



1. LÉKAŘSKÁ FAKULTA  
UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE

VŠEOBECNÁ FAKULTNÍ  
NEMOCNICE V PRAZE



# „QUO VADIS“ nukleární medicína?

Valtické kurzy radiologie  
Valtice 31. 8. – 2. 9. 2017

Jozef Kubinyi

*ÚNM VFN Praha*  
*1. Lékařská fakulta UK*

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# ÚVOD

Na začátku byla jenom jedna

# **RADIOLOGIE**

**(věda o záření)**

**Wilhelm Conrad Röntgen 8. listopadu  
1895 na Univerzitě ve Würzburgu –  
paprsky X**

**Obecně:**  
**RADIOLOGIE** = věda o záření

**Speciálně v medicíně:**  
**RADIOLOGIE** = využití záření pro diagnostiku a terapii

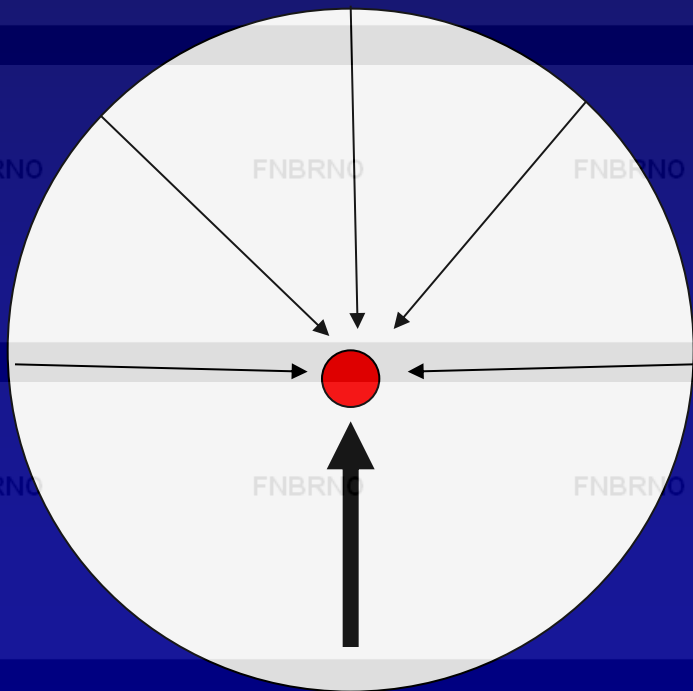
## IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ V RADIOLOGII



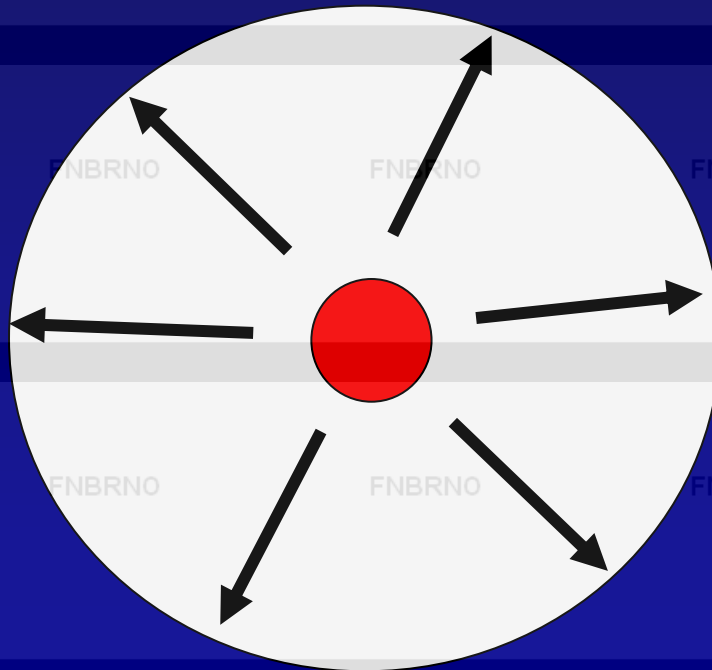
# RADIODIAGNOSTIKA RADIOTERAPIE

# NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA

Zdroj záření je mimo tělo



Zdroj záření je uvnitř těla



# Nukleární medicína („jaderní lékařství“ 😊)

- 1) Záření vychází z jádra atomu
- 2) Využívá otevřené zářiče
- 3) Využívá stopovací princip
- 4) Dnes součástí molekulárního  
a hybridního zobrazování
- 5) Obsahuje diagnostiku i terapii

**Tracer principle** - 1920 studium metabolických procesů u rostlin i zvířat pomocí radioaktivních izotopů.

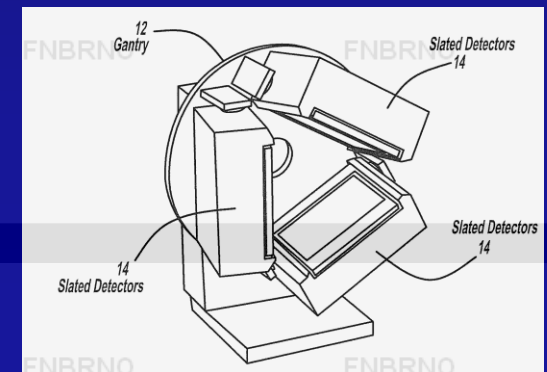


**Georg Karl von Hevesy,  
Nobelova cena za chemii 1943.**

# EMISE

## 4 pí geometrie

Planar, SPECT, PET  
(řádově  $10^5$  imp. – ROZLIŠENÍ!)



# RADIOFARMAKA

**Radiofarmakum (Radiofarmakon)**  
**Dvě molekuly:**

**RADIO**  
**– AKTIVNÍ**

**BIOLOGICKY**  
**– AKTIVNÍ**

**„VIDÍME“**

**KDE?**

**NEBO ÚČINEK**  
**U TERAPIE**



# RADIOFARMAKA

## DEFINICE:

Radiofarmaka jsou léčivé přípravky obsahující vázaný radionuklid.

$\gamma$  zářiče pro diagnostiku

$\alpha, \beta$  zářiče pro terapii

Musí splňovat všechna kritéria

Zákona o léku

Atomového zákona

# RADIOFARMAKA

**Nejsou kontrastem – bez RF  
nelze provést NM vyšetření!!!**

**Září pacient, ne přístroj!**

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# HISTORIE NM

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# Historie NM základy:

## Přirozená radioaktivita

Henri Becquerel,  
Maria Curie Skłodowska,  
Pierre Curie

1896

## Stopovací princip

George de Hevesy

1919

Umělá radioaktivita  
manželé Joliot-Curie

1934

# Historie NM mezníky:

**Vyléčení prvního pacienta  
s metastazujícím ca štítné žlázy** 1946

**První pohybový scintigraf**  
**Benedict Cassen** 1951

**První scintilační kamera**  
**Hal Oscar Anger** 1957

**Society of Nuclear Medicine (USA)** 1954

**AMA – NM samostatný med. obor** 1972

# Historie NM orgánově:

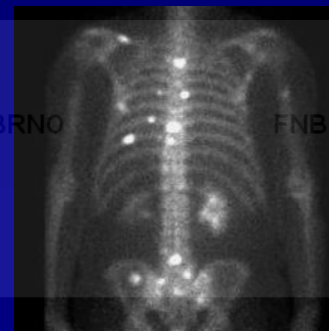
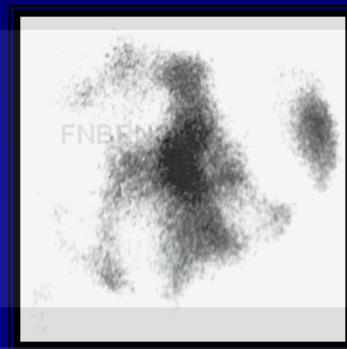
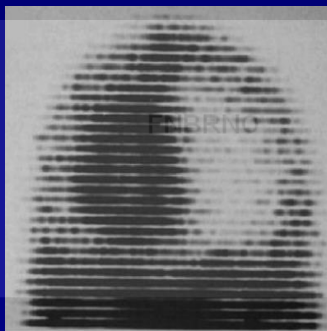
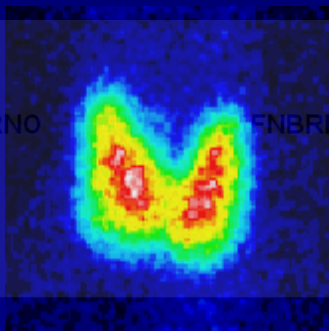
Štítná žláza

50-60

Játra, slezina, mozkové tumory  
Negativní kontrast

60-70

Srdce, mozek, plíce, ledviny, nádory 80-



# Historie v ČSR a ČR:

Úplné začátky

1945 -1950

Výzkumný ústav endokrinologický  
Doc. MUDr. Karel Šilink, DrSc.

IKEM

Doc. MUDr. Bohuslav Vavrejn, CSc.

FN Olomouc

Doc. MUDr. Miloš Wiedermann, CSc.

FN Brno

Doc. MUDr. PhMr. Josef Dohnálek

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# SOUČASNOST

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

ČR

## 43 oddělení NM

PET/CT – 16 ks

PET/MR – 2 ks

SPECT – cca 100 ks  
(cca 60% s CT)

Lůžka – 5 oddělení

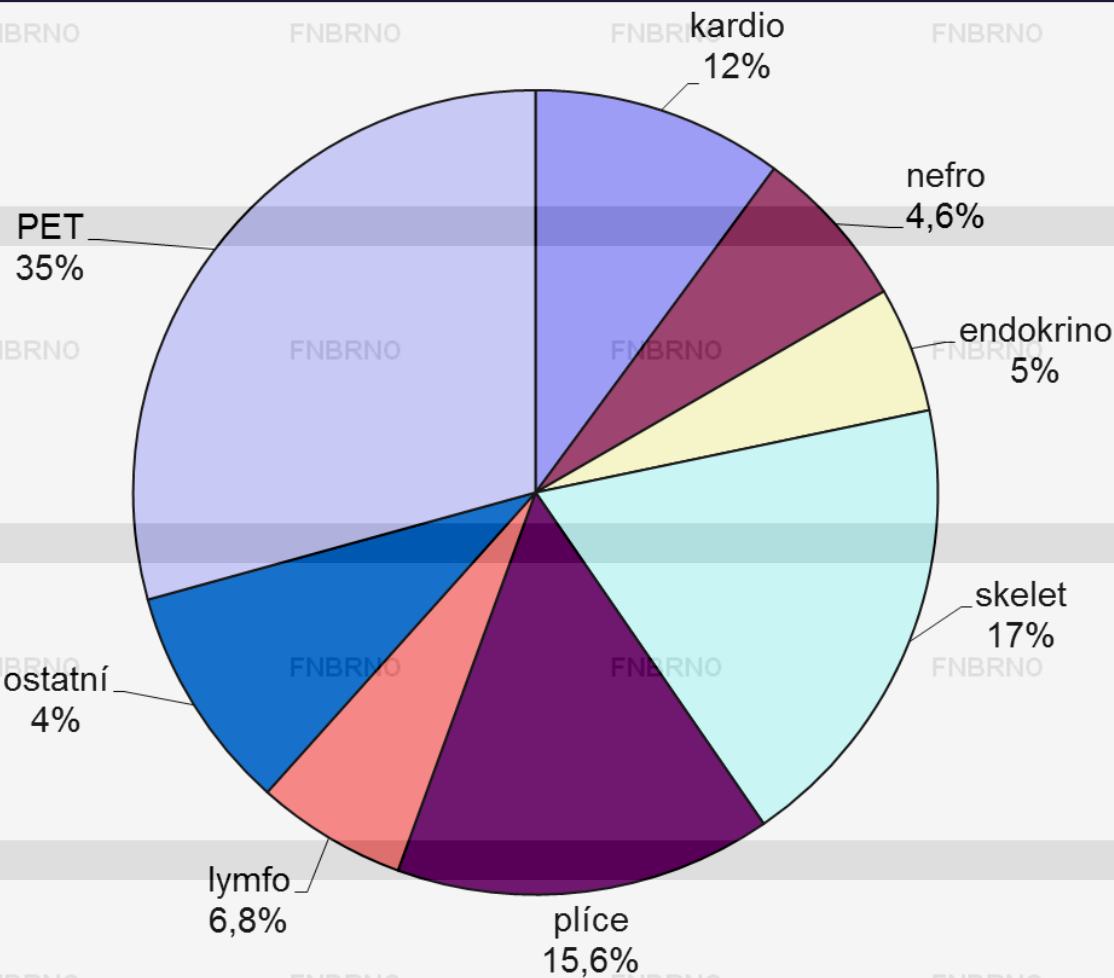
# NM v EU:

|                    |      |
|--------------------|------|
| Samostatně         | 70 % |
| Součást radiologie | 20 % |
| Jiné (Skandinávie) | 10 % |





# Typy vyšetření v NM a jejich zastoupení



# Vyšetření PET

**Onkologie** 95 %

**Ostatní** 5 %

**FDG** 95 %

## 15 registrovaných RF v EU

|              |                  |
|--------------|------------------|
| <b>FCH</b>   | <b>cholín</b>    |
| <b>FD</b>    | <b>dopa</b>      |
| <b>FLT</b>   | <b>thymidin</b>  |
| <b>FMISO</b> | <b>imidazol</b>  |
| <b>FES</b>   | <b>estrogeny</b> |
| <b>F</b>     | <b>fluorid</b>   |

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

Vývoj NM:

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

Planar  
SPECT  
SPECT/CT

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

ANT

POST

FNBRNO

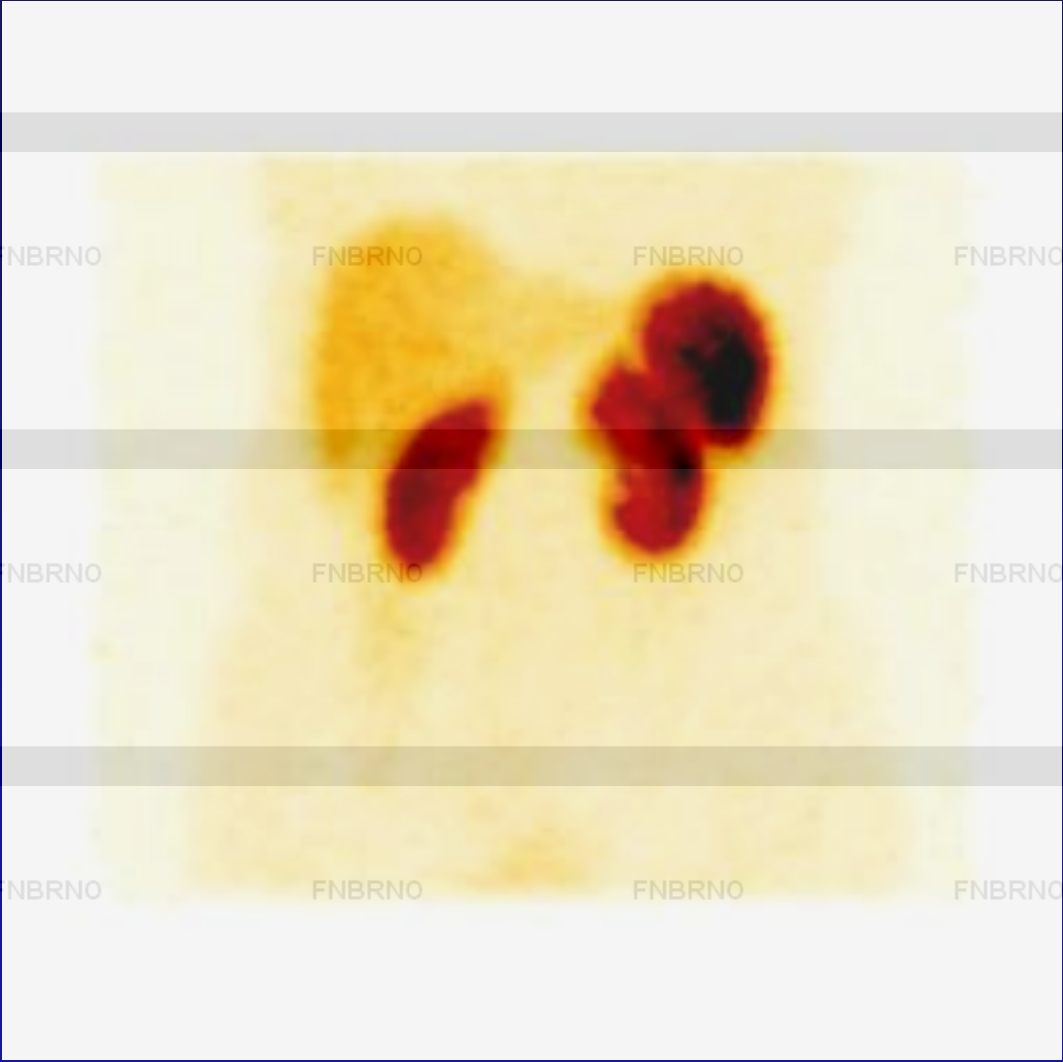
FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO



