

CHARAKTERISTIKA IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ, OCHRANA NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA A RADIOTERAPIE

Tomáš Jůza

2021

Ionizující záření

- Elektromagnetické vlnění či tok (subatomických) částic s dostatečnou energií k ionizaci atomu či molekul
- RTG a gama záření (část i UV) = fotony
- Alfa (jádro helia) a beta (pozitron a elektron)
- Neutrony

Přímá ionizace

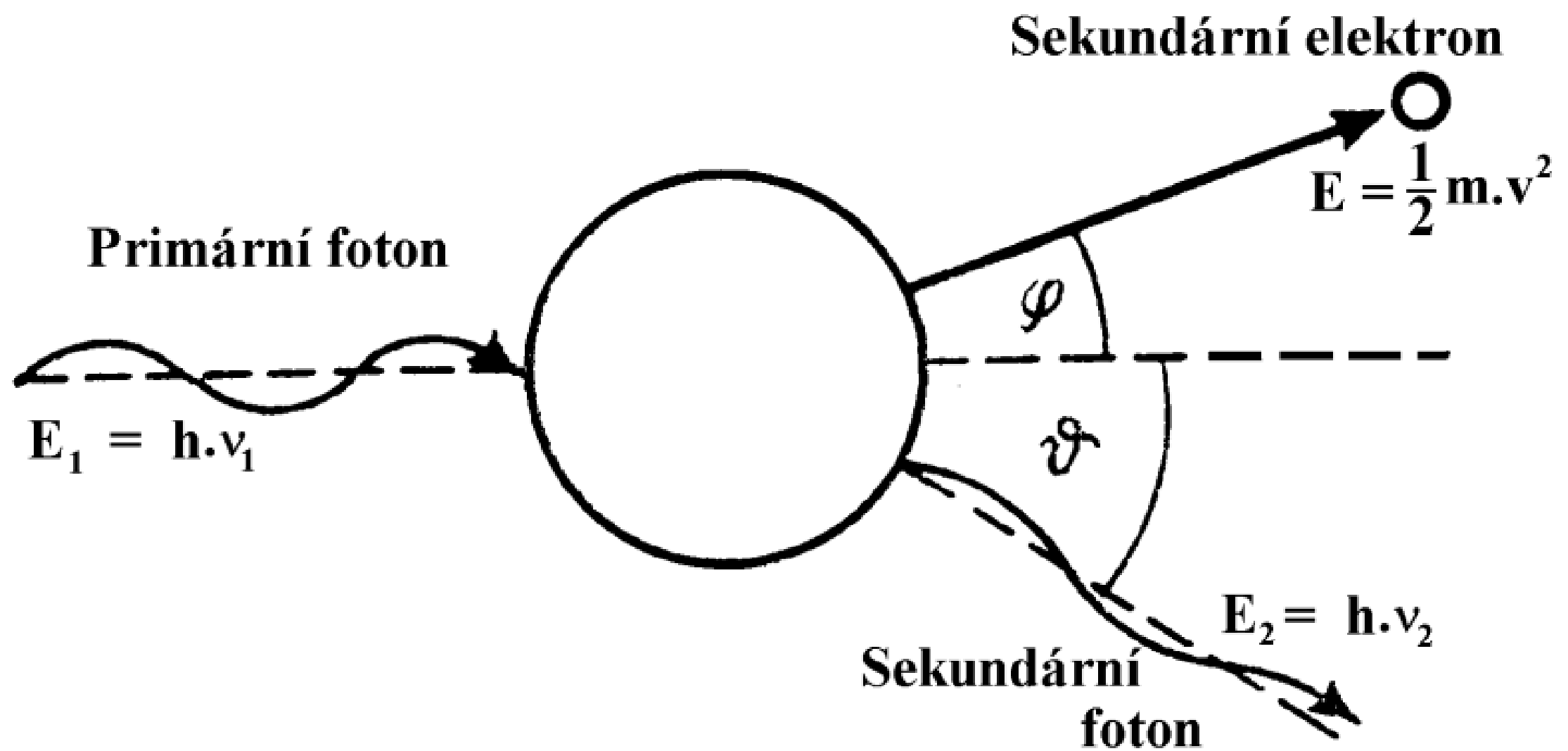
- Elektricky nabitě částice – elektrony, pozitrony, heliová jádra, (deuterony, protony, a urychlené iony)
- Elektrony -> stejný mechanismus jak tvorba RTG záření (+ interakce s protonem v jádře)
- Pozitrony -> anihilace
- Alfa -> chybí jim vlastní elektrony v obalu, odtrhávají je z okolního prostředí

Nepřímá ionizace – neutrony

- Pružné a nepružné nárazy do atomového jádra
- Pružný náraz do lehkého jádra -> kinetická energie předána jádru to ionizuje okolí nárazy
- Nepružný – neutron pronikne do jádra -> sekundární neutron, emise jiné částice, štěpení jádra

Nepřímá ionizace – fotony

- Fotoelektrický jev
- Comptonův rozptyl
- Tvorba elektron-pozitronových párů



Energie, „dávka“ ionizujícího záření

- Elektronvolt (eV) ($1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)
- (Fluence částic/energie - > množství částí/energie na jednotkovou plochu kolmou ke svazku zář.)
- Absorbovaná dávka (Gray – Gy) – energie odevzdaná prostředí o jednotkové hmotnosti – J/kg
- Dávkový příkon – vztaženo na čas
- Efektivní dávka – zohledňuje tkáňový váhový faktor a váhový faktor záření (Sievert – Sv)

Lineární přenos energie (LET)

- „Linear energy transfer“
- Energie, která je při zpomalování nabitě částice předávána elektronům látky/prostředí

$$L_{\Delta} = \left(\frac{dE}{dl} \right)_{\Delta}$$

Interakce ionizujícího záření s hmotou

- Vznik sekundárního záření, liší se od záření primárního nižší energií a často také druhem částic.
- Primární nebo sekundární záření přímo nebo nepřímo ionizuje prostředí a vytváří také volné radikály.
- Část energie záření se vždy přeměňuje v teplo.

