
- C)  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  erytrocyty
  - Krvácení do lumina trávicí trubice

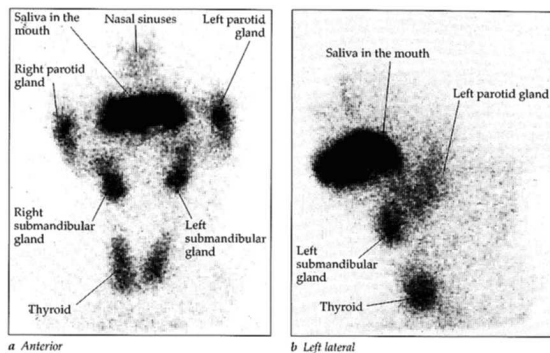
## Scintigrafie slinných žláz statická a dynamická

- Používá se lokálně různě často, obvykle se provedou metody obě
- Statická
  - Hrubé anatomické odchylky velkých žláz
- Dynamická
  - Posouzení dynamiky tvorby a sekrece slin a reakce na stimulaci

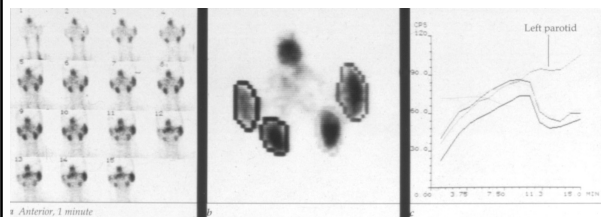
## Provedení

- Pacient lačný, nesmí dostat Chlorigen!!
- Aplikace pod kamerou (dynamika)
  - Pacient vleže na zádech
- Detektor nad obličej
- Aplikace 100 MBq  $^{99m}\text{Tc}$  pertechnetátu
- Dynamika 10 min, pak statika ANT (RAO, LAO), pak podnět a další dynamika 10 min.

## Slinné žlázy – statická scinti



## Obstrukce levé parotis po podnětu nedochází k odtoku sliny



## Scintigrafie Meckelova divertiklu (ektopické žaludeční sliznice)

- Zbytek ductus omphaloentericus (pravý)
  - Nejčastější kongenitální anomálie GIT
- Možnost ektopické sliznice
  - Ohrožuje nositele krvácením
- Pankreatická
  - Scintigraficky nezobrazitelná
- Žaludeční
  - Kumulace pertechnetátu

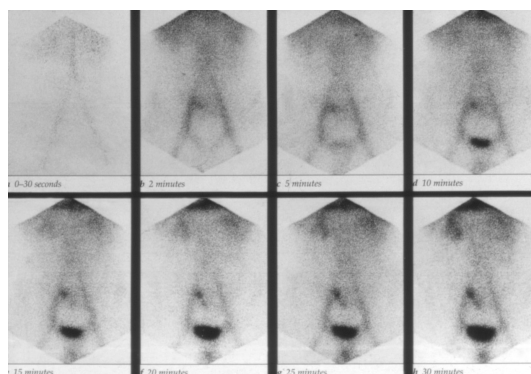
## Princip a indikace

- Akumulace v buňkách produkujících mucin
  - Zobrazuje se současně se žaludkem
- Pacient nesmí dostat Chlorigen!!
- Detekovatelnost > 2 cm<sup>2</sup>, senzitivita > 85%
- Podezření na přítomnost divertiklu (ektopické žaludeční sliznice) - zejména u dětí
  - Bolesti břicha
  - Krvácení do GIT

## Provedení

- Pacient lačný (4 h), ne baryová kaše 3-4 dny
  - Lze provést i akutně bez přípravy
- Detektor nad trupem
  - Žaludek v horní části zorného pole
- 500 MBq  $^{99m}\text{Tc}$  pertechnetátu i.v.
- Dynamika 1 minutu (60 obrazů)
  - Pro případ aktivního krvácení
- Série statických obrazů po 5-10 min. ANT
  - Do celkového času cca 60 minut

## Meckelův divertikl



## Vyšetření motility trávicí trubice

- Používají fyziologickou stravu
- Velmi nízká radiální zátěž
- Obecné indikace
  - Dysfagie, dyspepsie horního typu
  - Regurgitace, pyroza
  - Smíšené choroby pojiva (kolagenózy)
  - Astma, chronická bronchitida (u dětí)
  - Hodnocení viscerální neuropatie diabetiků