A

x1.20

S

x1.20

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

R

L

R

L

FNBRNO

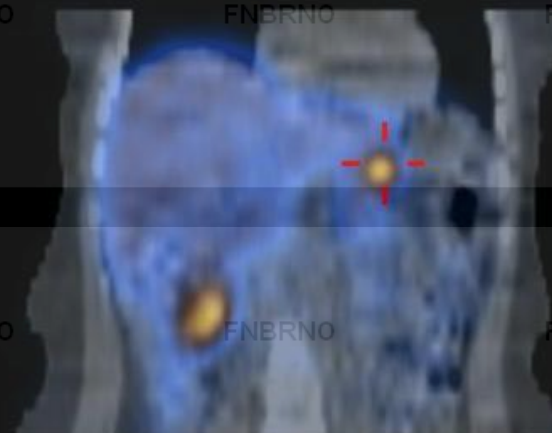
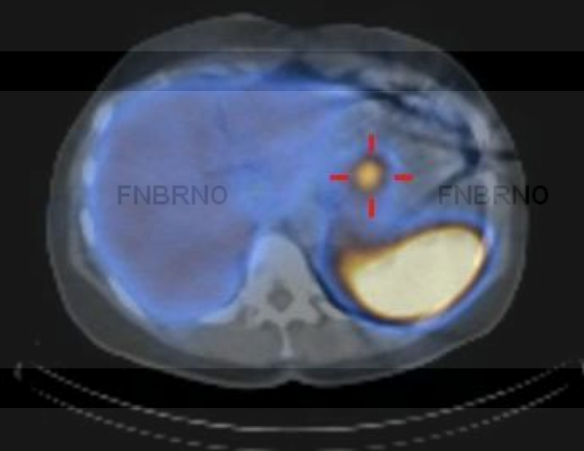
FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO



FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

P

I

Fused Transaxials

Fused Coronals

S

x1.20

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

A

P

FNBRNO

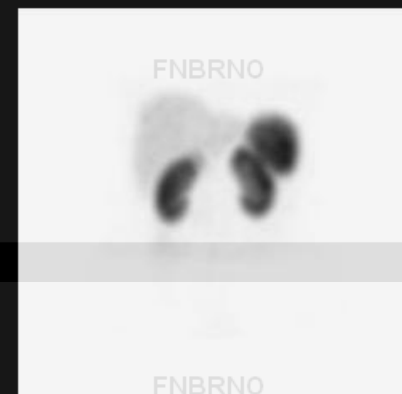
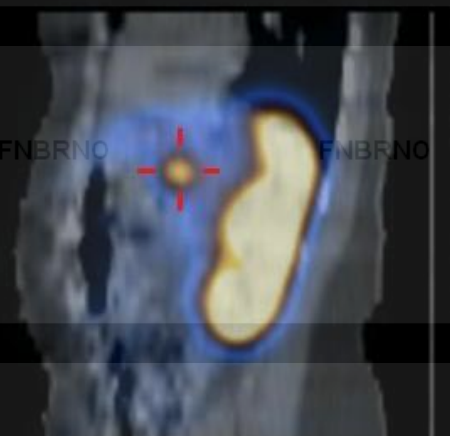
FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO



FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# BUDOUNOST

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# METODIKA

**Důležité je mít spolehlivou  
metodiku pro předpovídání  
budoucnosti !!!**

# METODIKA



MOLEKULÁRNÍ  
ZOBRAZOVÁNÍ

INOVACE V NM

HYBRIDNÍ  
ZOBRAZOVÁNÍ

TERANOSTIKA

# MOLEKULÁRNÍ ZOBRAZOVÁNÍ

# MOLEKUKLÁRNÍ ZOBRAZOVÁNÍ

Není nukleární medicína, ale obsahuje jí v sobě jako součást.

Zobrazování v nukleární medicíně je molekulárním zobrazováním.

Molekulární zobrazování umožňují (časem budou umožňovat) i jiné modality – MR spektroskopie...).

# DEFINICE:

Molekulární zobrazování je nová disciplína,  
umožňující:

- zobrazování

- **charakterizování**

- kvantifikování

biologických procesů na molekulární a  
celulární úrovni uvnitř živého organismu.

**Molekulární zobrazování reflektuje**  
**celulární a molekulární**  
**mechanizmy**  
**a**  
**cesty**  
**onemocnění**

**Klíčové u molekulárního zobrazení je, že umožňuje odhalit velmi časně změny na metabolické úrovni, které předcházejí změnám morfologickým.**

**Před érou molekulárního zobrazení bylo možné dokumentovat až „konečné“ makroskopické morfologické efekty onemocnění.**

Rýsují se mnohé možnosti uplatnění –  
zejména v onkologii, kardiologii,  
neurologii.

Základem je **multidisciplinární přístup**,  
využívající současně například –  
buněčnou molekulární biologii, chemii,  
farmakologii, fyziku, biomatematiku,  
bioinformatiku...

Základním principem však  
zůstává „**tracer principle**“ kdy  
ke značení biologicky aktivní  
molekuly můžeme použít  
prakticky cokoliv, co lze  
snímat zvenčí v průběhu  
biologického děje.



# PET

**Typ přenosu informace:**

**Vysokoenergetické fotony**

**Výhody:**

**Vysoká senzitivita, náhrada biologicky  
potřebných atomů, možnost kvantifikace**

**Nevýhody:**

**Potřeba cyklotronu, nižší rozlišení, zátěž  
zářením**

# SPECT

**Typ přenosu informace:**

**Nízko a středně energetické fotony**

**Výhody:**

**Vysoká senzitivita, náhrada biologicky  
potřebných atomů, možnost kvantifikace**

**Nevýhody:**

**Nízké rozlišení, zátěž zářením**

# OPTICAL BIOLUMINESCENCE IMAGING

## OPTICAL FLUORESCENCE IMAGING

Typ přenosu informace:

Viditelné až infračervené světlo

Výhody:

Vysoká senzitivita, levné, rychlé k použití

Nevýhody:

Nízké rozlišení, neprochází větší vrstvou

**Typ přenosu informace:  
Magnetické vlnění**

**Výhody:**

**Vysoké prostorové rozlišení, možnost  
kombinace morfologického a funkčního  
zobrazení**

**Nevýhody:**

**Nízká senzitivita, dlouhá doba snímání,  
relativně vysoká cena**

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# MR SPECTROSKOPY:

## PUB MED:

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

Search results

Items: 1 to 20 of **209 839**

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

**US**

**Typ přenosu informace:**

**Vysokofrekvenční zvuk**

**Výhody:**

**Rychlost („real time“), nízká cena**

**Nevýhody:**

**Nízké prostorové rozlišení, neprochází  
tlustou vrstvou, nejsou dostupné  
„kontrasty“ (mikrobubliny)...**



FNBRNO

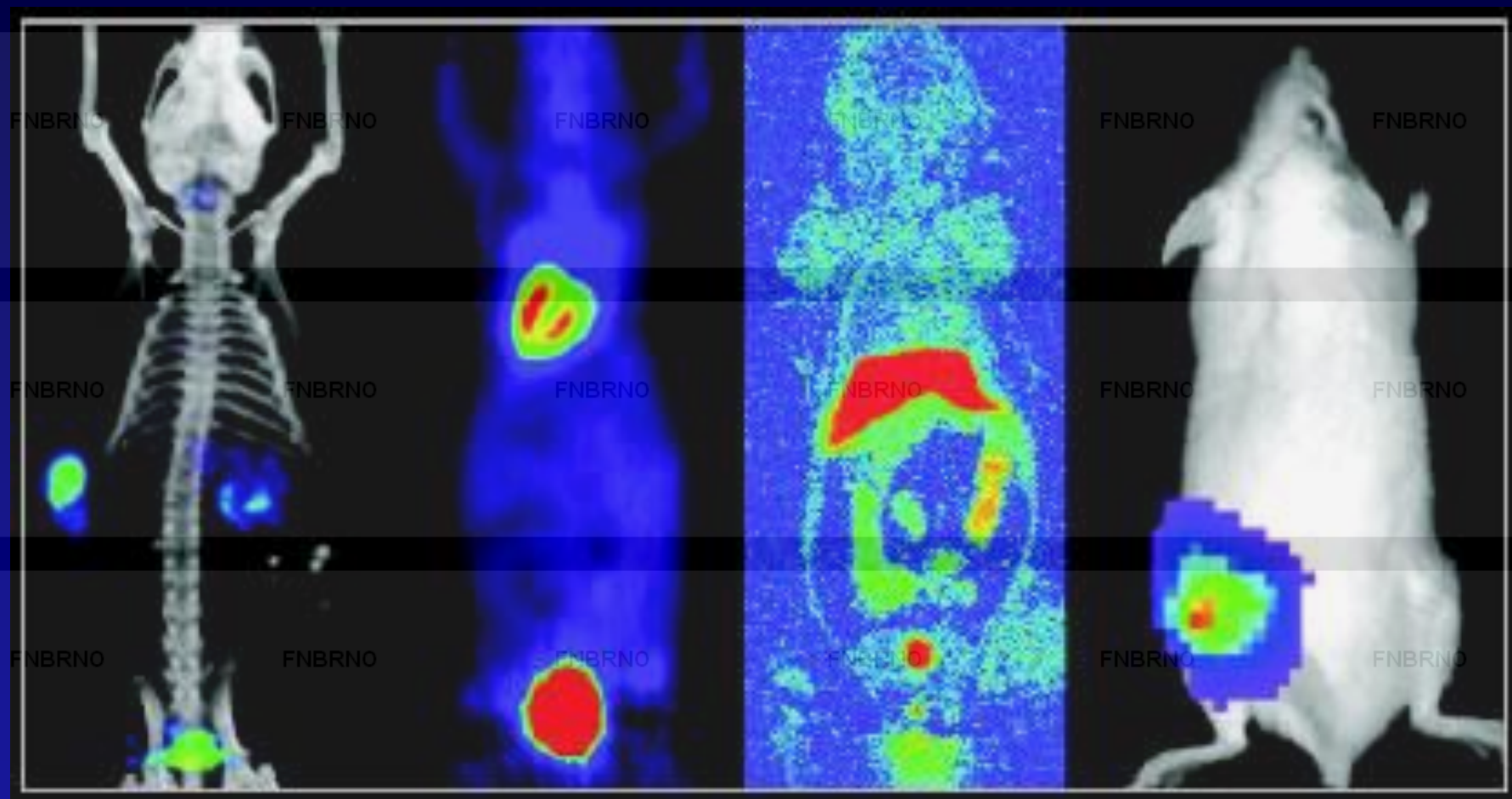
FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO



FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# INOVACE V NM:

## Zářiče

## Radiofarmaka

## Přístroje

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

PET

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

| Nuklid           | Poločas    |                           | 1000 |
|------------------|------------|---------------------------|------|
| $^{18}\text{F}$  | 109.7 min. | FDG                       | 100  |
| $^{68}\text{Ga}$ | 68 min.    | generátor                 |      |
| $^{11}\text{C}$  | 20.4 min.  | biogenní                  |      |
| $^{13}\text{N}$  | 9.96 min.  | biogenní                  |      |
| $^{15}\text{O}$  | 2.04 min.  | biogenní                  |      |
| $^{82}\text{Rb}$ | 76 sec.    | perfuze myokardu          |      |
| $^{124}\text{I}$ | 4.18 dne   | štítná žláza              |      |
| $^{44}\text{Sc}$ | 3.9 h      | nahradí $^{18}\text{F}$ ? |      |
| $^{64}\text{Cu}$ | 12.7 hod.  | -“-                       |      |

**FES** (17 –  $\beta$  – oestradiol)

estradiol receptor (breast)

**FMT** (fluoro –  $\alpha$  - methyl – tyrosine)

not significantly incorporated into inflammatory cells

**MET** (methyl – L – methionine)

metabolism of intracerebral lesions

**FBAU** (2' – deoxy - 2' - [18F] fluoro – 5 – bromo - 1- beta – D – arabinofuranosyluracil)

proliferation marker

**FETNIM** (fluoroerythronitroimidazole)

hypoxia marker

**FAZA** (Fluoroazomycinarabinofuranoside)

hypoxia marker

**FU** (fluorouracil)

pretherapy evaluation

**Fluoropropionyl octreotide**

somatostatine receptor ligand

**5-fluoro-2-deoxyuridine**

proliferation marker

EANM, Helsinki 2004

# PET tracers for prostate cancer

## Tracer Mechanism /Specificity

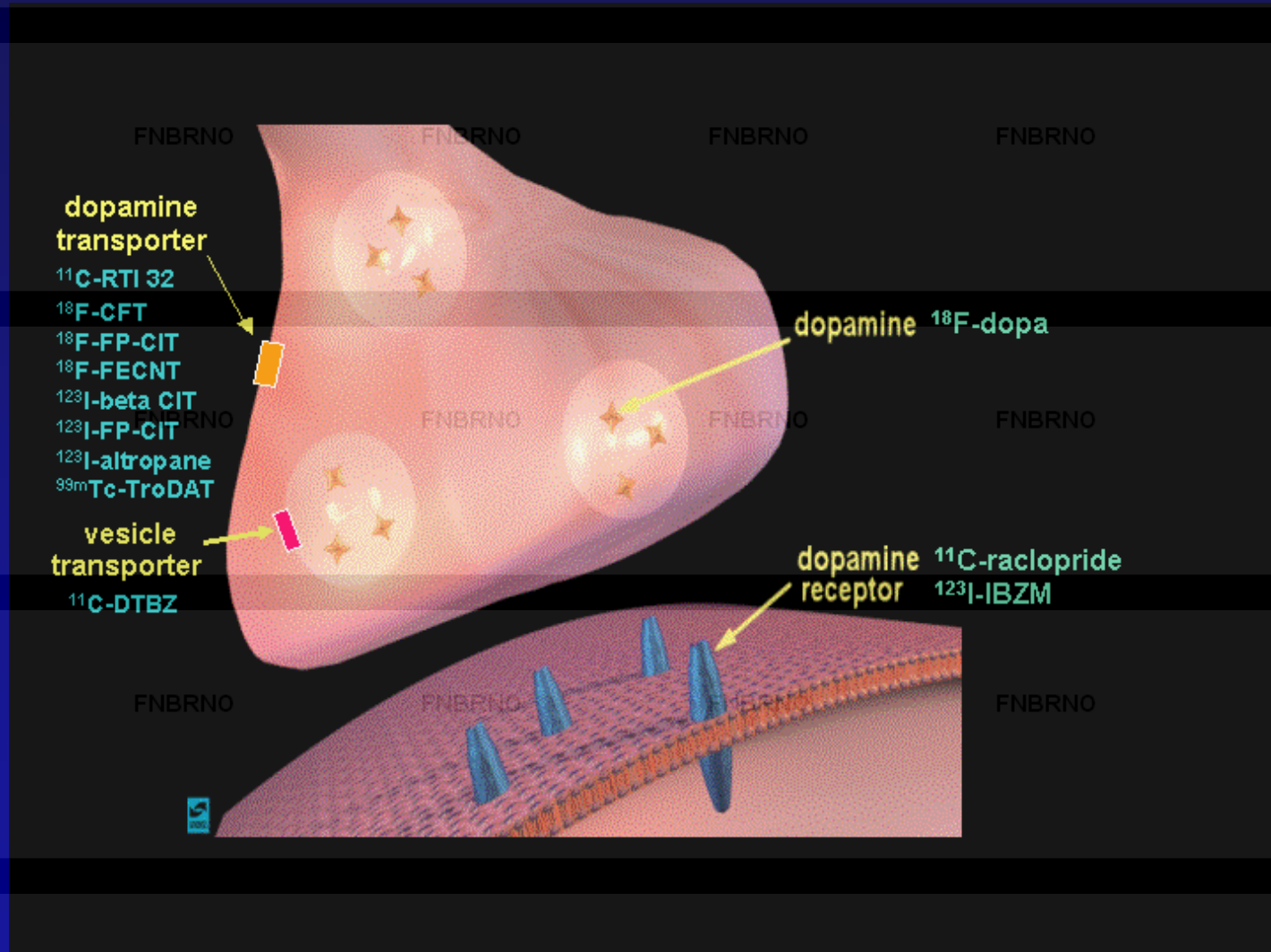
|                                                                         |                      |              |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------|
| <b><math>^{18}\text{F}</math>-FDG</b>                                   | Glucose metabolism   | Non-specific |
| <b><math>^{11}\text{C}/^{18}\text{F}</math>-choline</b>                 | Lipid metabolism     | Non-specific |
| <b><math>^{11}\text{C}/^{18}\text{F}</math>-acetate</b>                 | Lipid metabolism     | Non-specific |
| <b><math>^{18}\text{F}</math>-NaF</b>                                   | Calcium analog       | Non-specific |
| <b><math>^{11}\text{C}</math>-methionine</b>                            | Amino acid transport | Non-specific |
| <b><math>^{18}\text{F}</math>-FACBC</b>                                 | Amino acid transport | Non-specific |
| <b><math>^{18}\text{F}</math>-FLT</b>                                   | Cell proliferation   | Non-specific |
| <b><math>^{18}\text{F}</math>-FMAU</b>                                  | Cell proliferation   | Non-specific |
| <b><math>^{18}\text{F}</math>-FDHT</b>                                  | Androgen receptor    | Specific     |
| <b><math>^{18}\text{F}</math>-DCFBC</b>                                 |                      | Specific     |
| <b><math>^{64}\text{Cu}/^{89}\text{Zr}</math>-J591</b>                  |                      | Specific     |
| <b><math>^{68}\text{Ga}</math>-PSMA, others (inhibitors/antibodies)</b> |                      | Specific     |