Biologické účinky ionizujícího záření

- Fyzikální fáze - časový úsek primárních účinků, absorpce energie záření v atomech nebo molekulách. (10^{-16} s).
- Fyzikálně-chemická fáze - doba mezimolekulárních interakcí spojených s absorpcí energie a vlastním energetickým transferem. (10^{-10} s).
- Chemická (biochemická) fáze - tvorba volných radikálů a jejich interakce s biologicky významnými molekulami, především s NK a bílkovinami. (10^{-6} s).
- Biologická fáze - komplex interakcí produktů předešlých fází na různých úrovních organismu. Podle těchto úrovní kolísá délka tato fáze od sekund po léta.

Účinky na buňku

- Dočasné zastavení proliferace
- Reproductivní smrt buněk (dočasné uchování funkce při ztrátě proliferční schopnosti), následuje apoptóza
- Okamžitá smrt buněk, následuje nekróza
- Rozdílná radiosensitivita jednotlivých druhů buněk např dle fáze buněčného cyklu, obsahu vody a kyslíku, dle rychlosti proliferace
- Na celý organismus: stochastické a deterministické účinky

Ochrana před ionizujícím zářením

- Ochrana časem, vzdáleností, stíněním
- Čas – dávka přímo úměrná době expozice
- Vzdálenost – expozice klesá s druhou mocninou (čtvercem) vzdálenosti od zdroje

Ochrana stíněním

- Vhodné materiály dle jednotlivých druhů záření
- Alfa – nejsnazší stínění - zastaví list papíru/plast (1mm)
- Beta – lehké materiály – kov, několik mm plastu...
- Gama – materiály s velkou hustotou, **olovo**
- Neutrony – lehké materiály s obsahem vodíku, boru...

Nukleární medicína

- Lékařský obor používající k diagnostice a terapii chorob zavedení radioaktivních látek (radiofarmak) do těla nemocného, nejčastěji i.v.
- Nejčastěji používanými radioizotopy jsou technecium-99m, jod-123, jod-131
- Funkční zobrazení
- Gama kamera, SPECT, PET

Základní principy nukleární medicíny

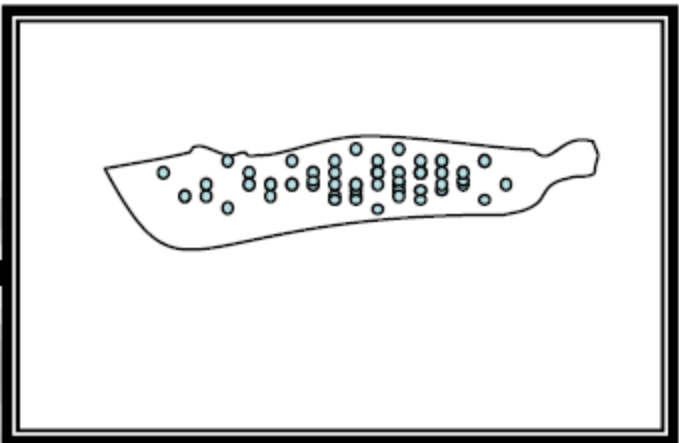
- Detekce záření scintilačním počítačem (či jiný digitální detektor)
- Kolimace záření - detekce záření jen z úzkého prostorového úhlu, v němž byla umístěna vyšetřovaná část těla.
- Zářiče s krátkým poločasem přeměny: Tc-99m cca 6 hodin, jód-131 cca 8 dní, jód-123 cca 13 h.
- Příprava metastabilního technecia přímo na oddělení v techneciových generátorech.
- Radionuklid navázán na látku se specifickou distribucí v těla

Gama kamera

- Dvojměrné zobrazení distribuce radionuklidu v reálném čase
- Dynamické i statické zobrazení
- Např. vylučovací funkce ledvin, pasáž žaludkem, evakuace žluči ze žlučníku....

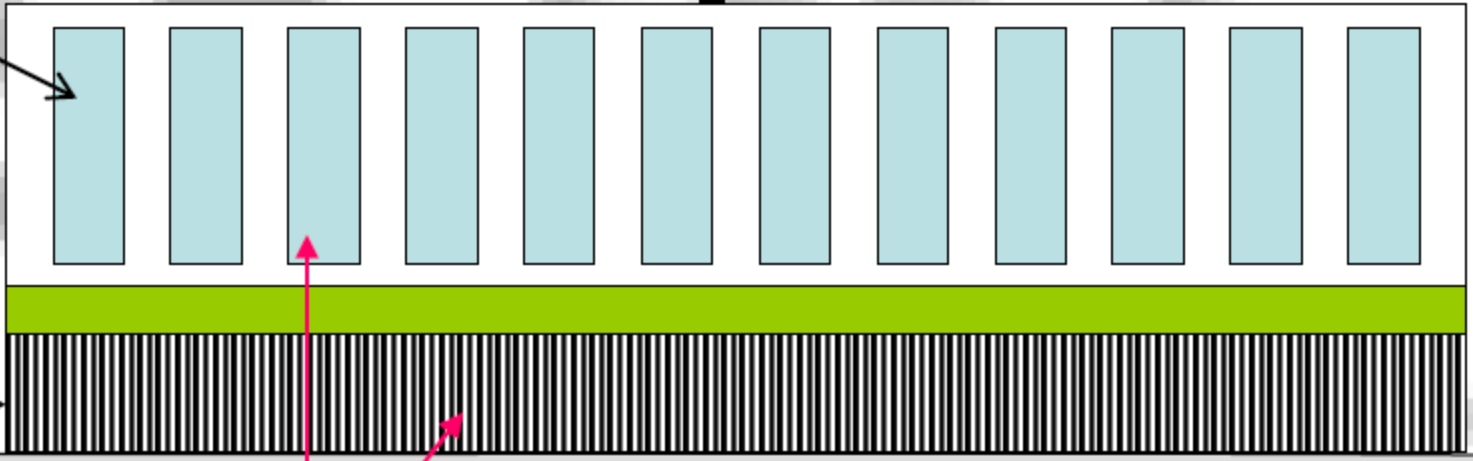


MCA

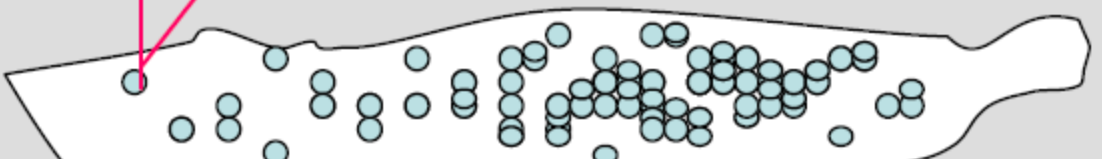


Fotonásobiče
(nyní
nahrazovány
plochými
digitálními
snímači)