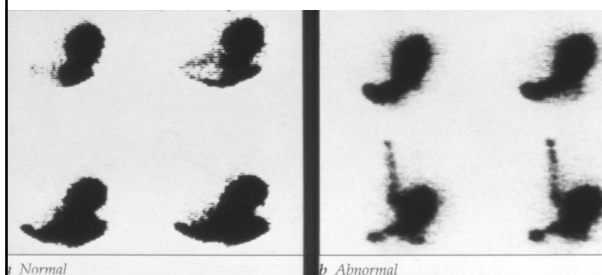
## Dynamická scintigrafie jícnu tranzit jícnem

- Tekuté sousto metodou jednoho polknutí
  - $^{99m}\text{Tc}$  SFK v 10 ml ovocné šťávy
- Pacient lačný, vleže na zádech
- Detektor RAO nad hrudník, marker do jugula
- Dynamika 60 obrazů po 1 sec (ale i vyšší časové rozlišení)
- Záznam současně s polknutím

## Gastroesofageální reflux

- Následuje po předchozím vyšetření
- Nutno vyprázdnit jícen
  - vypít tekutinu bez radioaktivity
- Série statických obrazů
  - manžeta tonometru kolem břicha, postupně tlak na 40, 80 a 120 mm Hg
- Dynamická studie
  - zvyšování tlaku o 5 - 10 mm Hg po 2 min.
- Pozdní obrazy při podezření na aspiraci
  - u astmatiků a bronchitiků

## GER



Tlak v manžetě 0, 40, 80 a 120 mm Hg

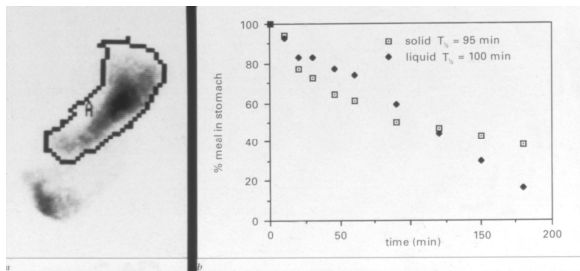
## Evakuace žaludku

- Využívá fyziologickou situaci - vlastní stravu
  - rizoto, krupička, ovesná kaše, smetanová omáčka, vejce, hamburger, banány
- Ideální strava standardní
- Vyšetření v době oběda
- Možnost současného vyšetření pomocí tekuté a tuhé stravy
  - tekutina označena  $^{111}\text{In}$  DTPA

## Provedení

- Pacient nalačno
- Vynechat léky ovlivňující motilitu trávicí trubice, alkohol, kouření
- Jídlo sní obvykle v průběhu 5 - 10 min.
- Vsedě nebo pololeže, detektor nad břicho
- Série statických obrazů 60 - 90 minut
- Nebo dynamika 60 minut
- Záznam dat do počítače pro kvantifikaci

## Evakuace žaludku kvantifikace



## Krvácení do GIT

- Metodou první volby je endoskopie (80% akutních krvácení je z **horní** části GIT)
- Problém krvácení z dolní části GIT
  - Nejčastější příčina
    - divertikly tlustého střeva, polypy, tumory, ischemie, angiodysplazie
  - Je intermitentní
  - Špatná lokalizace – špatná chirurgie

## Scintigrafie

- Neinvazivní, bezpečná
- Může zobrazovat dlouhou dobu (hodiny)
- Vysoce citlivá
  - K detekci postačuje krvácení  $< 0,3$  ml/min
- Detekuje arteriální i žilní krvácení

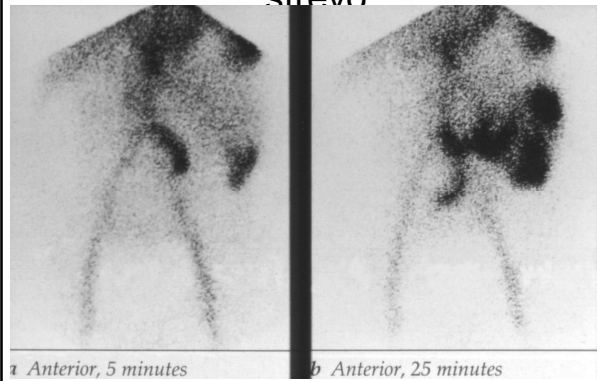
## $^{99m}\text{Tc}$ erytrocyty

- Metoda vyžaduje značení in vitro
  - Efektivita  $> 95\%$
- Doba na vyšetření  $> 24$  hodin
- Minimální krvácení  $0,15 - 0,3$  ml/min
  - 2 - 3 ml musí být mimo cévy