# Zobrazení receptorů a transportérů CNS

Princip: na receptory a transportéry se neváže jen transmittér, ale i léky a **diagnostické ligandy**

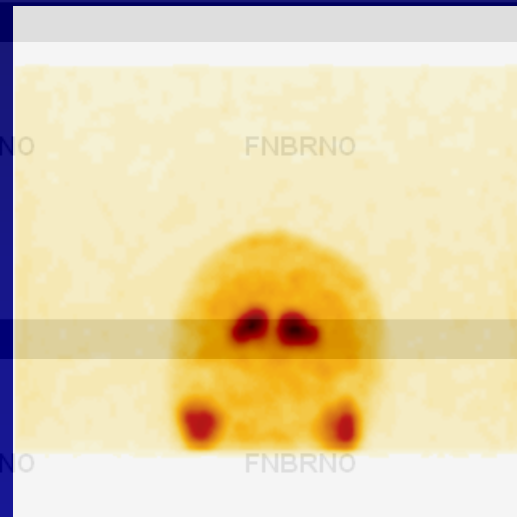
- 1) přínos pro **diagnostiku** některých neurologických a psychiatrických onemocnění
- 2) monitorování **efektu léčby**
- 3) zhodnocení účinku a **účinnosti léků**

# Schéma dopaminové synapse



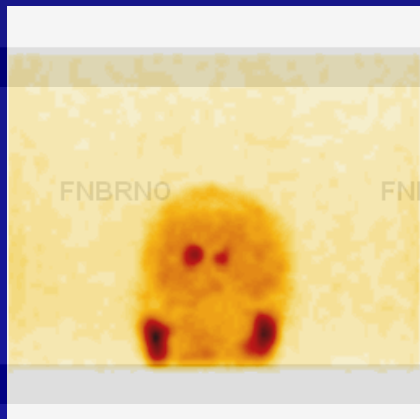
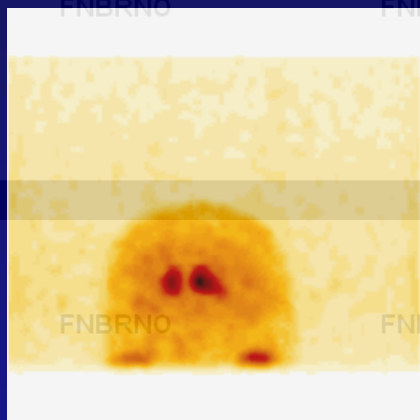
# Denzita D – transportérů

## Normal



# Denzita D – transportérů

## Nesymetrická redukce

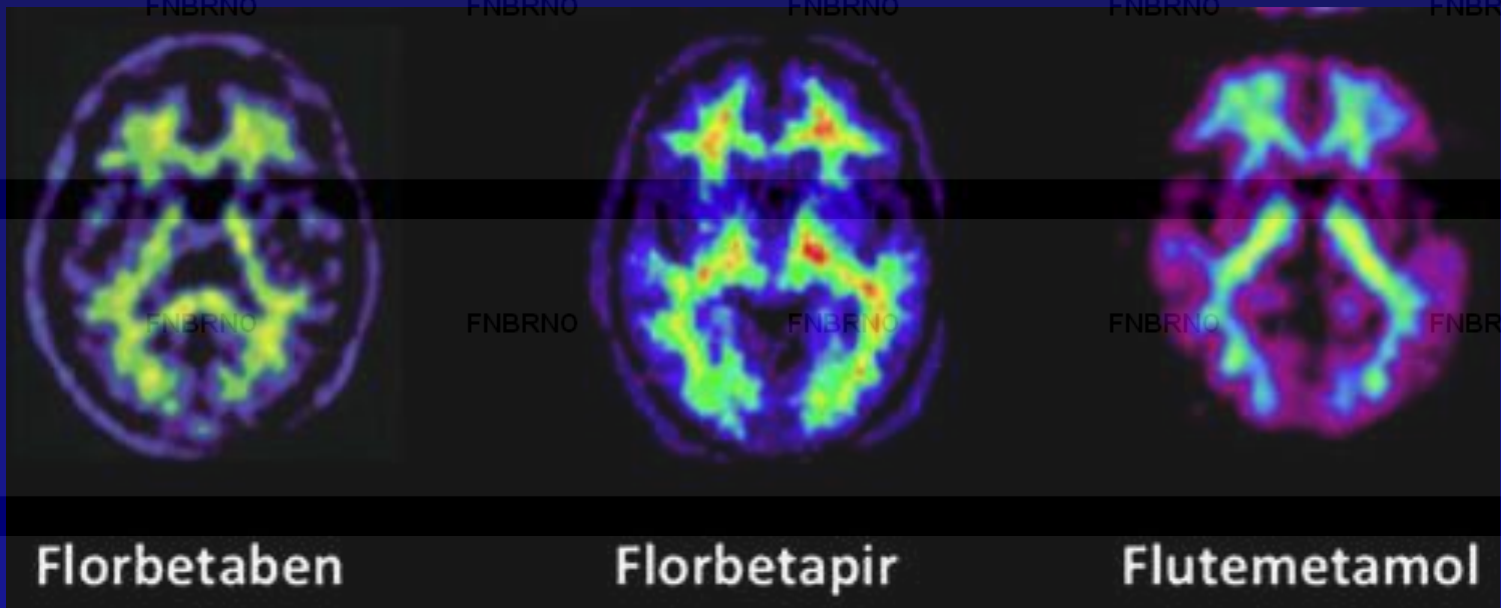


# Zobrazení beta amyloidu u Alzheimerovy nemoci

Princip: na beta amyloid se naváže  
**diagnostický ligand**

Do budoucna se počítá se zobrazováním  
**tau proteinopatii**

# NORMÁLNÍ ZOBRAZENÍ MOZKU $^{18}\text{F}$ -LIGANDY



# PATOLOGICKÉ OBRAZY MOZKU

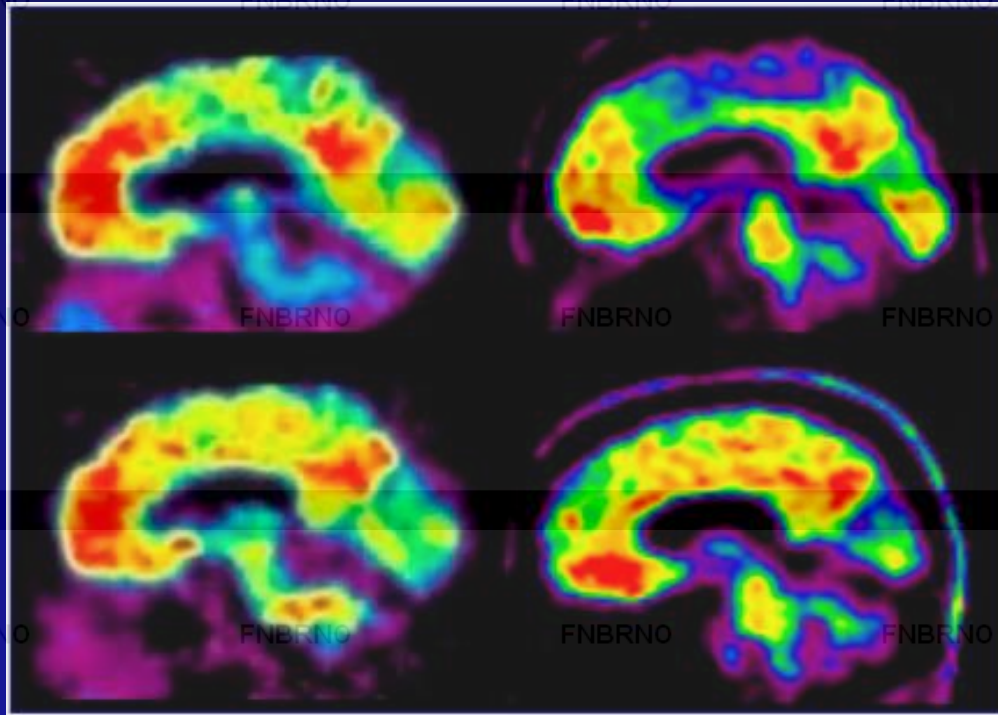
## $^{18}\text{F}$ -ligandy

$^{11}\text{C}$ -PIB

$^{18}\text{F}$ -NeuraCeq

$^{18}\text{F}$ -Vizamyl

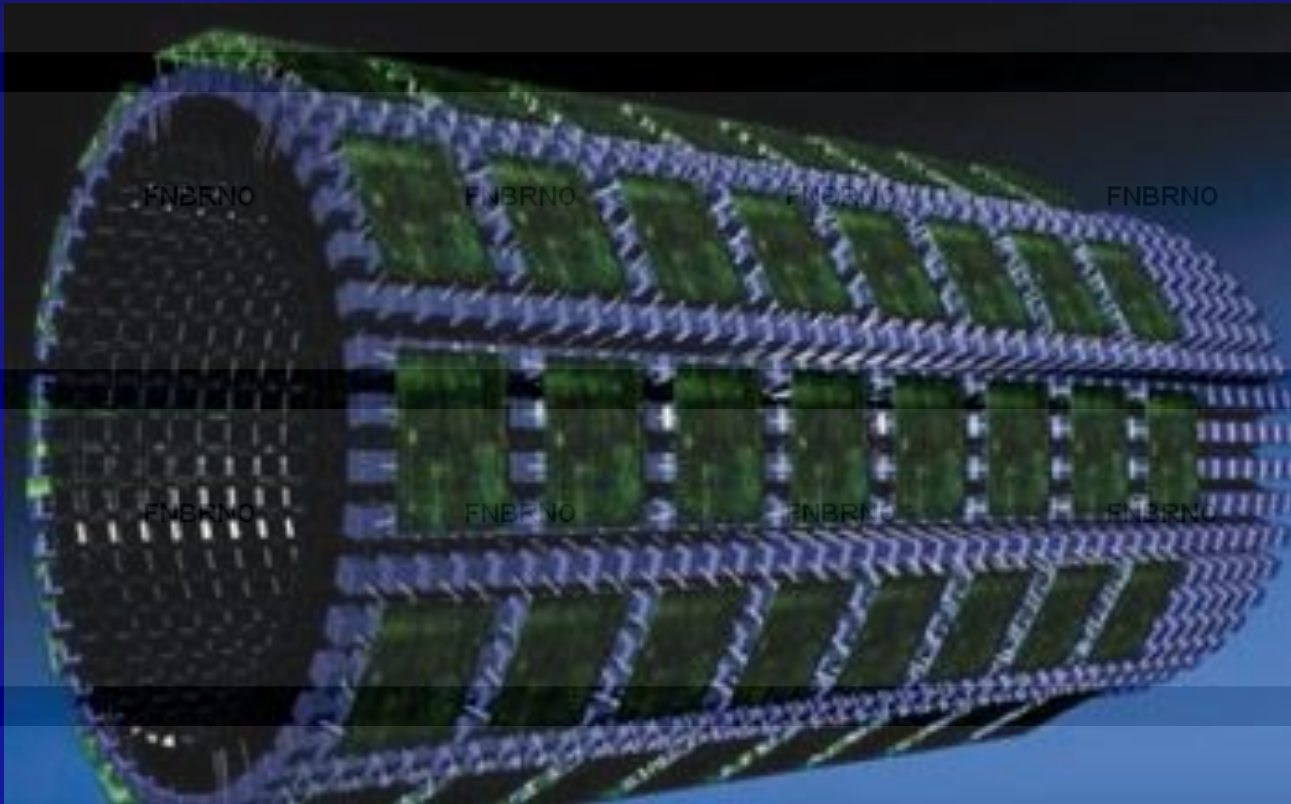
$^{18}\text{F}$ -Amyvid



# Nové polovodičové detektory

## Celotělový PET

## Dynamický PET



# Portable PET



# SPECT

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# Plnohodnotné CT „one stop shop“

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# Siemens



# GE

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# Dedikované kamery

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

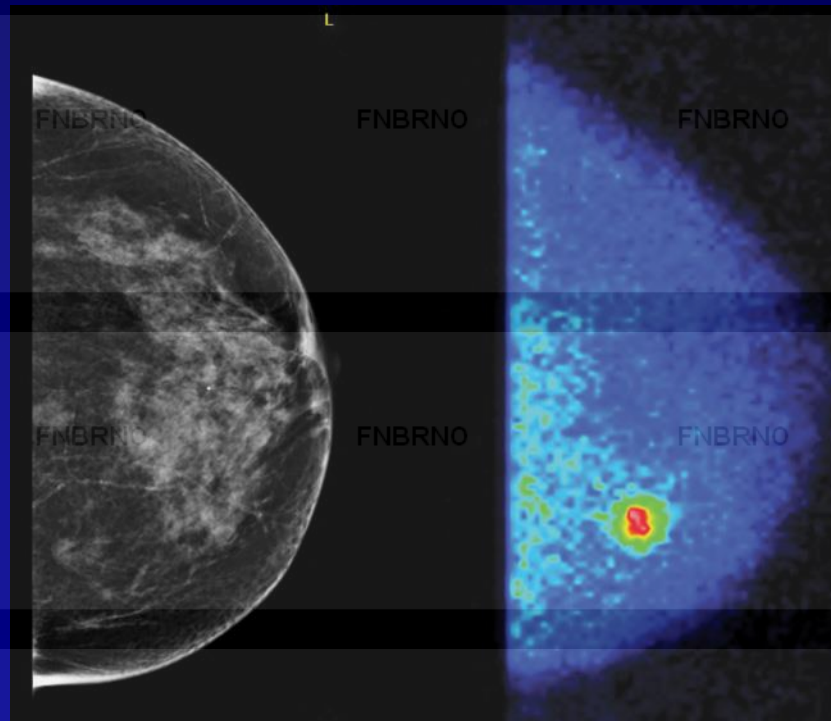
FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# MOLECULAR BREAST IMAGING



# D-SPECT Cardiac Imaging System firmy Spectrum-Dynamics





New Generation Proprietary **BroadView™** Technology

# Nová „obecná“ SPECT kamera



FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# Cadmium zinc telurid detektory