Paralelní
absorpční
Pb kolimátor
umožňuje

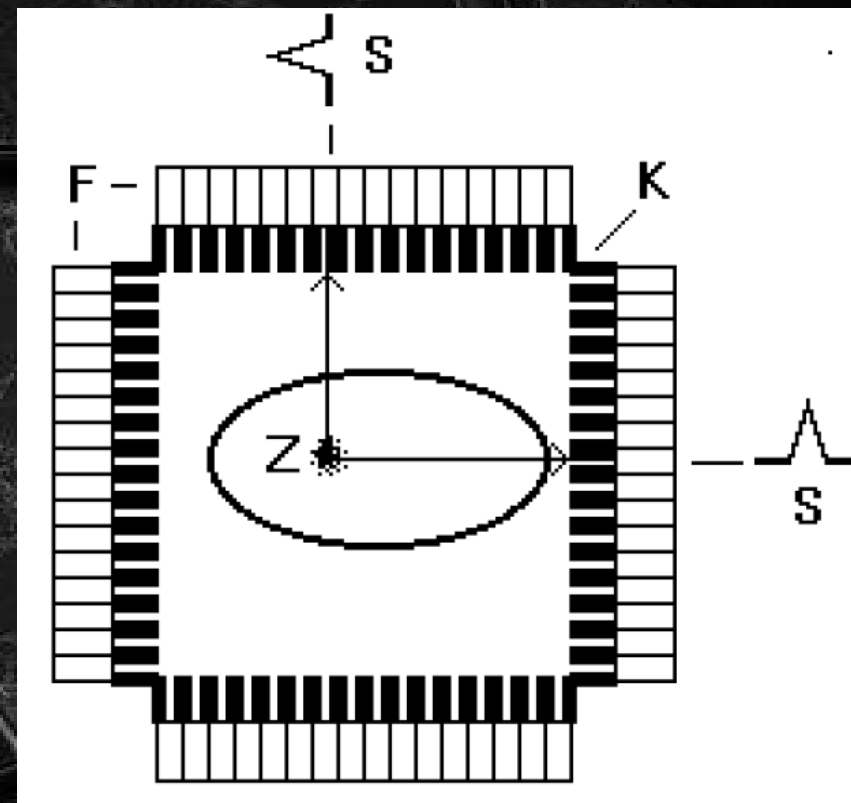


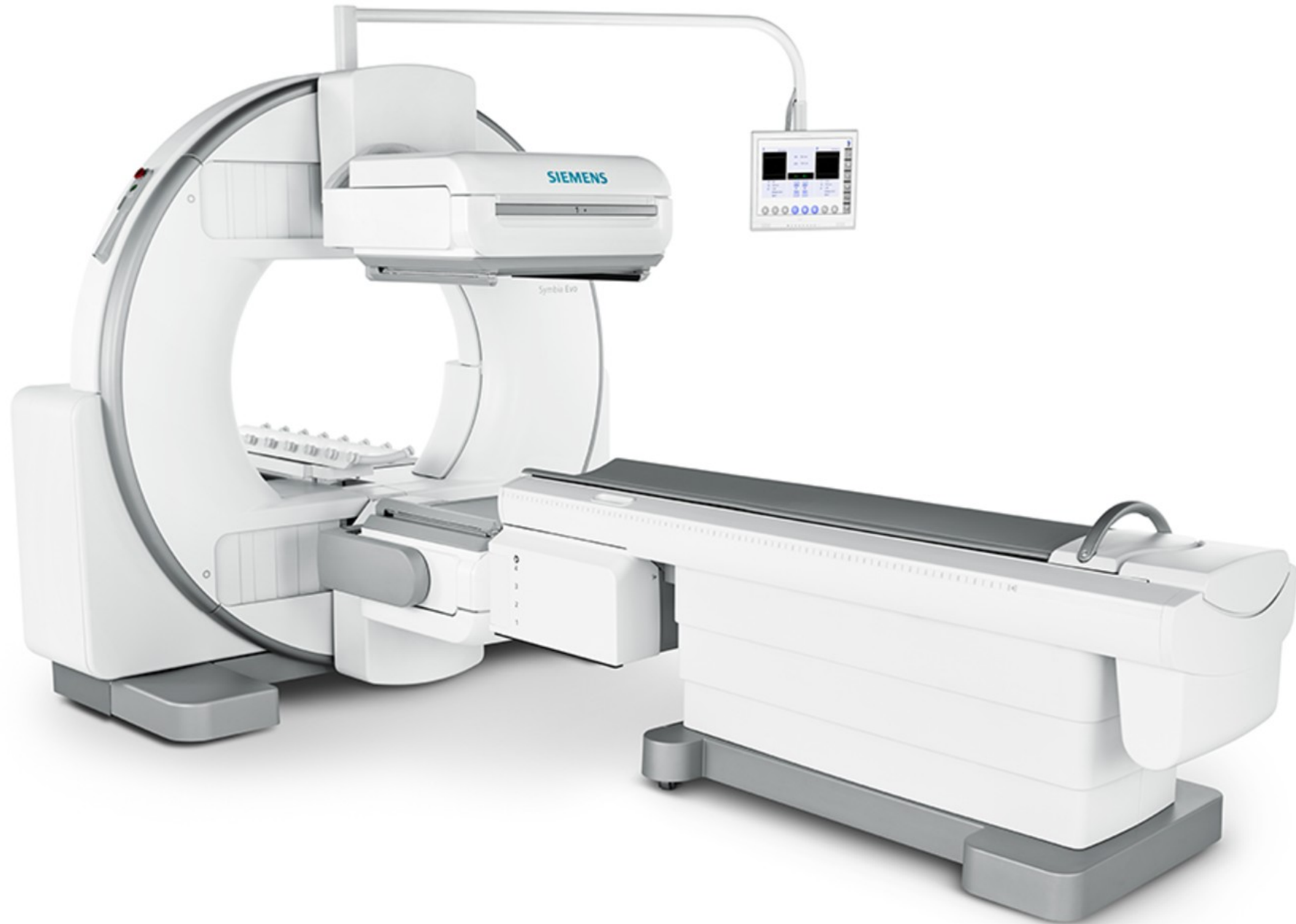
Tenký
(cca 1,5
cm) NaI
scintilátor

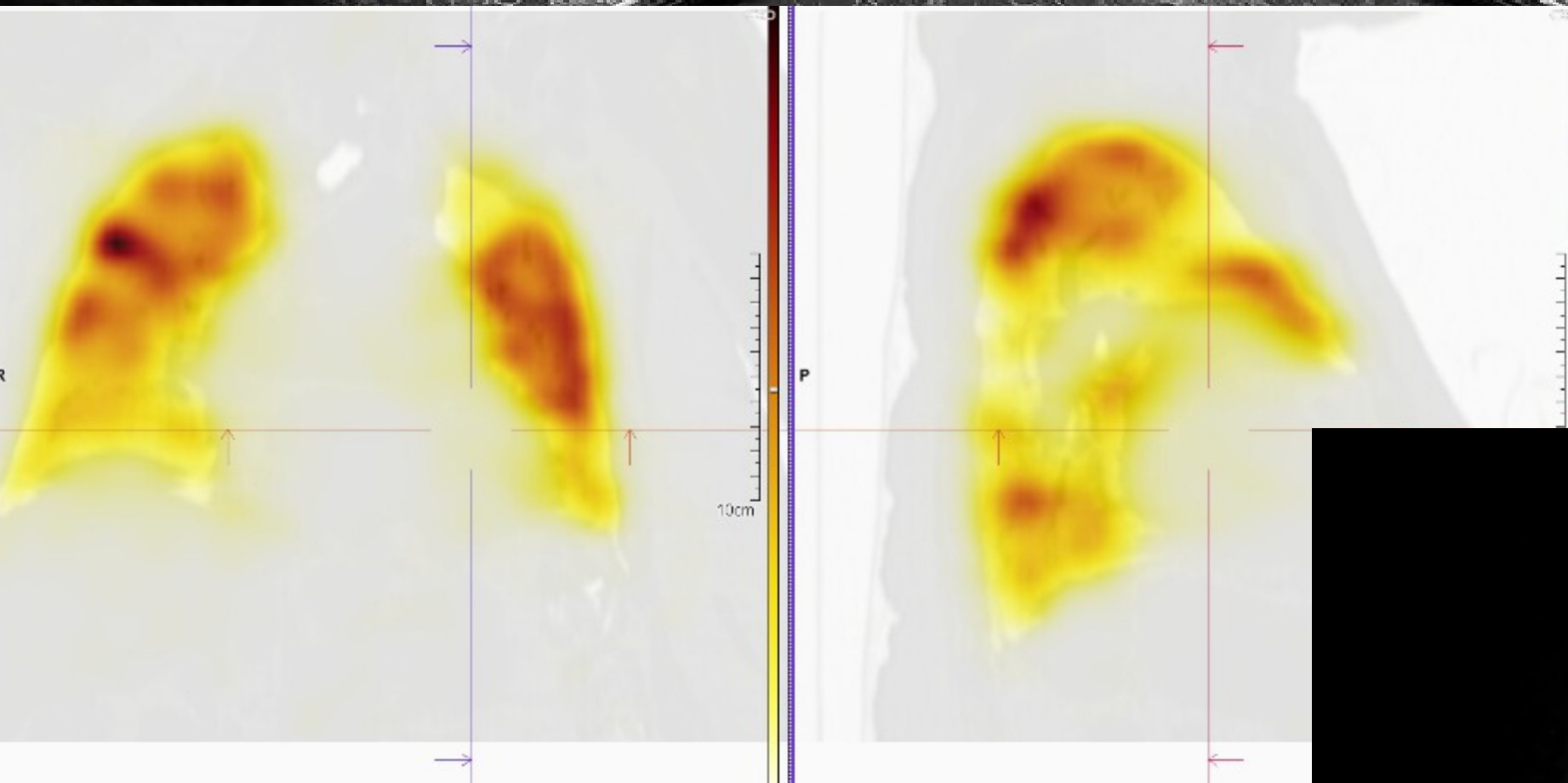


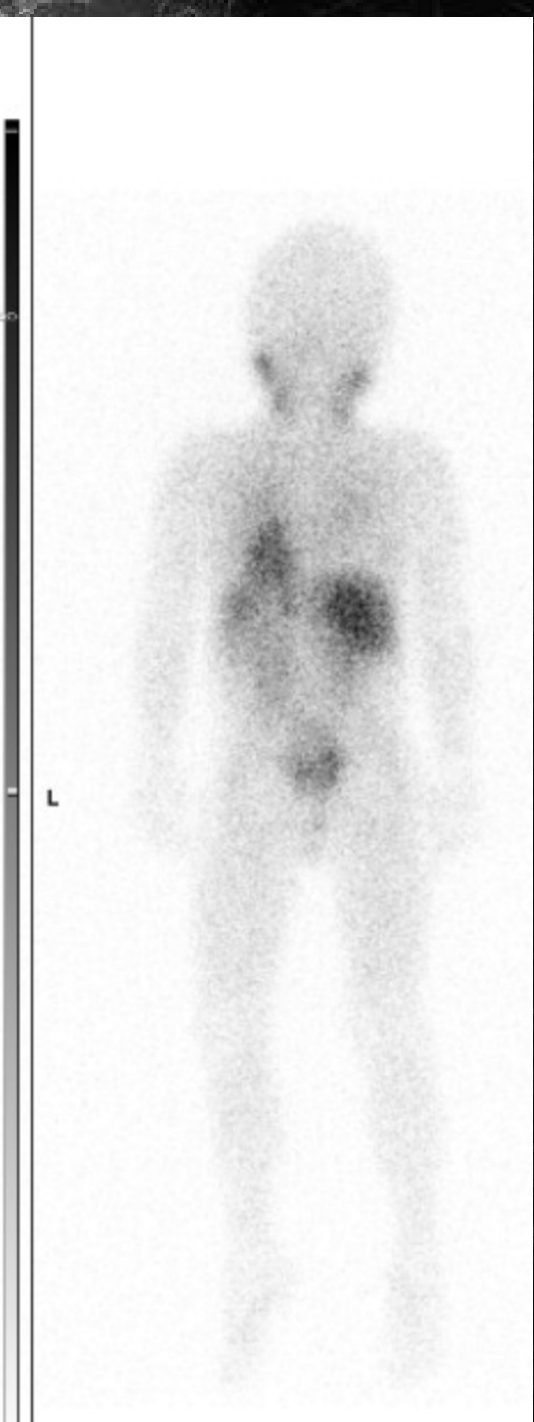