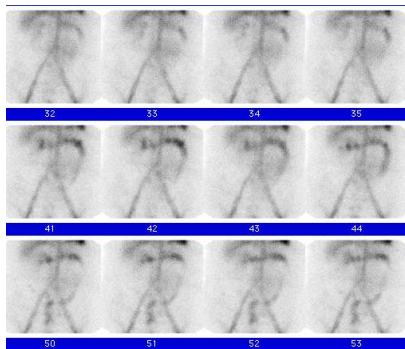
## Provedení

- 500 – 1000 MBq autologních ery i.v.
- Pacient vleže na zádech, detektor nad břicho a pánev shora
- Dynamická studie
  - 12 – 20 obrazů po 3 – 5 sec (1 minutu)
  - 60 - 90 obrazů po 1 minutě
  - Možno pokračovat až po 24 hodin
- Hodnocení při vysoké intenzitě obrazů

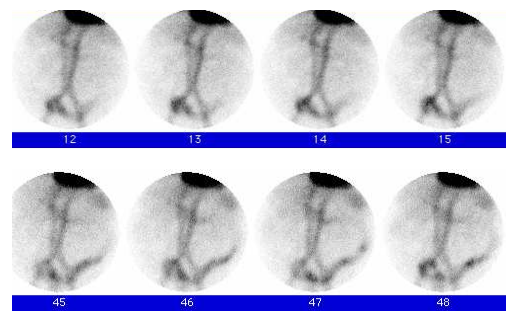
## $^{99m}\text{Tc}$ Ery – krvácení, tenké střevo



## $^{99m}\text{Tc}$ Ery – anterográdní tok



## $^{99m}\text{Tc}$ Ery – retrográdní tok

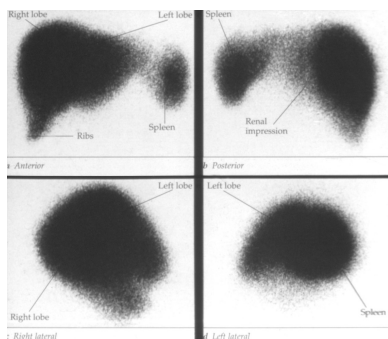


## Játra

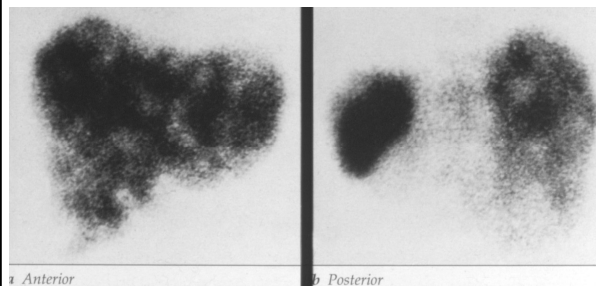
## Statická scintigrafie jater

- Indikace
  - Ložiskové procesy – studená ložiska
    - Metastázy různých nádorů
    - Cysty, abscesy, adenomy
  - Difuzní procesy – změna velikosti a distribuce RF – **prognostický význam**
    - Přesun mediálně a do sleziny (kostní dřeně)
    - Fibrózy, cirhózy, chron. hepatitidy

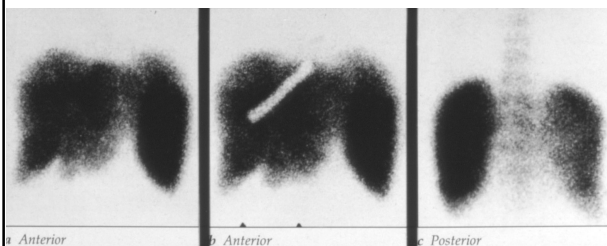
## Statická scintigrafie jater – normální obraz