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

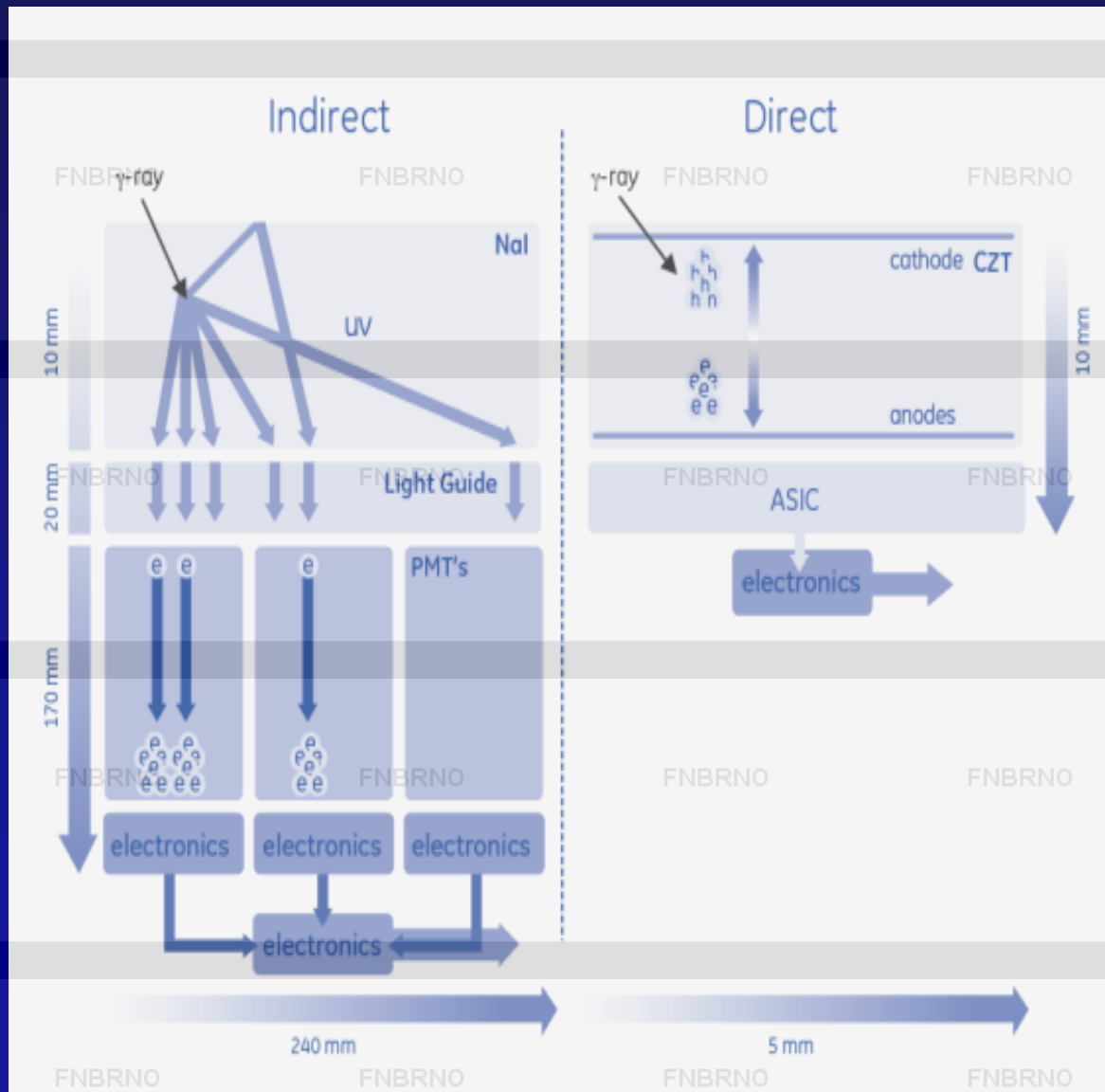
FNBRNO

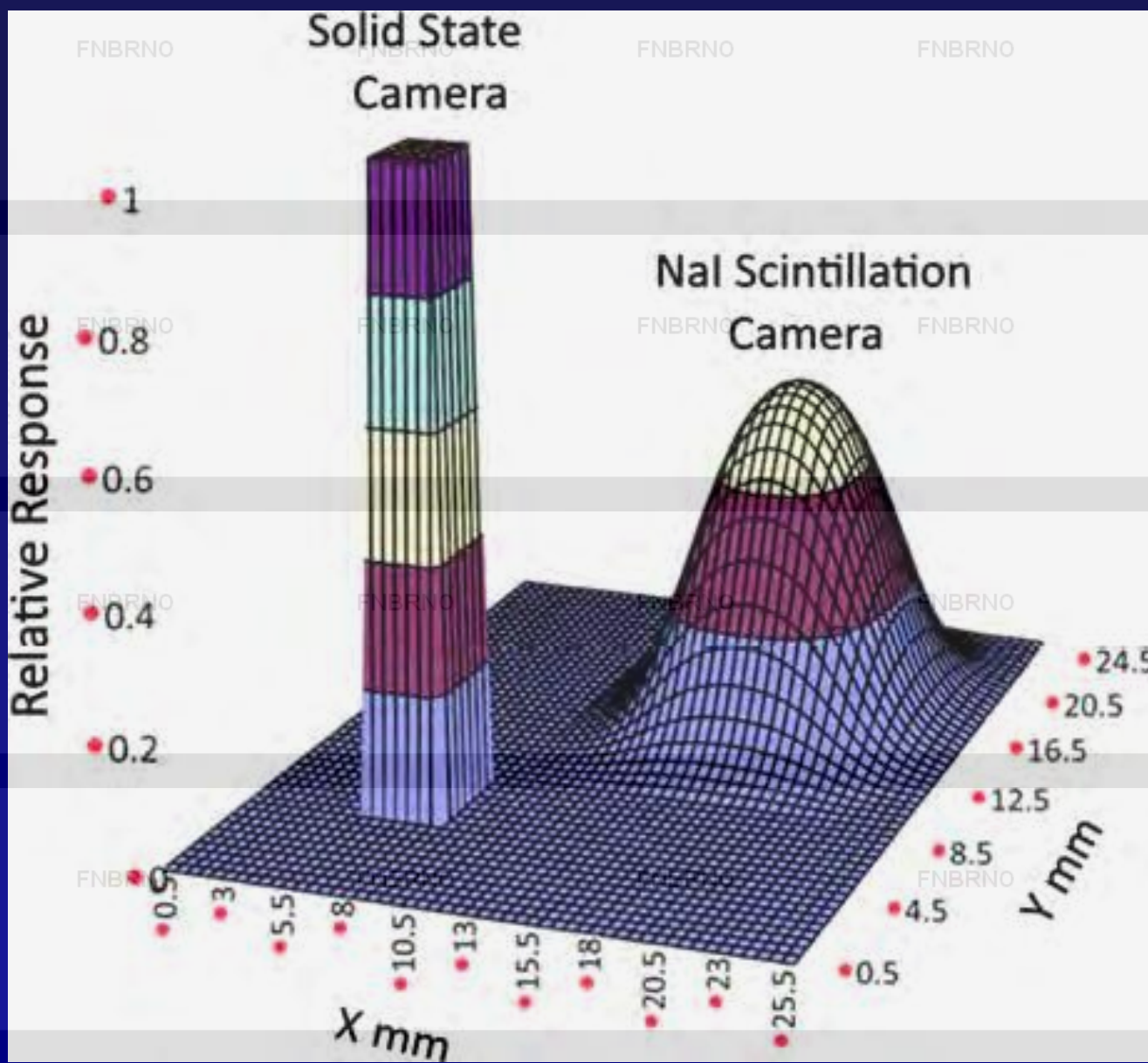
FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# CZT detektor





**Advances in SPECT camera software and hardware: Currently available and new on the horizon**  
 E. Gordon DePuey, J Nucl Cardiol 1071-3581, © 2012

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# Nová radiofarmaka

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# Nová radiofarmaka pro SPECT

Theranostics. 2017 Jun 15;7(9):2392-2401.

## Visualization of Tumor-Immune Interaction - Target-Specific Imaging of S100A8/A9 Reveals Pre-Metastatic Niche Establishment.

Eisenblaetter M, Flores-Borja F, Lee JJ<sup>et</sup> all.

King's College London, Guys Hospital London, University Hospital Muenster, Germany

We report the application of antibody-based **single-photon emission computed tomography (SPECT)** for detection of S100A8/A9 in vivo as an imaging marker for pre-metastatic tissue priming.

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

**99mTc:**  
**30 mil. vyš. ročně**

# Reactor

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

Current targets

Anticipated 99Mo production weeks/year

Available capacity per week/year

End of work

| FNBRNO             | FNBRNO | FNBRNO | FNBRNO | FNBRNO  | FNBRNO |
|--------------------|--------|--------|--------|---------|--------|
| BR-2 (HEU) BELG    | HEU    | 27     | 7 800  | 210 600 | 2026   |
| HFR (LEU) HOL      | HEU    | 39     | 6 200  | 241 800 | 2024   |
| LVR-15 (LEU) CZ    | H/L    | 30     | 3 000  | 90 000  | 2028   |
| MARIA (LEU) PL     | HEU    | 36     | 2 700  | 95 000  | 2030   |
| OPAL (LEU) AUSTR   | LEU    | 43     | 1 750  | 75 250  | 2055   |
| RA-3 (LEU) ARGE    | LEU    | 46     | 400    | 18 400  | 2027   |
| SAFARI (LEU) JAR   | H/L    | 44     | 3000   | 130 700 | 2030   |
| NRU (HEU) CANADA   | HEU    | 40     | 4 680  | 187 200 | 2017   |
| RIAR (HEU) RUS     | HEU    | 50     | 1 000  | 50 000  | 2025   |
| KARPOV(HEU) RUS    | HEU    | 48     | 350    | 16 800  | 2025   |
| FRM-II (HEU) DEUTS | LEU    | 32     | 2 100  | 67 200  | 2054   |