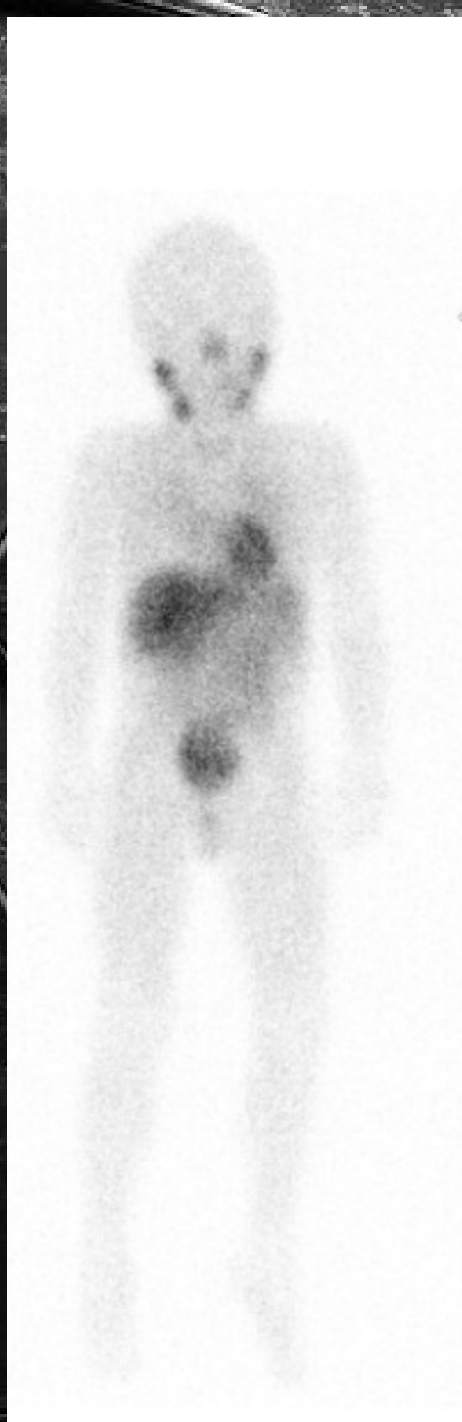
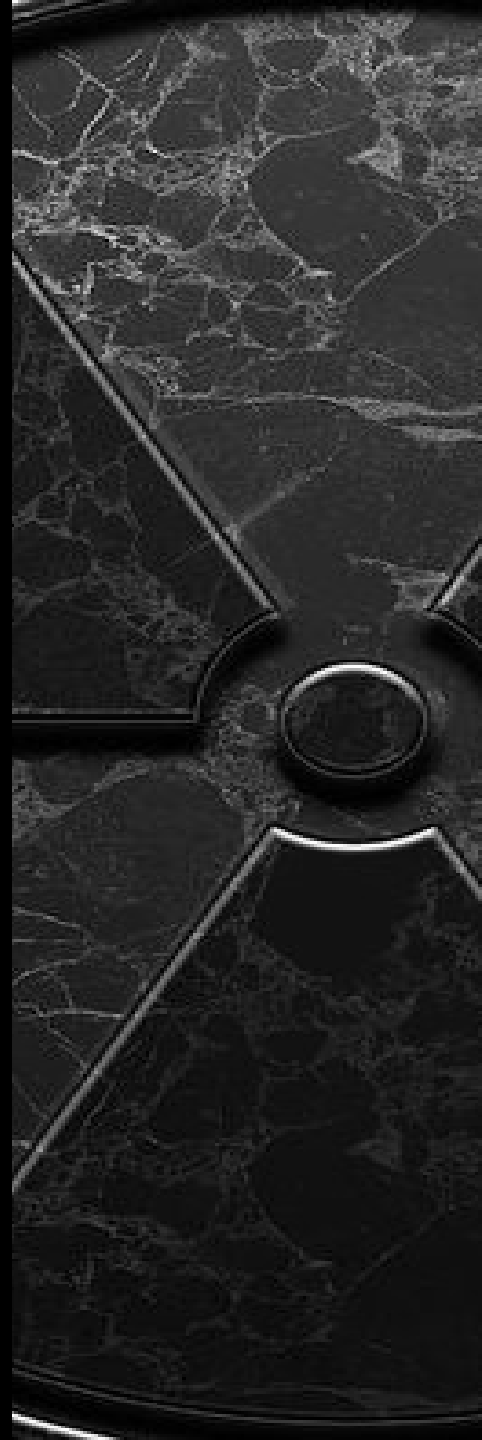
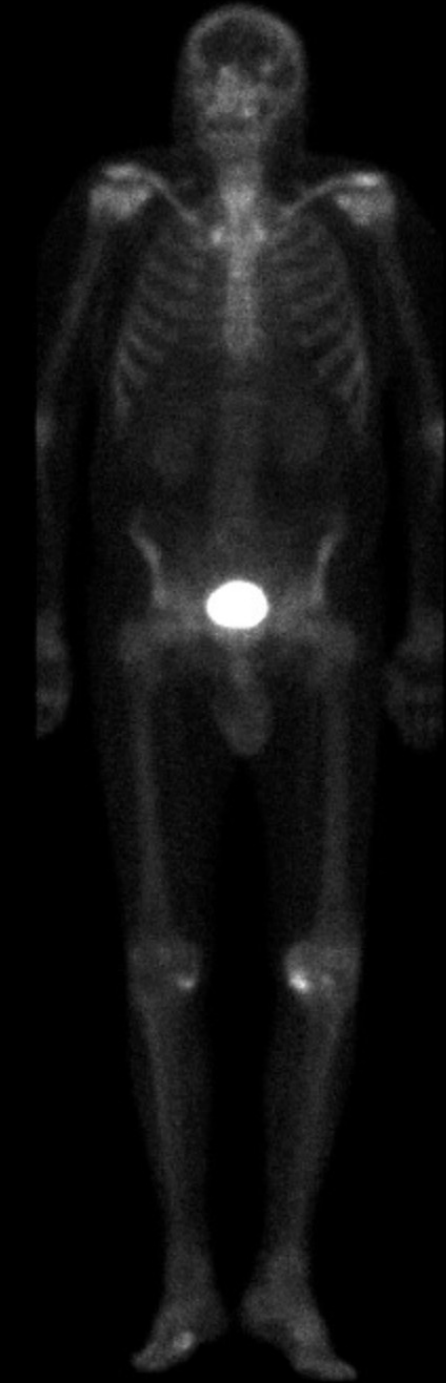
SPECT

- Jednofotonová emisní výpočetní tomografie
- Fotony záření jsou detekovány z různých směrů, což umožňuje rekonstrukci příčného řezu tomogramu
- (Kolem těla krouží Angerova gama kamera x
Mnoho detektorů uspořádáno kolem těla do kruhu nebo čtverce. Celý systém se otáčí kolem těla po spirále).
- Vyšetření skeletu – metastázy, únavové fraktury, plicní perfuze, perfuze myokardu, neuroendokrinní tumory, štítná žláza...