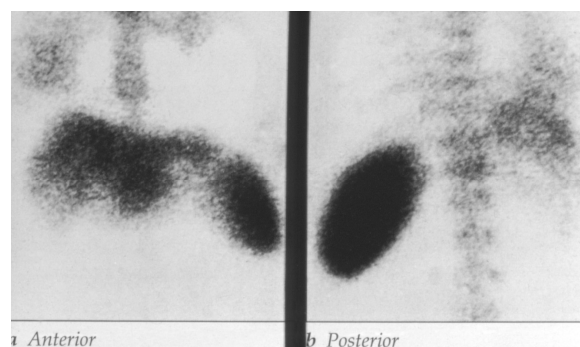
## Mnohočetné metastázy



## Difuzní proces – pokročilé stadium prognosticky ještě příznivé (velká játra)



## Difuzní proces – terminální stadium prognosticky nepříznivé



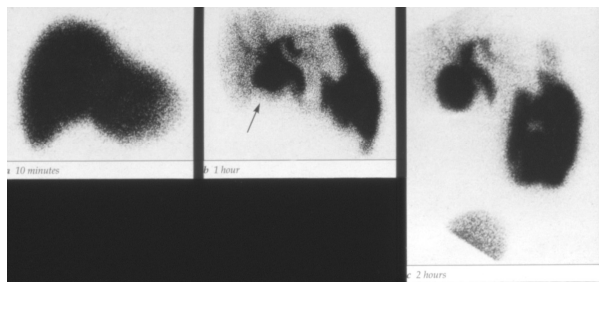
## Dynamická scintigrafie jater (cholescintigrafie) - indikace

- Vyšetření funkce hepatocytů
  - Clearanční metody
- Akutní cholecystitida
  - Neprůchodnost ductus cysticus
  - Nezobrazení žlučníku
  - Senzitivita 93-98%
- Možno provést i při vysoké hladině bilirubinu

## Dynamická scintigrafie jater (cholescintigrafie) - provedení

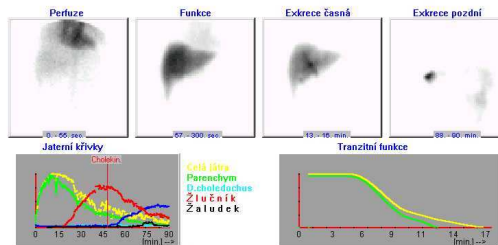
- Vleže na zádech, detektor nad srdcem, játry, střevem
- Aplikace 200 – 400 MBq  $^{99m}\text{Tc}$  IDA i.v.
- Dynamická studie, 90 minut, alimentární podnět (žloutek, mléko) k posouzení funkce žlučníku
- Farmakologické intervence
  - Morfin, cholecystokinin

## Žlučová píštěl po CHCE zejména laparoskopické



## Kvantitativní vyhodnocení

Komplexní matematické zpracování dynamické funkční scintigrafie jater a žlučových cest



Poločas clearance = 52 min.  
**GLOBALNÍ CLEARANCE = 4.06 ml/sec. = 3.74 ml/s/1.73m<sup>2</sup>**  
radioindikátorem

<b>CELÁ JÁTRA :</b>	<b>JATERNÍ PARENCHYM :</b>
Čas maxima = 12 min.	Čas maxima = 10 min.
Poločas exkrece = 13 min.	Poločas exkrece = 22 min.
Max. tranzit. čas = 15 min.	Max. tranzit. čas = 12 min.
E. F. žlučníku = 74 %	Duod.-Gastr. reflux = 9 %

## Horečnaté stavy

## Horečnaté stavy

- Radiofarmaka
  - orgánově specifická – zobrazují poškození příslušného orgánu (defekt funkční tkáně)
    - <sup>99m</sup>Tc difosfonáty - skelet
    - <sup>99m</sup>Tc DMSA - ledviny
  - orgánově nespecifická – akumulují se přímo v zánětlivé tkáni (trochu i nádory, rány, hematomy)
    - <sup>67</sup>Ga citrát – infekční i neinfekční i nádory
    - značené leukocyty - pyogenní
    - <sup>99m</sup>Tc IgG – neinfekční
    - <sup>18</sup>F-FDG

## <sup>67</sup>Ga - technika vyšetření

- Aplikace 150-180 MBq
  - vysoká energie, dlouhý poločas, vysoká absorbovaná dávka, horší kvalita obrazů
- Záznam dat za 4-6 hodin a dále po 24 hod. 3-4 dny
- Kolimátor pro střední energie
- Záznam celotělové studie, cílených obrazů s jemnější maticí, SPECT

## Značené leukocyty vlastnosti

- Základní principy akumulace
  - pozitivní chemotaxe (nutno nepoškodit v průběhu značení)
  - rovněž hojící se rány i tumory
- Technika značení
  - in vitro - separace, pracná
  - in vivo - monoklonální protilátky
- Příprava pacienta
  - lačný vzhledem k práci s krví