FNBRNO

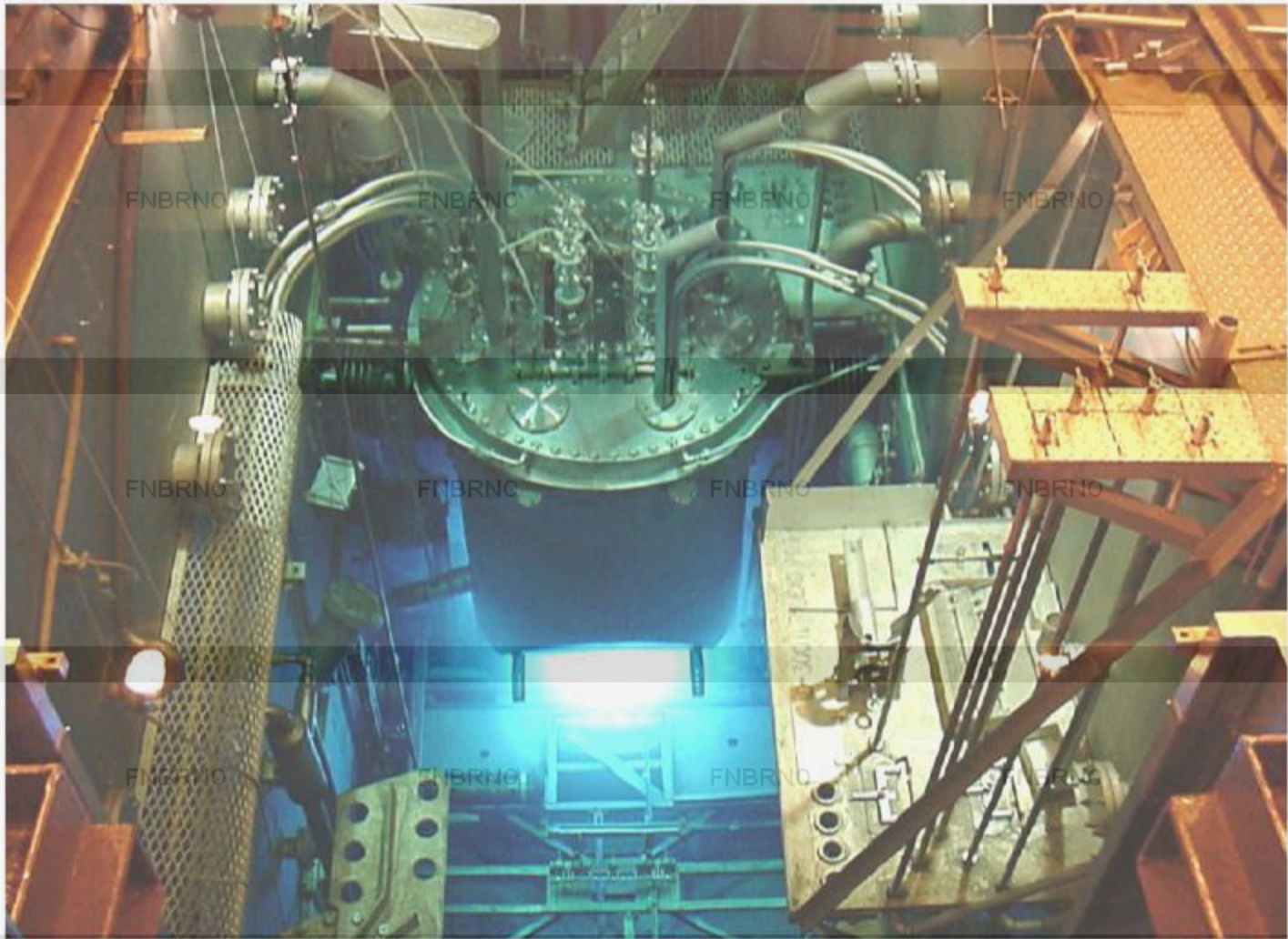
FNBRNO

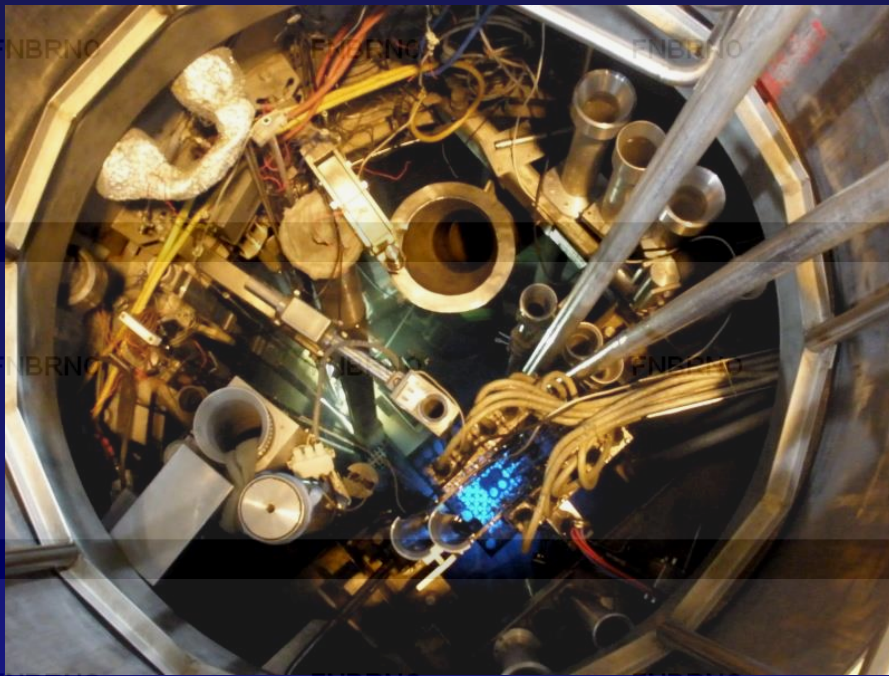
FNBRNO

FNBRNO

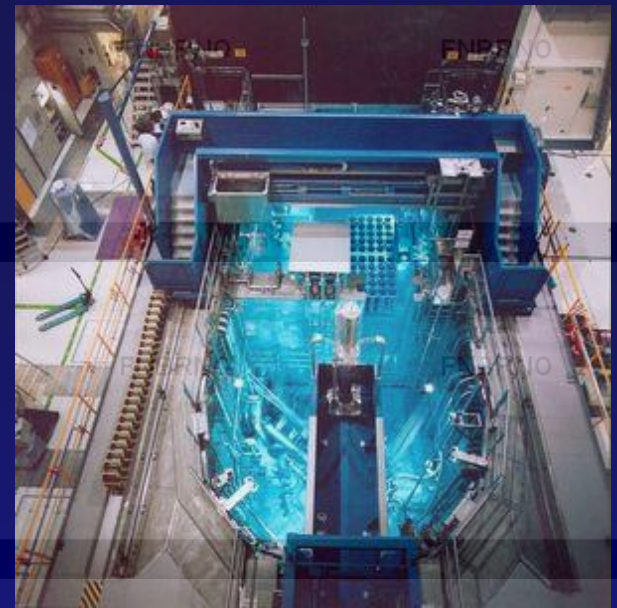
FNBRNO

FNBRNO





**LVR - 15**



**FRM II**



**OPAL**



**BR - 2**

# Processor

## Targets

Anticipated 99Mo production weeks/year

Available capacity per week

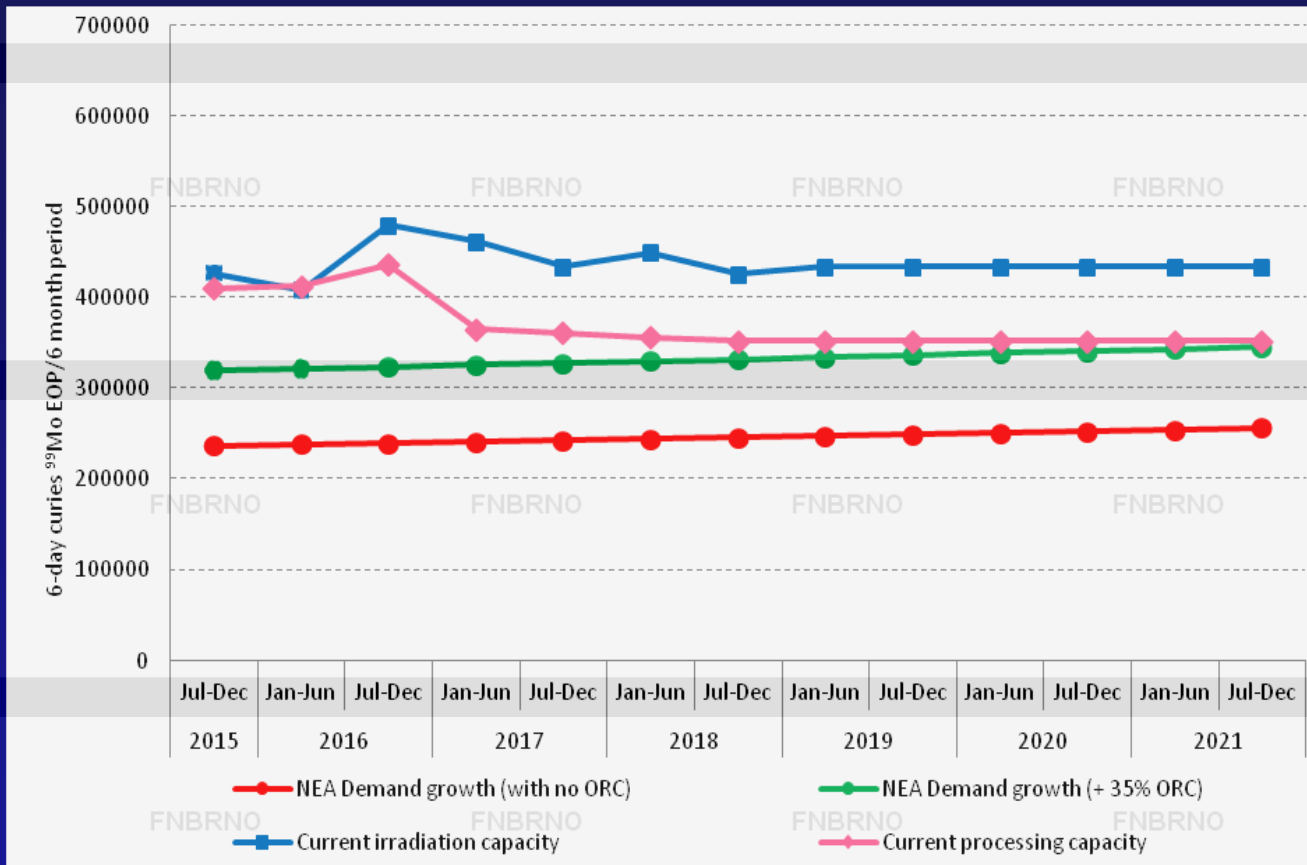
Expected available capacity per year

END

|              |     |    |       |         |           |
|--------------|-----|----|-------|---------|-----------|
| ANSTO Health | LEU | 43 | 1 750 | 75 250  | 2055      |
| CNEA         | LEU | 46 | 400   | 18 400  | 2027      |
| IRE          | HEU | 52 | 3 500 | 182 000 | 2028      |
| Mallinckrodt | HEU | 52 | 5 000 | 260 000 | Not Known |
| NTP          | HEU | 44 | 3 000 | 130 700 | 2030      |
| CNL/Nordion  | HEU | 48 | 4 680 | 187 200 | 2016      |
| RIAR         | HEU | 50 | 1 000 | 50 000  | 2025      |
| KARPOV       | HEU | 48 | 350   | 16 800  | 2025      |

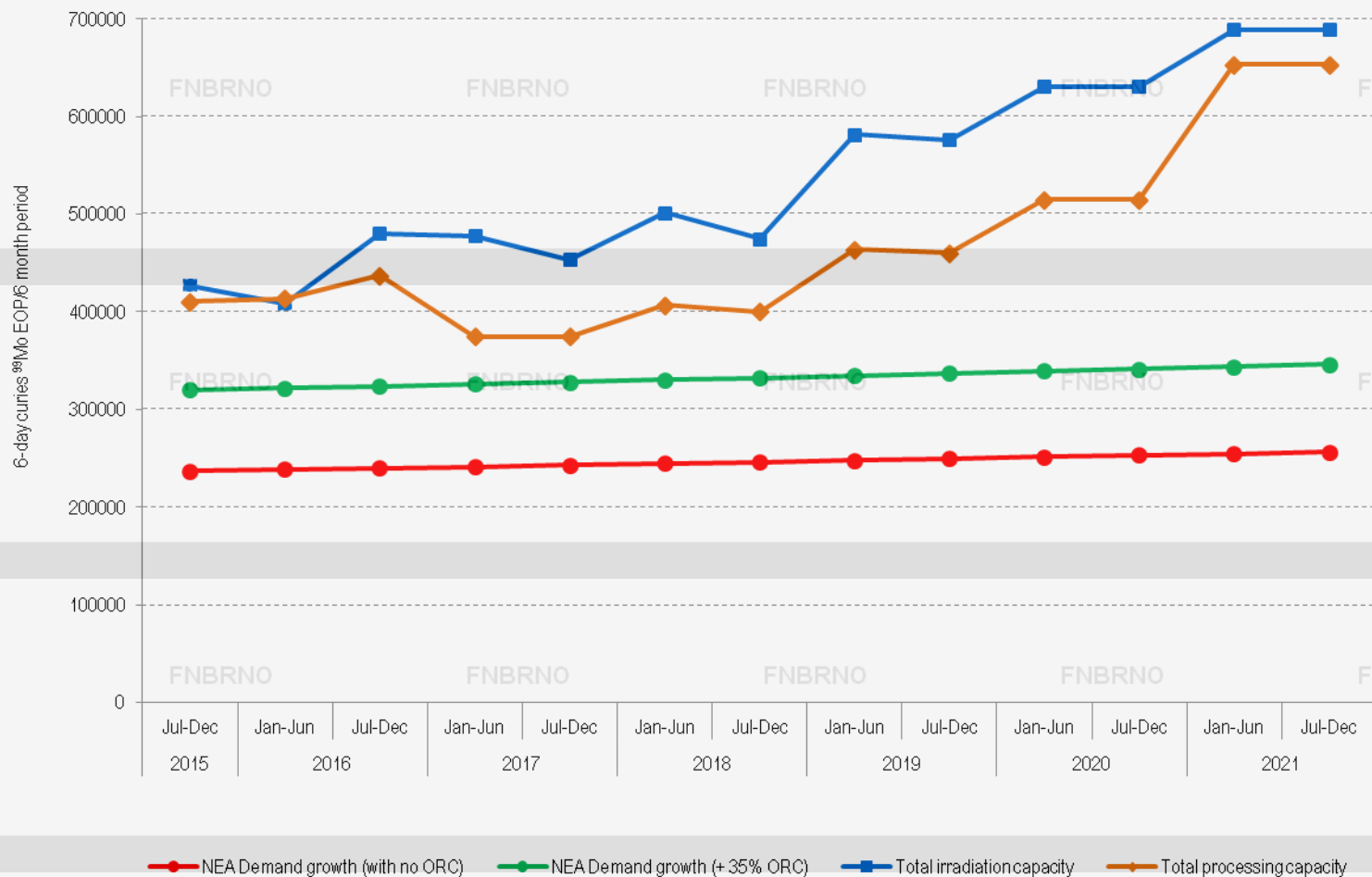


# OZAŘOVACÍ A ZPRACOVACÍ KAPACITA Mo/Tc – SOUČASNÁ



Outage reserve capacity (ORC) – výpadková rezervní kapacita, jako vzestup požadavku na kapacitu ozařování, která je „nezapojená“ a zajišťuje spolehlivost zásobování. Realizuje se v případech neočekávaného výpadku.

# ODHADOVANÝ VZESTUP OZAŘOVACÍ A ZPRACOVACÍ KAPACITY Mo/Tc



# SPECT versus PET

1. **Cena (RF, přístroj, personál)**
2. **Kvalita vyšetření (přesnost, rozlišení)**
3. **Radiační zátěž (personál, pacienti)**
4. **Nahraditelnost (jiným než NM vyšetřením)**
5. **Dostupnost RF – pro PET, SPECT**
6. **Možnost kvantifikace pomocí SPECT**

# SPECT → PET

**Je možné převést většinu (ne všechna!)  
vyšetření:**

|          |                                                                                                          |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Myokard: | $^{82}\text{Rb}$ rubidium, $^{15}\text{O}$ $\text{H}_2\text{O}$<br>(+ vývoj – $^{18}\text{F}$ rhodamine) |
| Skelet:  | $^{18}\text{F}$ , $^{68}\text{Ga}$ bifosfonáty                                                           |
| Ledviny  | $^{68}\text{Ga}$ EDTA                                                                                    |
| Mozek    | $^{15}\text{O}$ $\text{H}_2\text{O}$ , $^{18}\text{F}$ DOPA...                                           |
| Zánět    | $^{18}\text{F}$ FDG                                                                                      |
| Plíce    | $^{15}\text{O}$ $\text{H}_2\text{O}$ , $^{68}\text{Ga}$ MAA                                              |

**Generátor Mo/Tc = > Generátor Ge/Ga???**

# Příklad - skelet

## SPECT

$^{99m}\text{Tc}$ -MDP – MDP

$^{99m}\text{Tc}$ -HDP – HDP

## PET

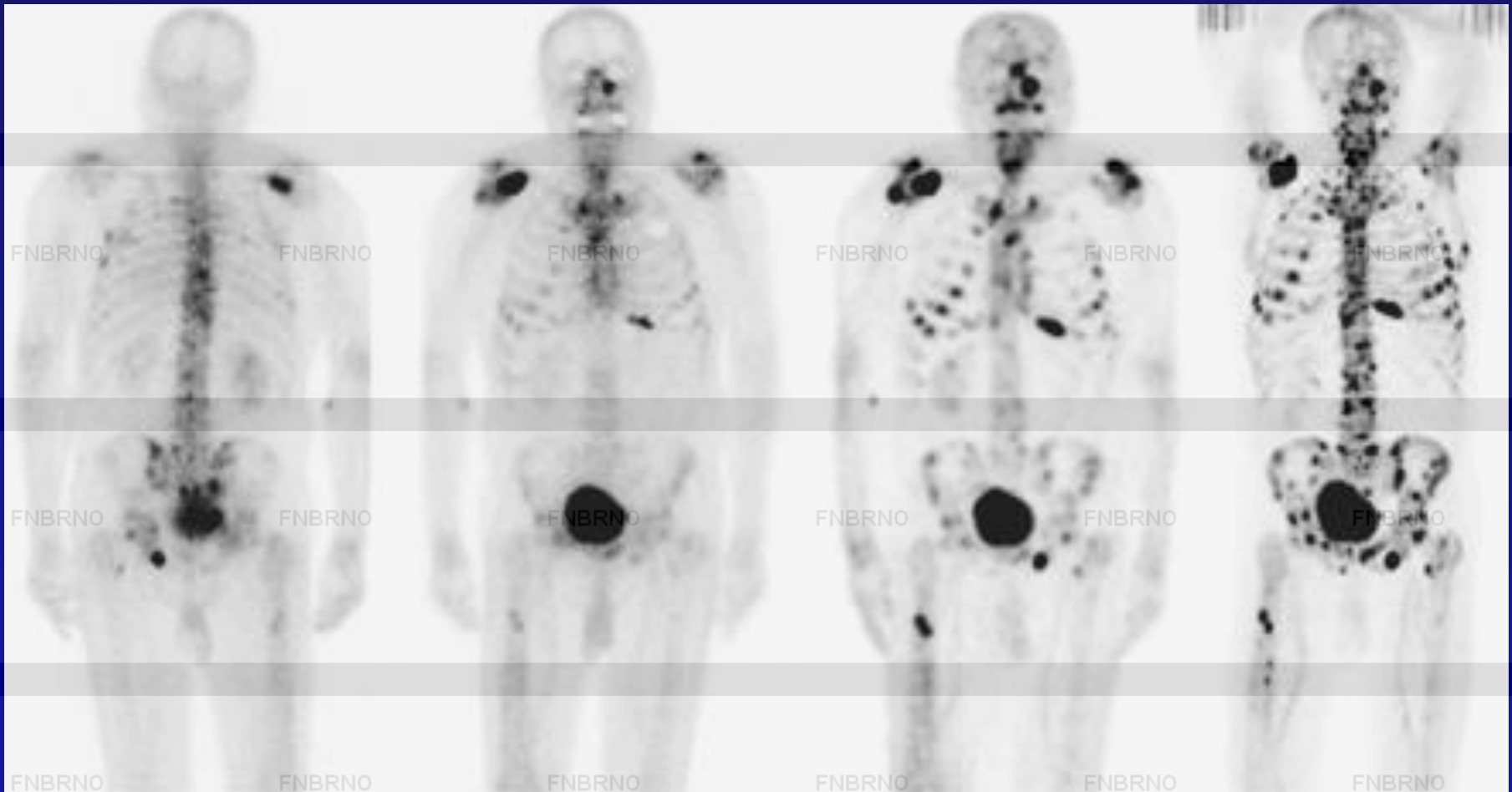
$^{18}\text{F}$ -fluorid

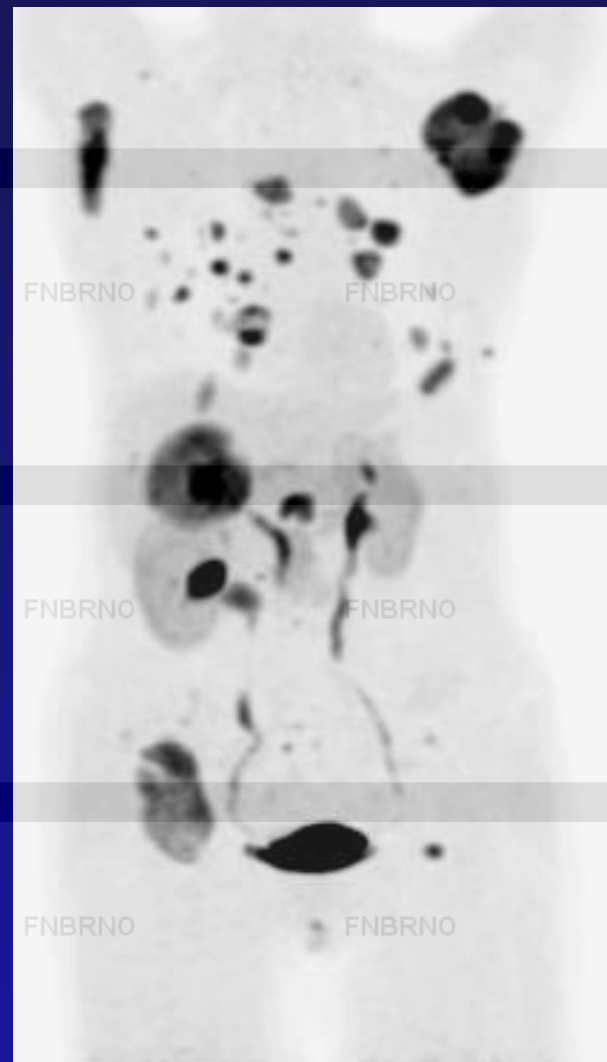
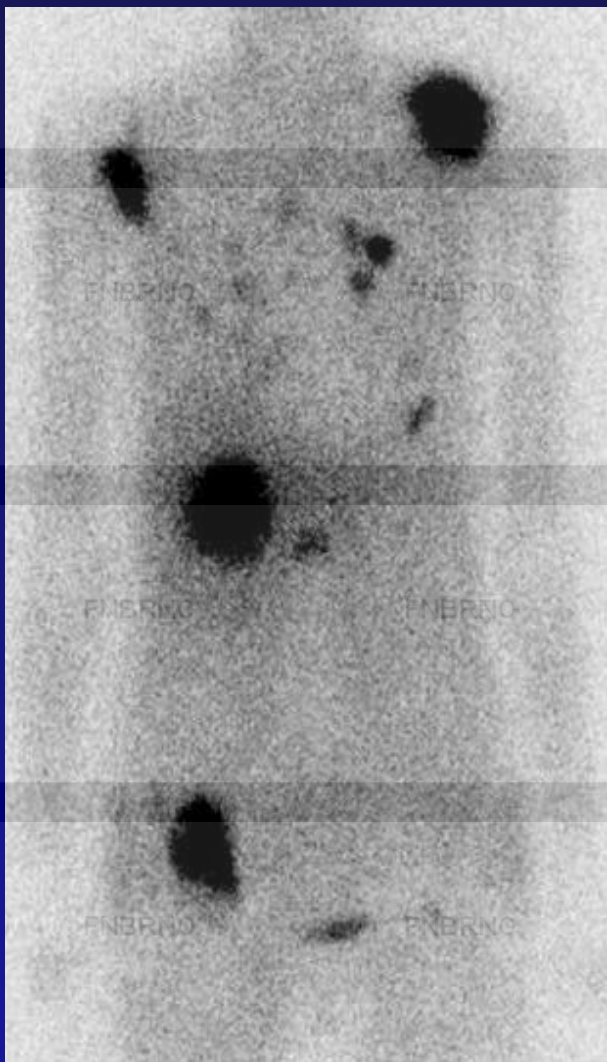
$^{68}\text{Ga}$ -MDP, HDP