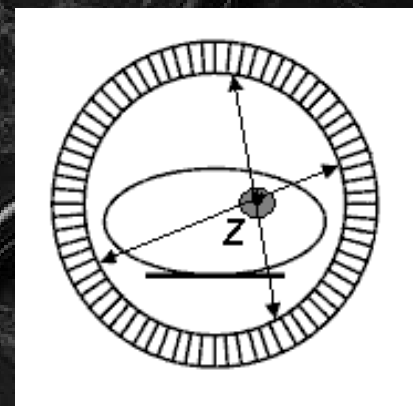






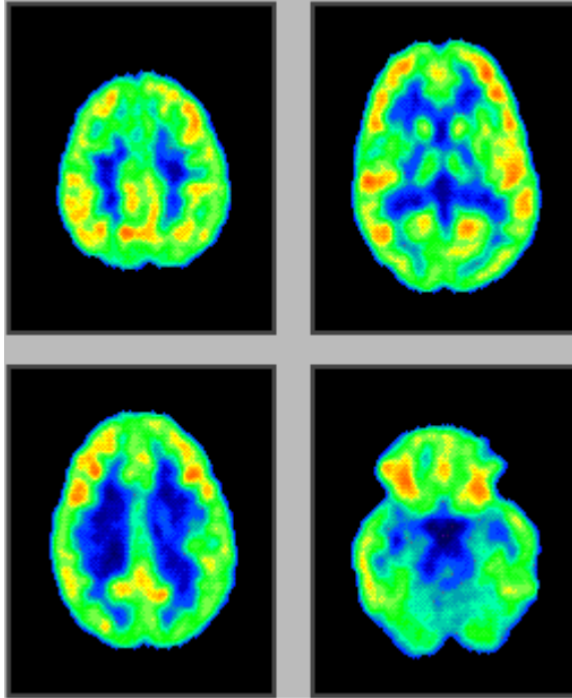
PET

- Pozitronová emisní tomografie
- Pozitronové zářiče vyráběné pomocí urychlovačů, velmi krátké poločasy (max. hodiny).
- Flour-18, nejčastěji ve formě flouordeoxyglukózy (FDG), vychytávají metabolicky aktivní tkáně
- Pozitrony urazí jen krátkou vzdálenost a anihilují s elektrony za tvorby dvou fotonů gama (0,51 MeV), které se pohybují přesně opačnými směry, mohou být detekovány dvěma protistojnými detektory (v koincidenčním zapojení).

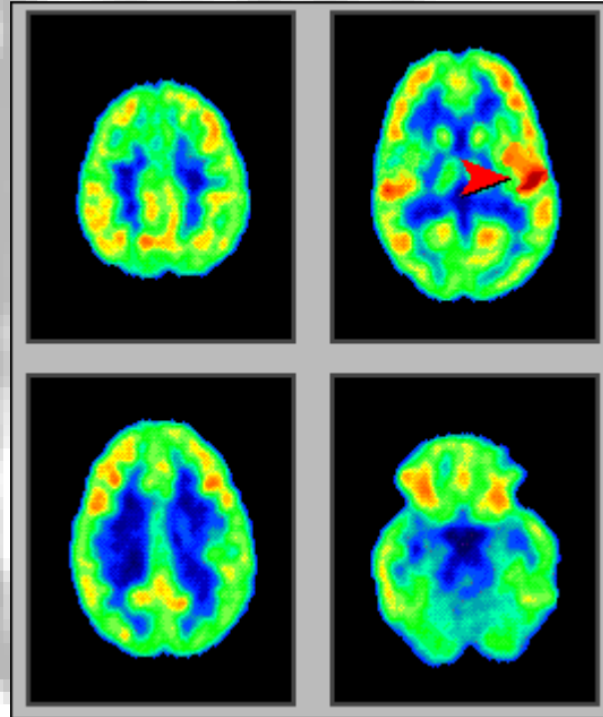


Funkční PET mozku

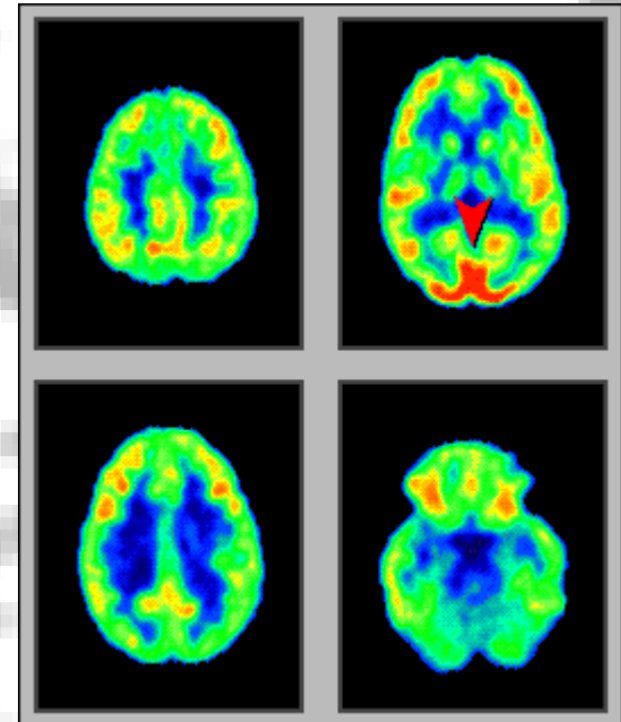
http://www.crump.ucla.edu/software/lpp/clinpetneuro/lggifs/n_petbrainfunc_2.html