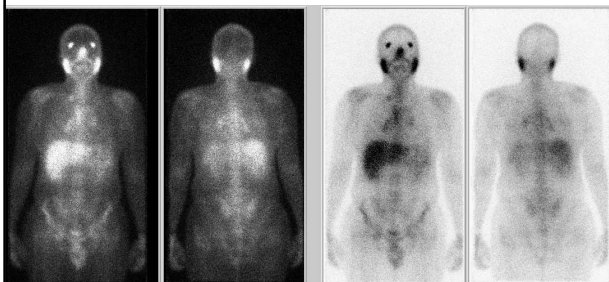
## Značené leukocyty technika provedení

- **Značení**
  - Odběr 60 ml krve (děti min. 12 ml) pro značení
  - Nutná separace, promytí, značení – cca 1,5 hod.
  - Značení  $^{99m}\text{Tc}$  HMPAO (300 – 500 MBq) nebo  $^{111}\text{In}$  oxin (20-40 MBq)
- **Záznam dat na kameře**
  - Po aplikaci za 30 min., 4-6 hod., 24 (48 In) hod.
  - Celotělová studie, cílené obrazy, SPECT

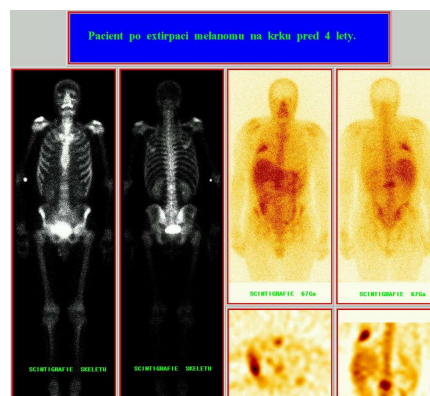
## $^{18}\text{F}$ -FDG

- Metabolický analog glukózy
  - Vstupuje do buněk, ale není metabolizována – hromadí se
- Zobrazování technikou PET
- Zvýšená spotřeba glukózy v metabolicky aktivních tkáních (zánět, tumor)
- Slouží podobně jako  $^{67}\text{Ga}$  k lokalizaci patologického procesu
- Mnohem lepší polohové rozlišení proti SPECT (kvalitnější obrazy)

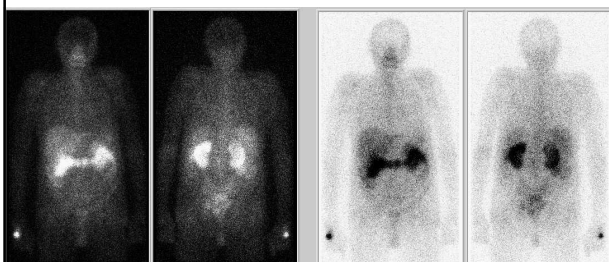
## $^{67}\text{Ga}$ – sarkoidóza panda-sign



## $^{67}\text{Ga}$ - tuberkulóza



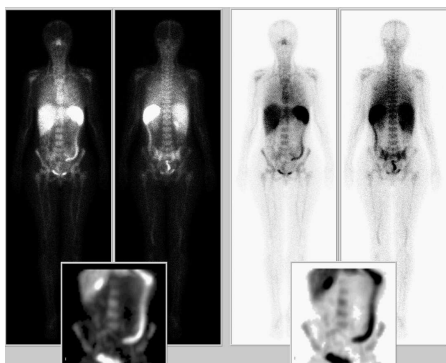
## $^{67}\text{Ga}$ - urosepse



Značené  
leukocyty  
fyziologická  
distribuce



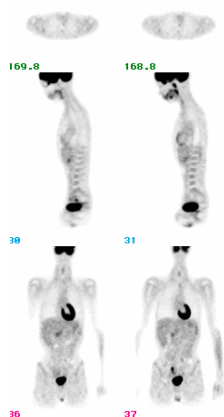
### Značené leukocyty colitis ulcerosa



### Značené leukocyty colitis ulcerosa nebo m. Crohn?



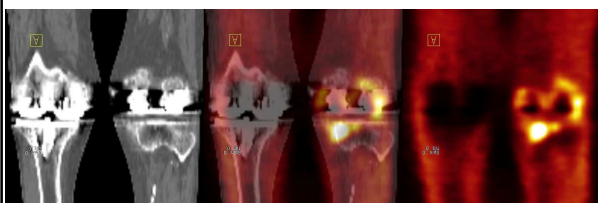
### $^{18}\text{F}$ -FDG normální distribuce



### Infekce cévní protězy



### Infekce endoprotězy



Děkuji za  
pozornost