# Budoucnost – $^{18}\text{F}$ – fluorid???

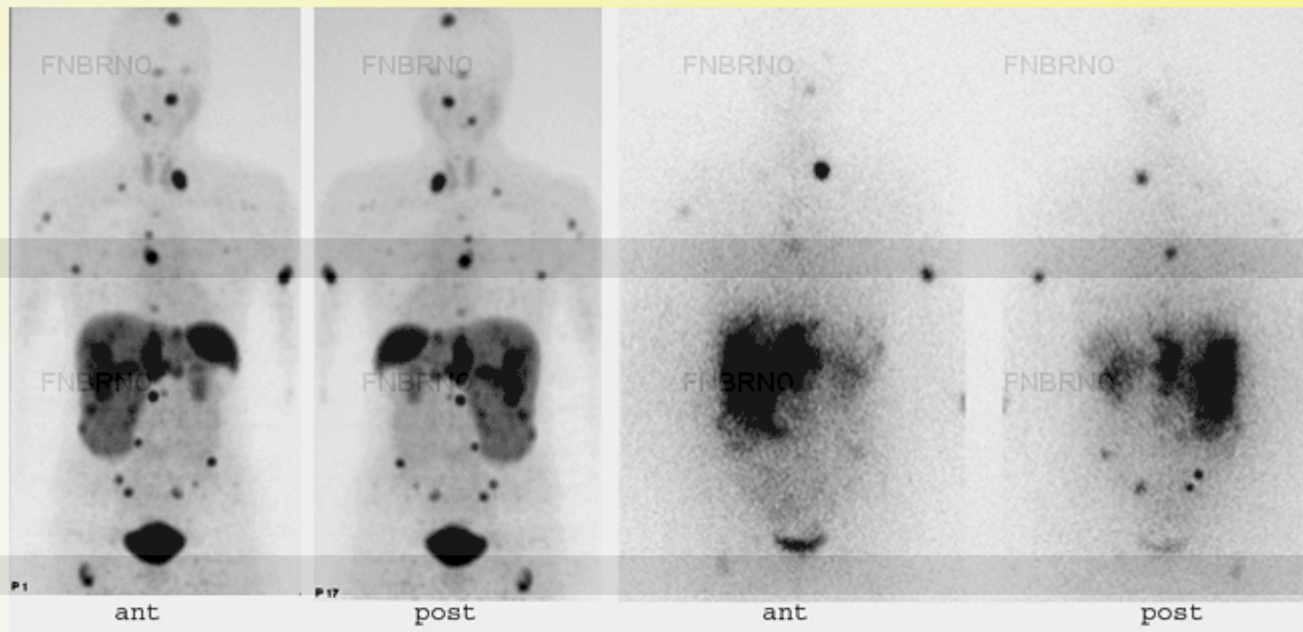
85 % vs 95 % sensitivita





**FEO - MIBG vs F-DOPA**

## New Radiopeptides with a Broader Receptor Subtype Profile



**$^{68}\text{Ga}$ -DOTA-NOC, 90 min p.i.  
sstr2, 3, and 5 affinity**

**$^{111}\text{In}$ -DOTA-TOC, 21 h p.i.  
sstr2 affinity**

Hannover

Basel

Nahradí úplně  
PET  
SPECT?

Velmi  
pravděpodobně  
ne....

# EKONOMIZACE?

Cituji studenta medicíny 4. ročníku:

„... dle mého jste ve výkladu vůbec nezohlednili cenu PET.

Jakkoli je to vyšetření dozajista užitečné a důležité, pokud jedno vyšetření stojí 30 000 Kč, to se pak nesmíme divit, že všichni předepisují CT, jehož **poměr cena/výkon** je výhodnější...”

# DIAGNOSTIKA - souhrn

## PŘÍSTROJE:

Whole body PET/CT, PET/MR

Dynamický (rychlý) PET

Dedikované kamery (nové technologie)

SPECT umožňující kvantifikaci (CZT)

## RADIOFARMAKA:

Pro PET i SPECT

– umožňující zachytit dynamiku procesu

+ nové RF pro receptory

(napr. folátové, estrogenové a jiné)

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# HYBRIDNÍ ZOBRAZOVÁNÍ

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# Hybridní zobrazování – definice.

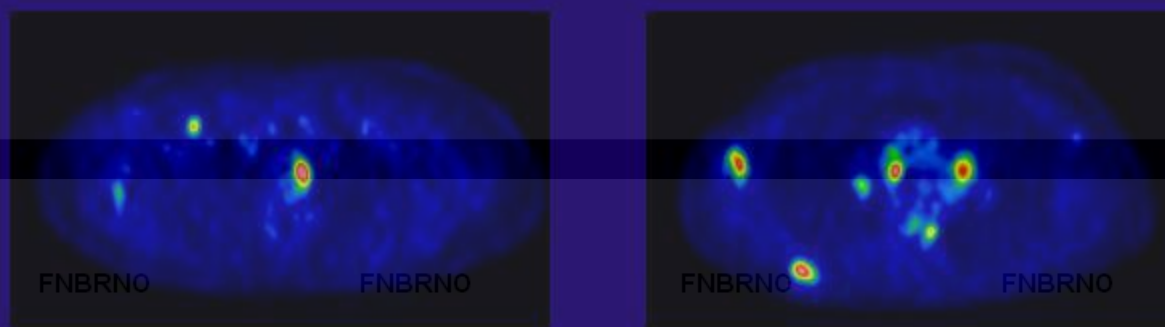
Hybridní zobrazování poskytuje komplementární diagnostickou obrazovou informaci získanou ze dvou nebo více zobrazovacích technik bez nutnosti přemístování pacienta.

Je definováno jako fúze dvou nebo více zobrazovacích technik do jedné, nové formy zobrazení.

**RSNA 2010\***

*Global Trends in Hybrid Imaging—, Radiology:  
Volume 257: Number 2—November 2010*

*Difficulties in the interpretation of PET images due to the absence of identifiable anatomical structures.*



*Localization of increased tracer uptake to a specific organ or structure can be important when decision affecting the diagnosis, staging and treatment of the patient have to be done.*

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

PET/CT  
PET/MR  
SPECT/CT  
SPECT/CT angio

# CT – K ČEMU???

- **KOREKCE ATENUACE (LD)**
- **ANATOMICKÁ ORIENTACE (LD)**
- **DIAGNOSTICKÁ INFO (ND, HD)**

# CT – K ČEMU???

CT

**zvyšuje senzitivitu i specificitu**

SPECT

PET

Axial Volume 1

A 153

\*\*\*\*

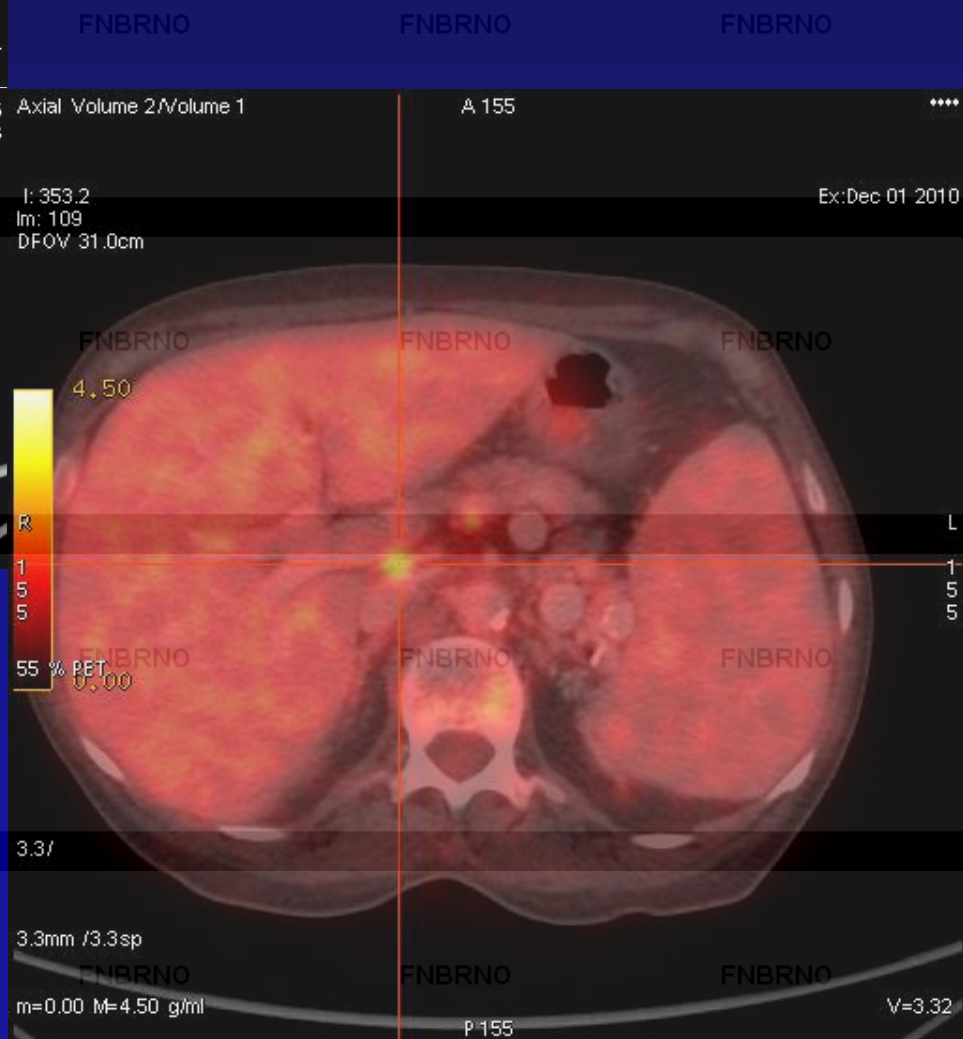
I: 349.9  
Im: 108  
DFOV 30.7cm  
STND/+

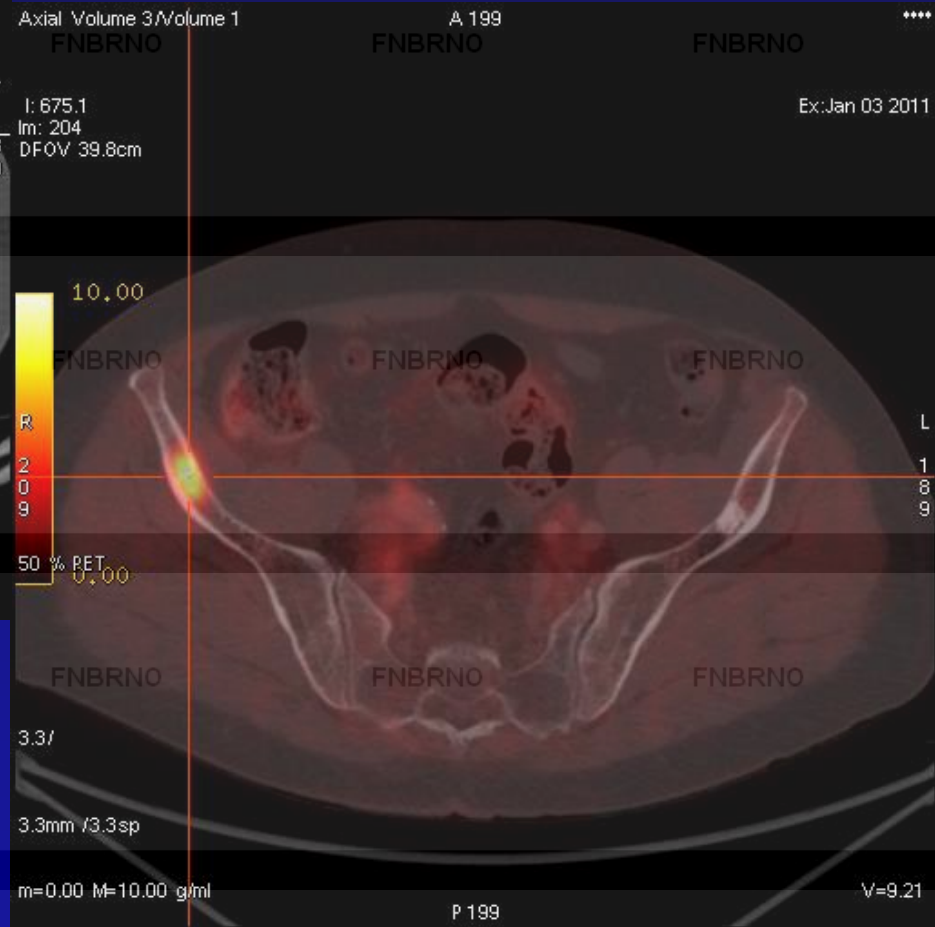
Ex:Dec 01 2010



## Pacientka s Hodgkinovým lymfomem – restaging po 2 cyklech CHT

Pozitivní nezvětšená uzlina  
periportálně





**FCL po terapii (CHT, Mabthera, Zevalin) - SD**

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

PET/MR

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

PET/MR Fusion



T1

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO



FNBRNO

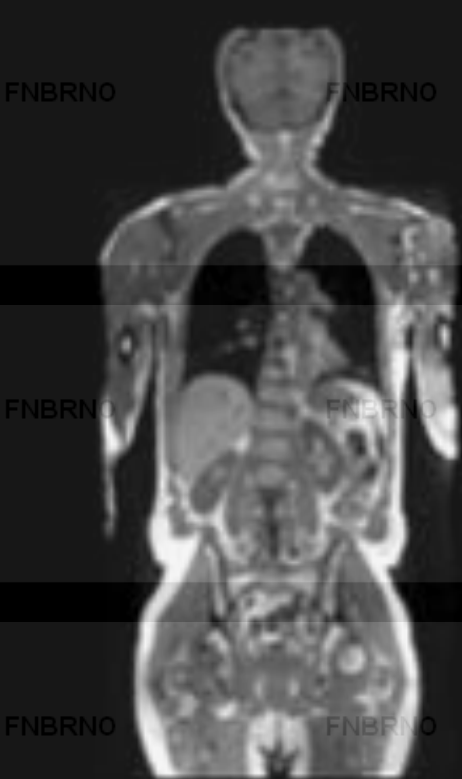
FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO



FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO



FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# PET/MR

**Děti a dorost  
(zátěž zářením)**

**Mozek**

**Srdce**

**Pánev (prostata, gyn.)**

**GIT**

**Skelet**

**Nahradí úplně  
PET/MR  
PET/CT?**

**Nahradí úplně  
MR  
CT?**

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# SPECT/CTangio

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

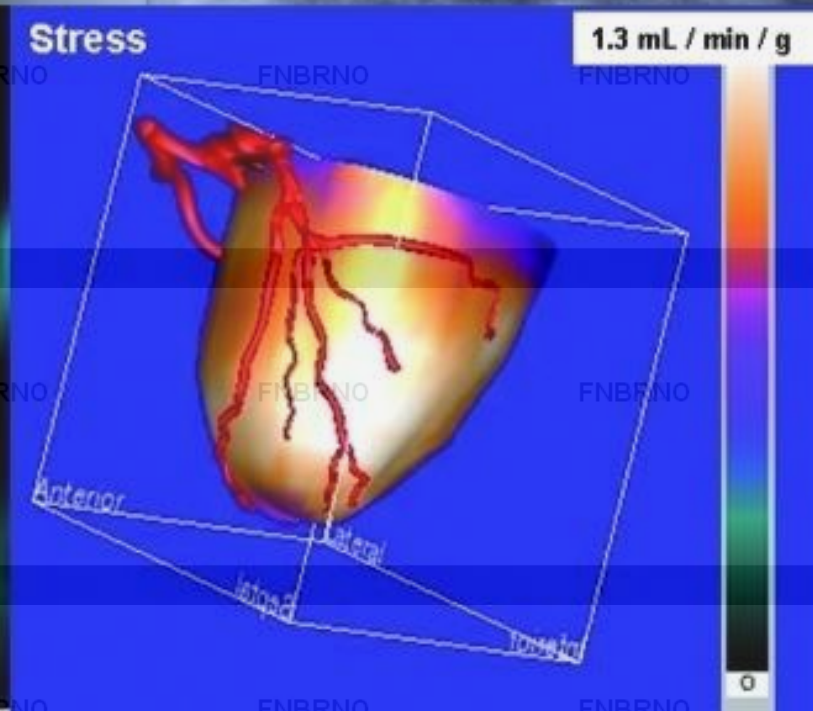
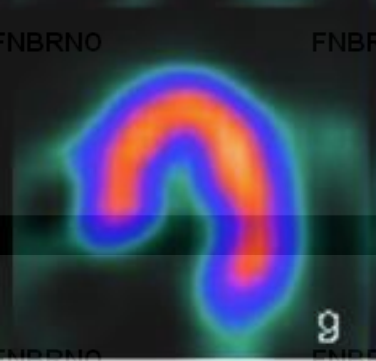
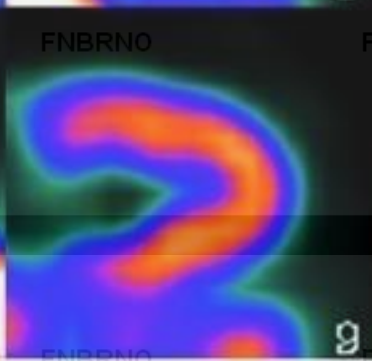
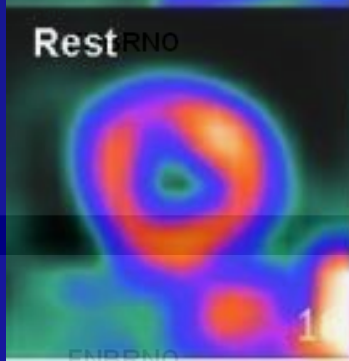
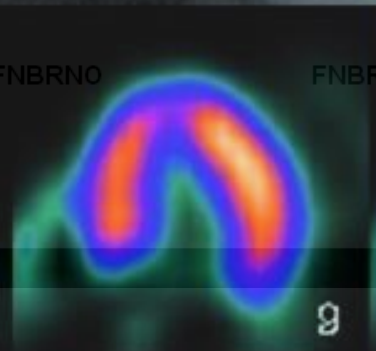
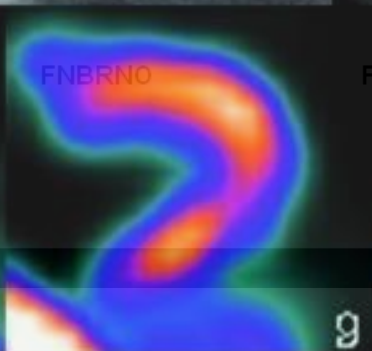
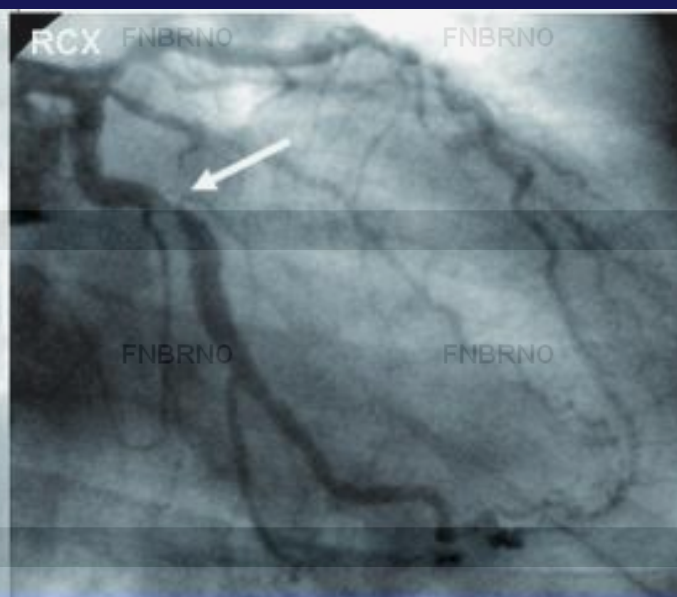
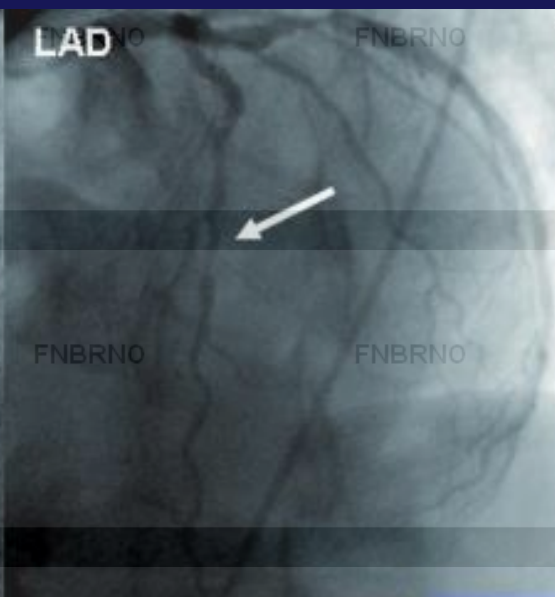
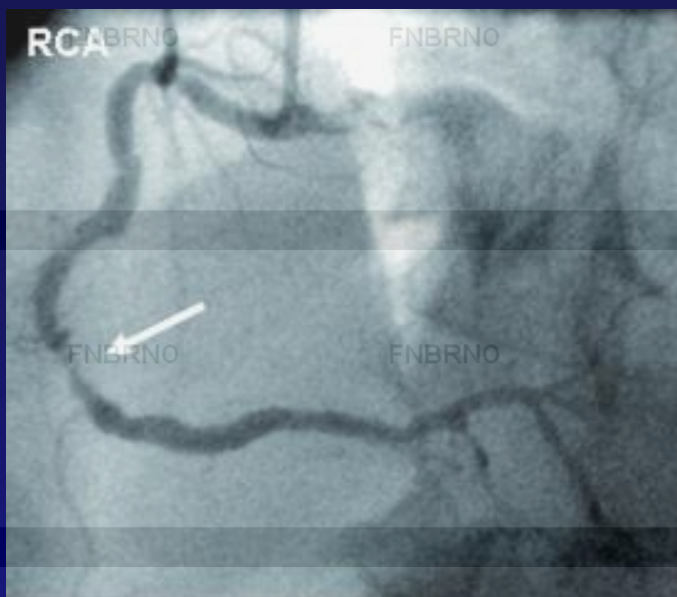
FNBRNO

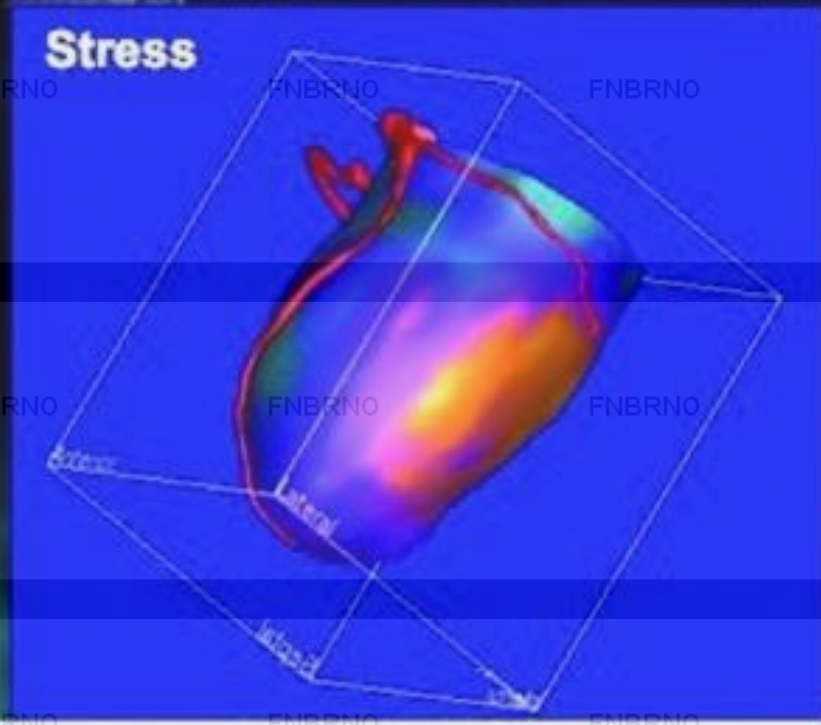
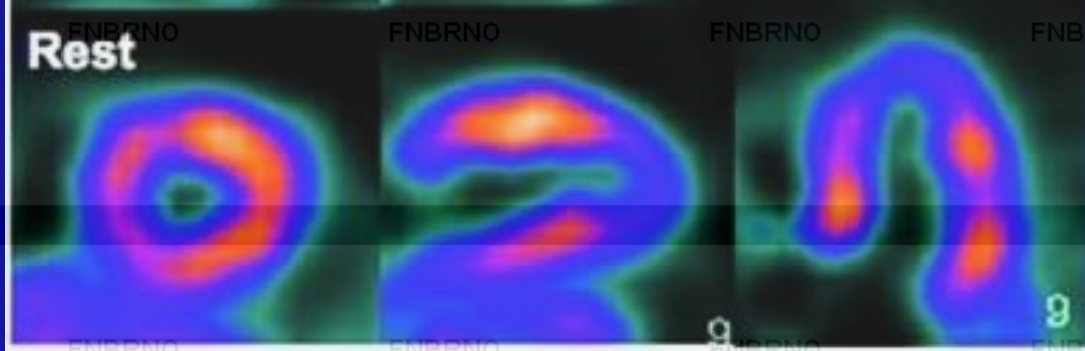
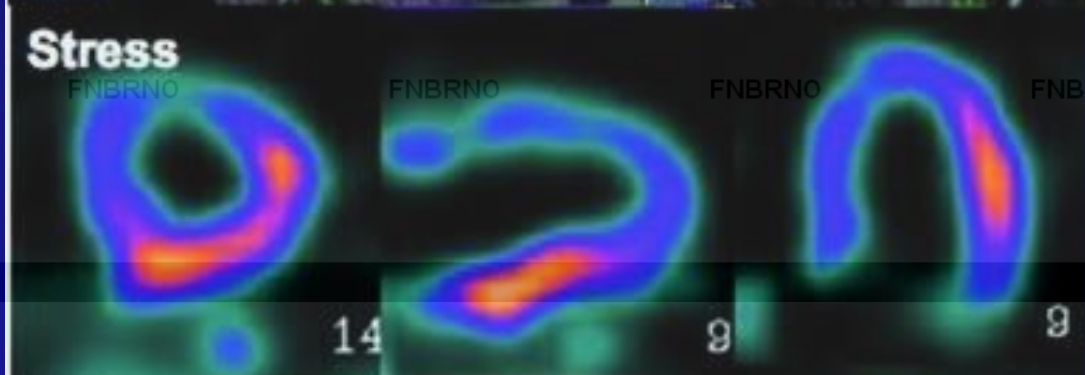
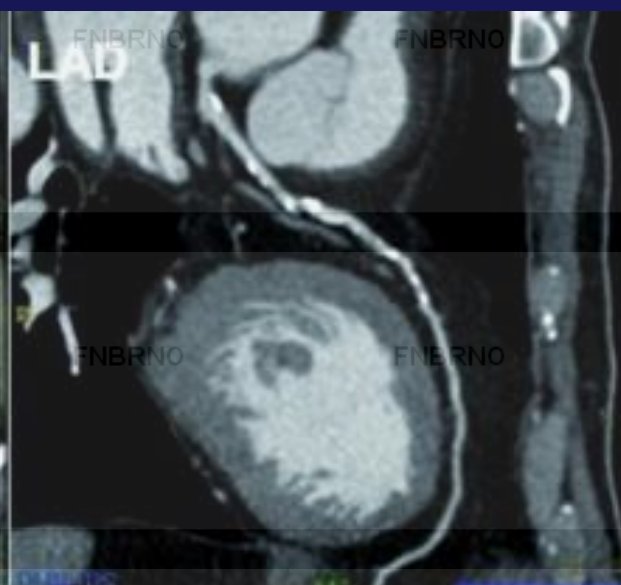
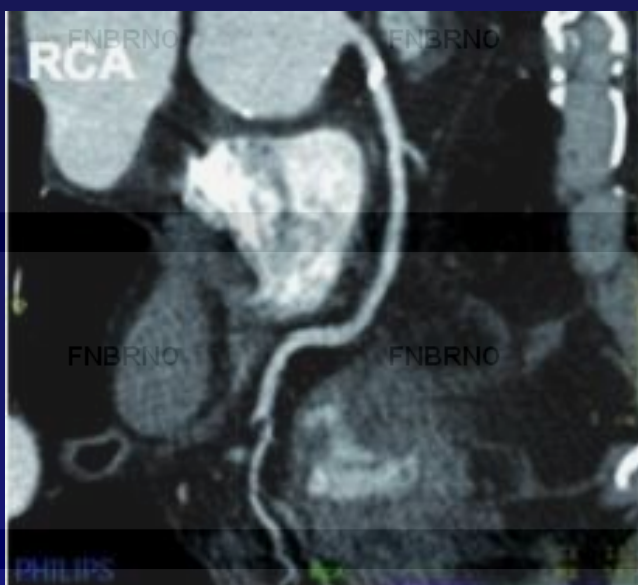
FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO





# Další hybridy (ve vývoji...)

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# TERANOSTIKA

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

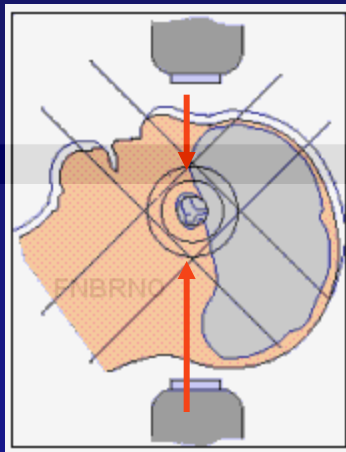
FNBRNO

FNBRNO

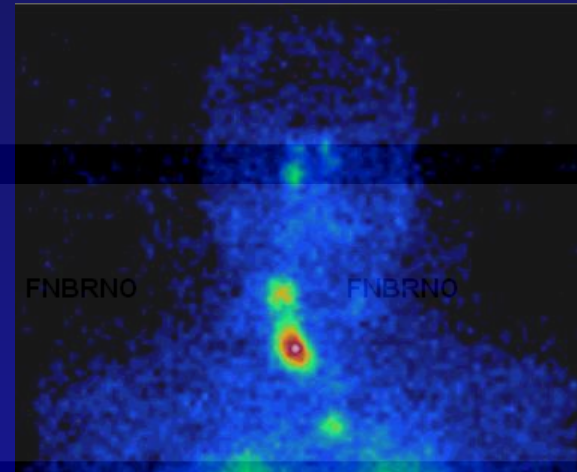
FNBRNO

FNBRNO

# PRINCÍPY RADIONUKLIDOVÉ TERAPIE



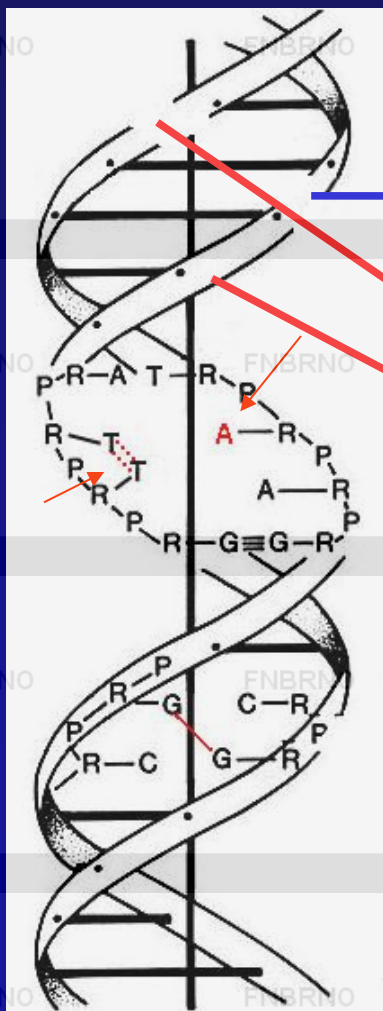
*zevní aktinoterapie*



*radionuklidová terapie*

Radionuklidová terapie je alternativou k externí radioterapii – zpravidla lze docílit vyšších absorbovaných dávek záření (lepší efekt)

# Mechanismus radiačně indukovaného poškození DNA



Poškození jednoho řetězce

Poškození dvou řetězců

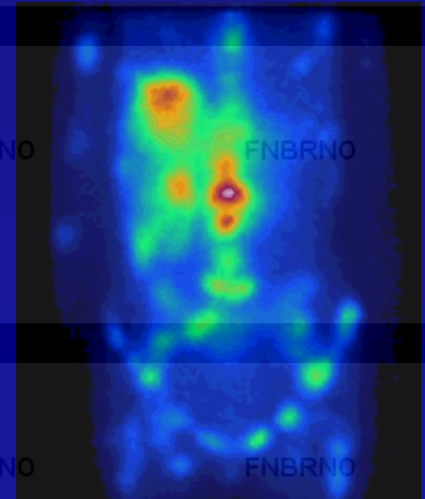
buněčná smrt

# Principy radionuklidové terapie

## Předpoklady:

- selektivní akumulace RF v cílové tkáni
- prolongovaná retence radiofarmaka v cílové tkáni
- minimální akumulace v normální tkáni

= Specificita RF



FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# TAILORISED MEDICINE

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# PERSONALISED MEDICINE

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# TERapie + diagNOSTIKA = TERANOSTIKA

Scintigrafie umožňuje měřit koncentraci RF ve tkáni:  
Individualizovaná dávka terapeutického RF