Duševní klid



Hudba – neverbální
akustický podnět

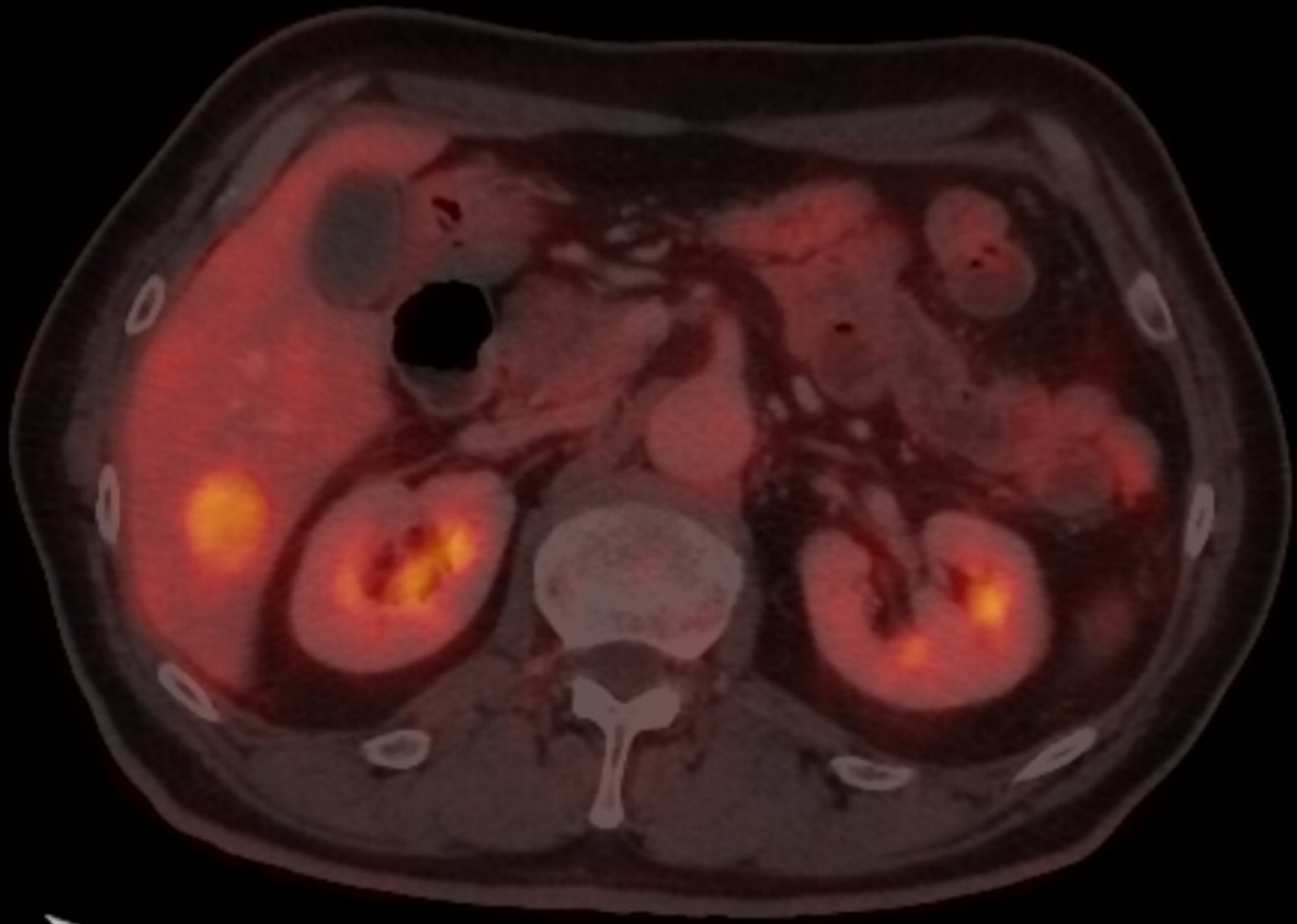


Zrakový podnět

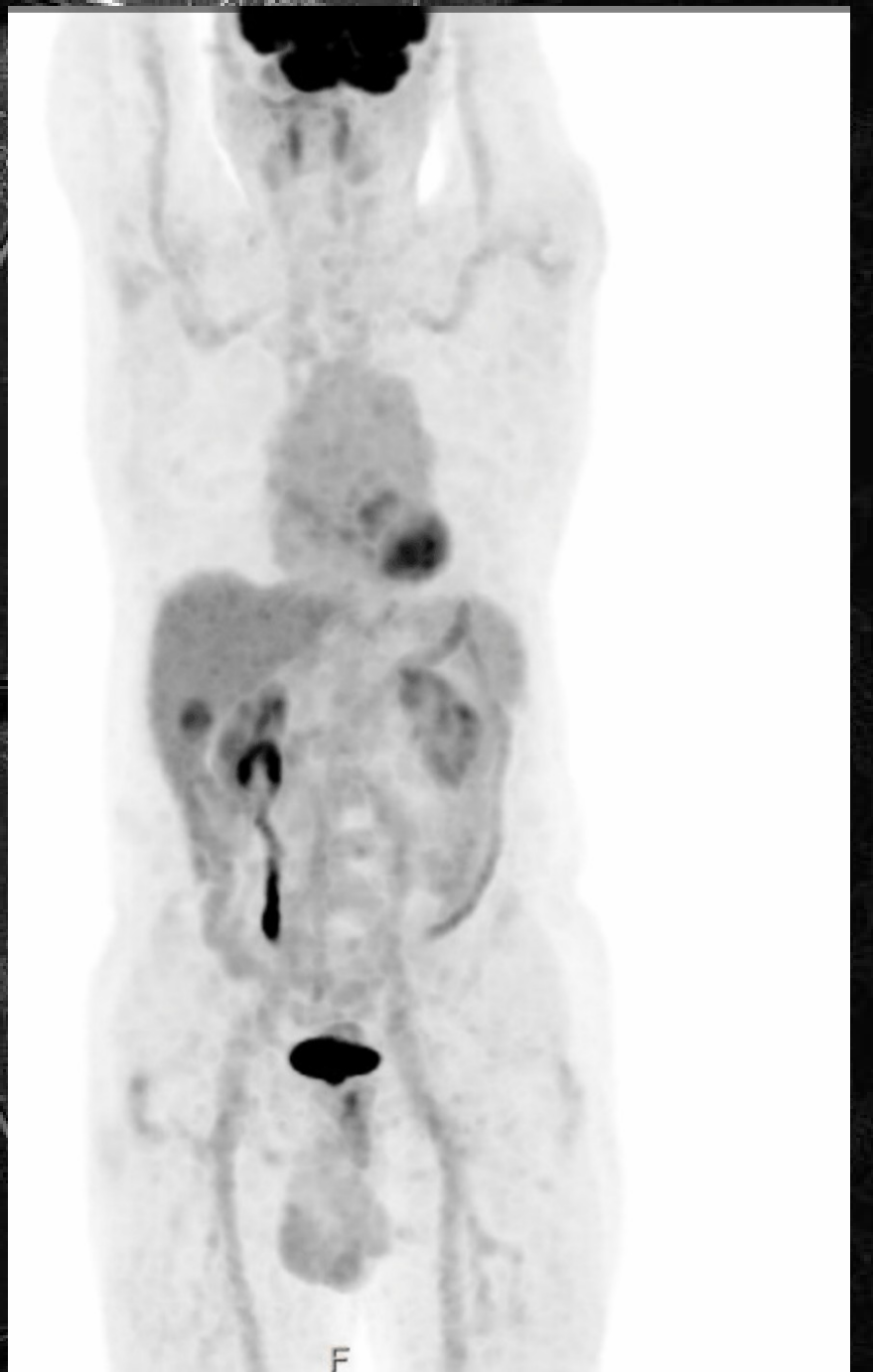
Fúzní metody

- Spojení metody nukleární medicíny a anatomické zobrazovací metody
- Kombinace morfologického a funkčního zobrazení
- Oboje součástí jednoho přístroje
- SPECT/CT, PET/CT, PET/MRI

- Staging nádorových onemocnění...



A
R F L
P



F

Radioterapie

- Využívá biologických destruktivních účinků ionizujícího záření
- Nejčastěji léčba nádorů
- Dle umístění zářiče: brachyterapie x teleterapie (x otevřené zářiče)
- Princip: nádorové buňky citlivější k ionizujícímu záření a s horší regenerační schopností než zdravá tkáň