ISOTOP **A** + BIOL. AKTIVNÍ MOL → DG

ISOTOP **B** + BIOL. AKTIVNÍ MOL → TERAPIE

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# TERAPIE ZNAČENÝM DOTA – TOC

FNBRNO

$^{68}\text{Ga}$  – DOTA – TOC

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

$^{177}\text{Lu}$  – DOTA – TOC

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

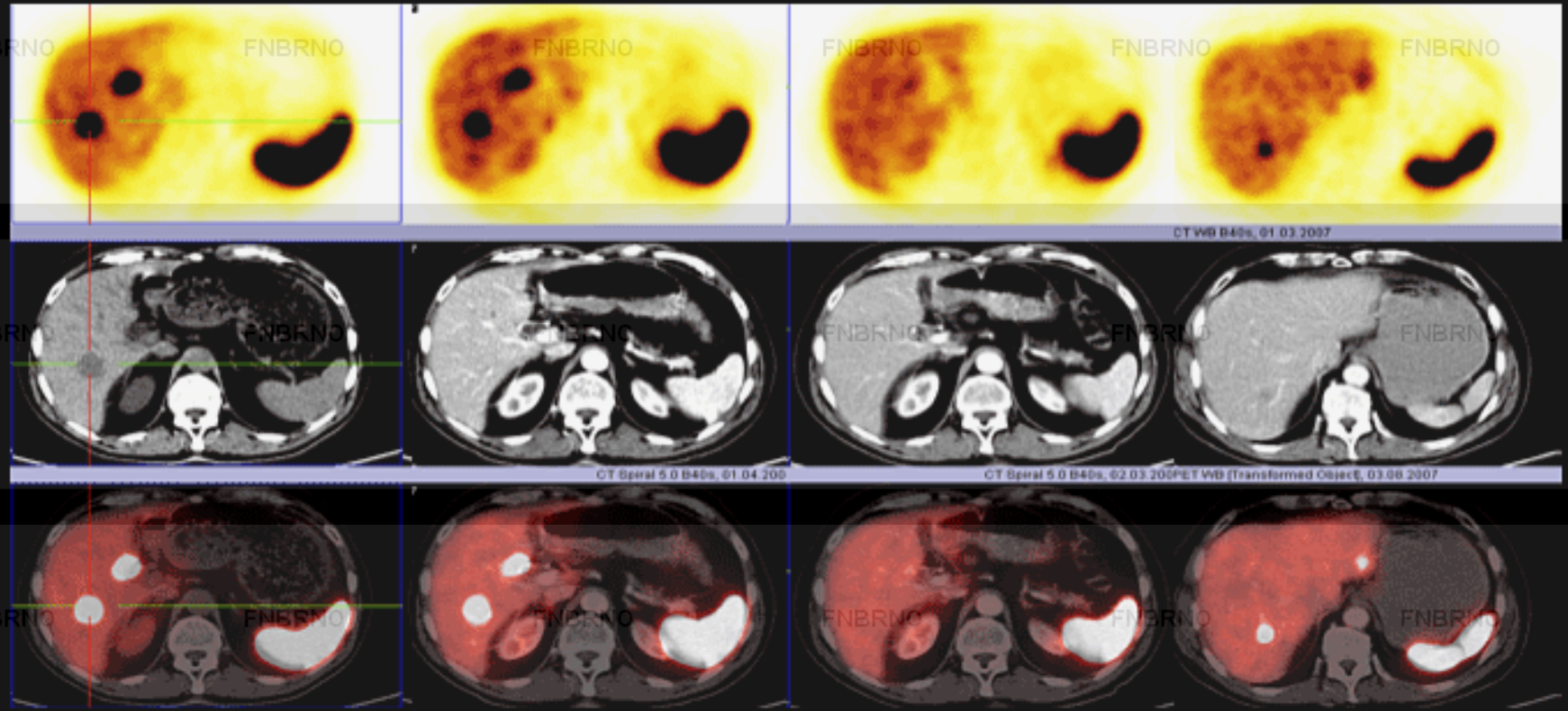
FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# BAD BERKA EXPERIENCE



before PRRT

after 1st cycle

after 2nd cycle

relaps after 1 y

## PRRT – COMPLETE REMISSION AND RELAPS

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# TERAPIE SE ZNAČENÝM PSMA

FNBRNO

**$^{68}\text{Ga}$  - PSMA**

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

**$^{177}\text{Lu}$  - PSMA**

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

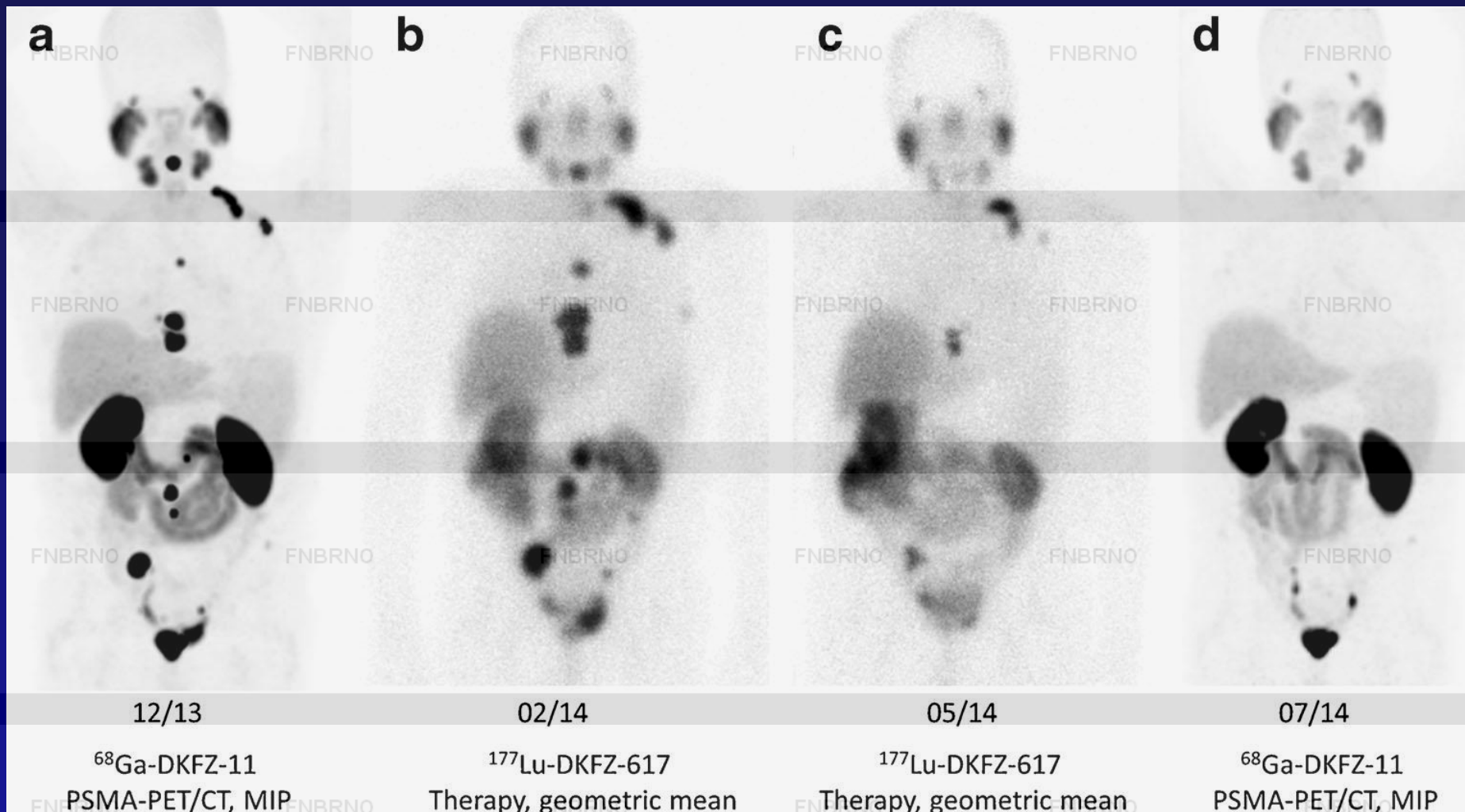
FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO



## IMAGE OF THE MONTH

### [ $^{177}\text{Lu}$ ]Lutetium-labelled PSMA ligand-induced remission in a patient with metastatic prostate cancer

Clemens Kratochwil & Frederik L. Giesel & Matthias Eder & Ali Afshar-Oromieh & Martina Benešová & Walter Mier & Klaus Kopka & Uwe Haberkorn

Received: 30 October 2014 /Accepted: 15 December 2014

# Radioimunoterapie

monoklonální (myší) protilátka anti CD-20

■  $^{90}\text{Y}$  – ibritumomab tiuxetan (Zevalin<sup>®</sup>)

Indikace

non-Hodgkinské lymfomy

bez odezvy na CHT nebo imunoterapii

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

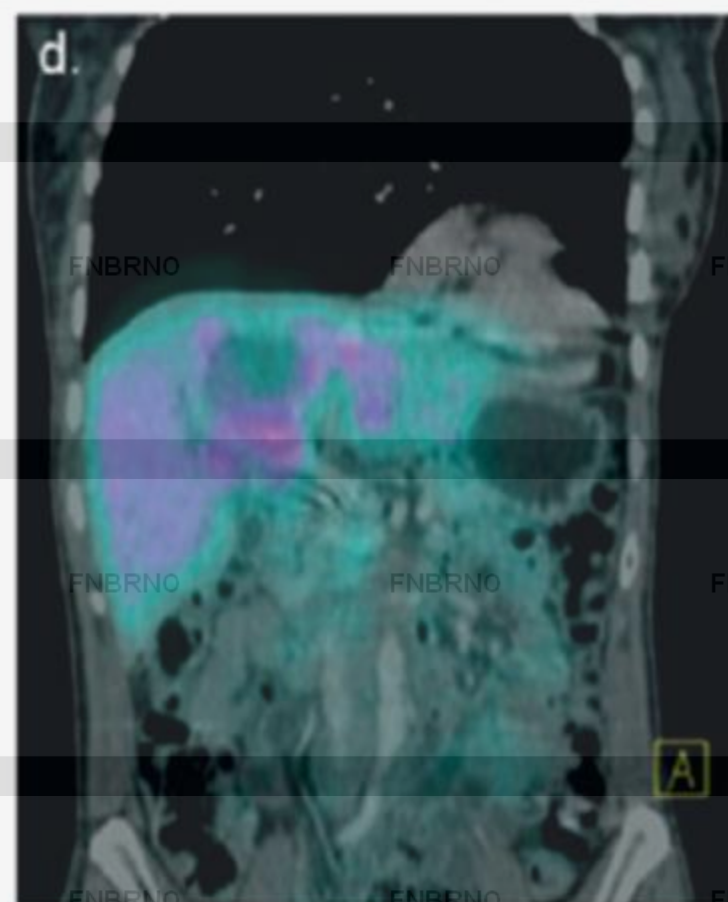
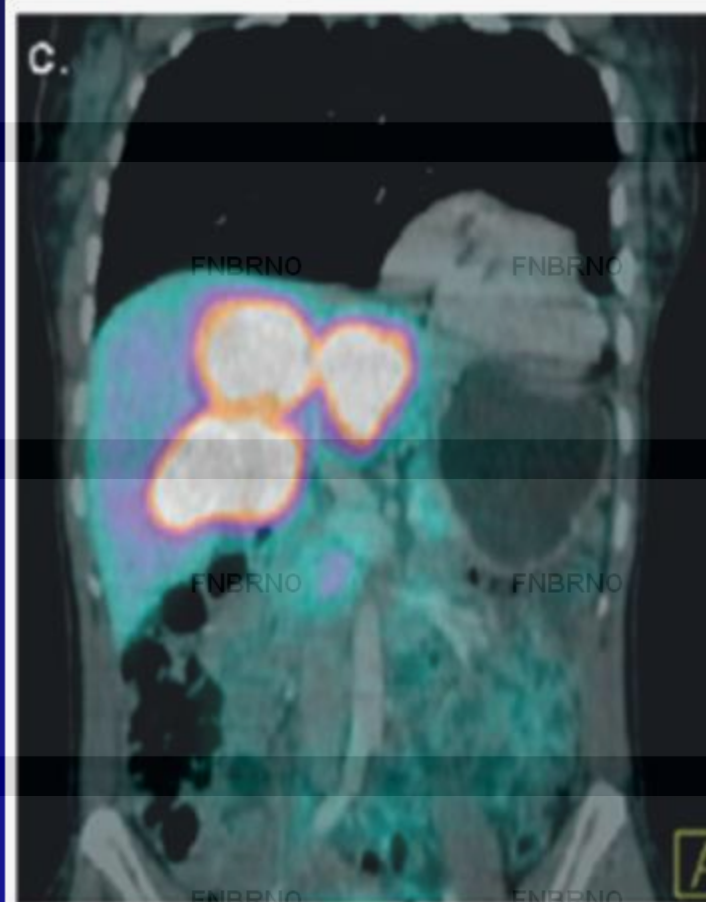
FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# TERAPIE ALFA ZÁŘIČI



**2012 SNM Image of the Year:** Two panels from the 2012 Image of the Year show response of multiple liver lesions at baseline (left) and after (right) therapy with 14 GBq  $^{213}\text{Bi}$ -DOTATOC.

# TERAPIE - souhrn

## TERANOSTIKA:

„Terapeutická diagnostika“

Využití principů z radioterapie v NM – dosimetrie .

## RADIOFARMAKA:

**Specifické !**

**Alfa** i Beta zářiče, zářiče augerových el.

**Nové přístupy v ochraně zdravé tkáně.**

Cíl – zlepšení poměru cílová tkáň/zbytek těla

=> **úplné zničení nádorů**

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

NM

VS

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

RADIODIAGNOSTIKA

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO

FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO

# Spolupráce?

FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO

FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO

FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# Soupeření?

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

**TEST:**

**Bude**

**„Radiodiagnostika  
budoucnosti“**

**1) Strukturální**

**2) Molekulární**

**?**

# „Radiagnostika budoucnosti“

## Bude HYBRIDNÍ !!!

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# Osud NM?

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

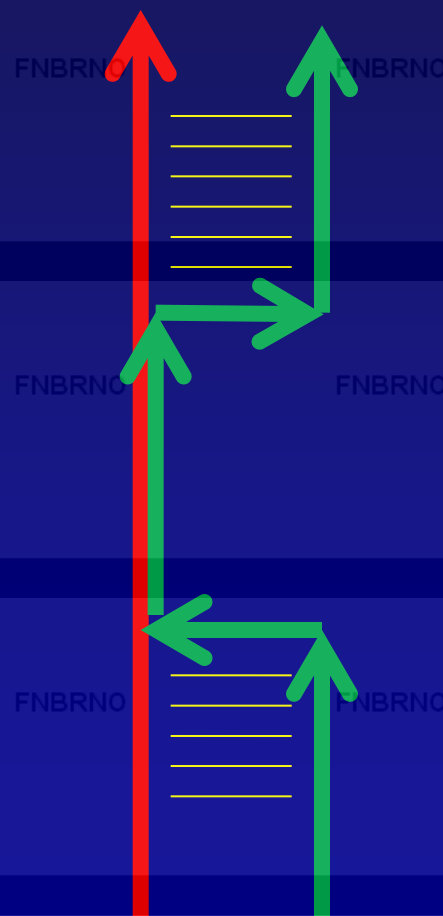
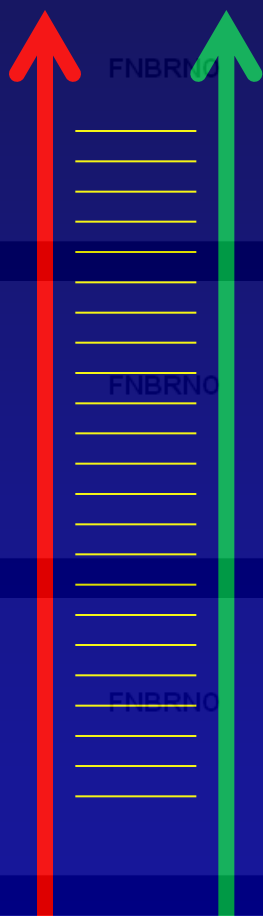
FNBRNO

FNBRNO

FNBRNO

# DVĚ VARIANTY VÝVOJE

**STRUKTURÁLNÍ – MOLEKULÁRNÍ ZOBRAZOVÁNÍ**



**RADIODIAGNOSTIKA – NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA**

## IDEA:

Využít obou modalit co nejefektivněji ke prospěchu pacienta – plnohodnotné obě vyšetření s kvalifikovaným hodnocením, „hybridní popis“

Vytěžit z vyšetření maximum informace.

## NUTNOST:

Spolupráce NM a radiodiagnostiky!!!

Multidisciplinární přístup!!!

# ZÁVĚR

„...to be continued in  
reality and we can see...”



**Děkuji za trpělivost**