- Často v kombinaci s dalšími terapeutickými metodami (chemoterapie, chirurgická terapie...)

Brachyterapie

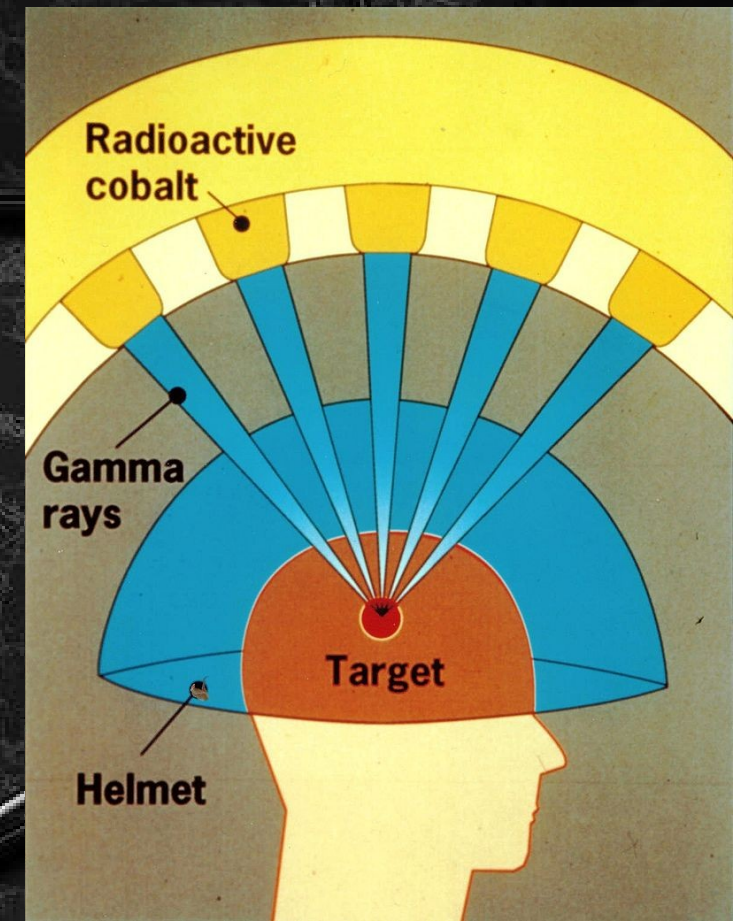
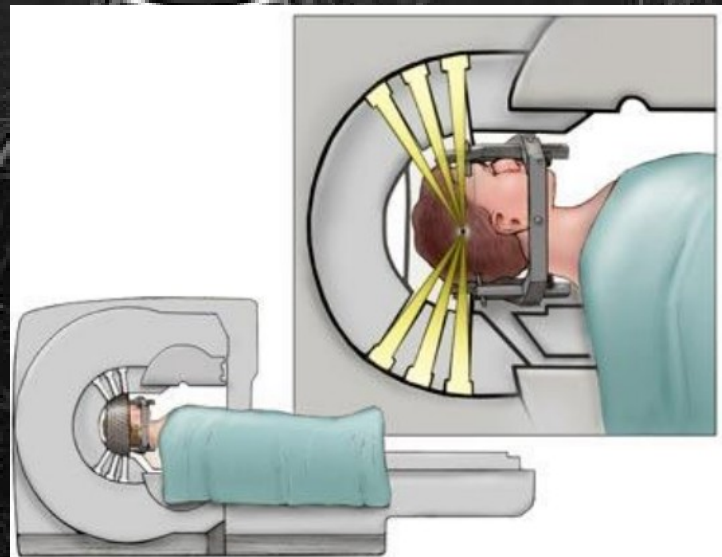
- Uzavřené zářiče, vložené do místa nádoru
- Léčba malých lokalizovaných nádorů
- Formy aplikace: intrakavitální x intersticiální x „muláž“- na povrch těla
- (nádory mozku, polykacích a dýchacích cest, prsu, prostaty, konečníku, kůže, močového měchýře...)
- (Afterloader)
- Cesium 137, Iridium 192

Teleterapie

- Zdroj ionizujícího záření mimo tělo pacienta
- Plánovaná přesná geometrie ozáření, 3D plánování a aplikace z různých prostorových úhlů
- Leksellův gama nůž, lineární urychlovač, cyklotron, „protonová terapie“

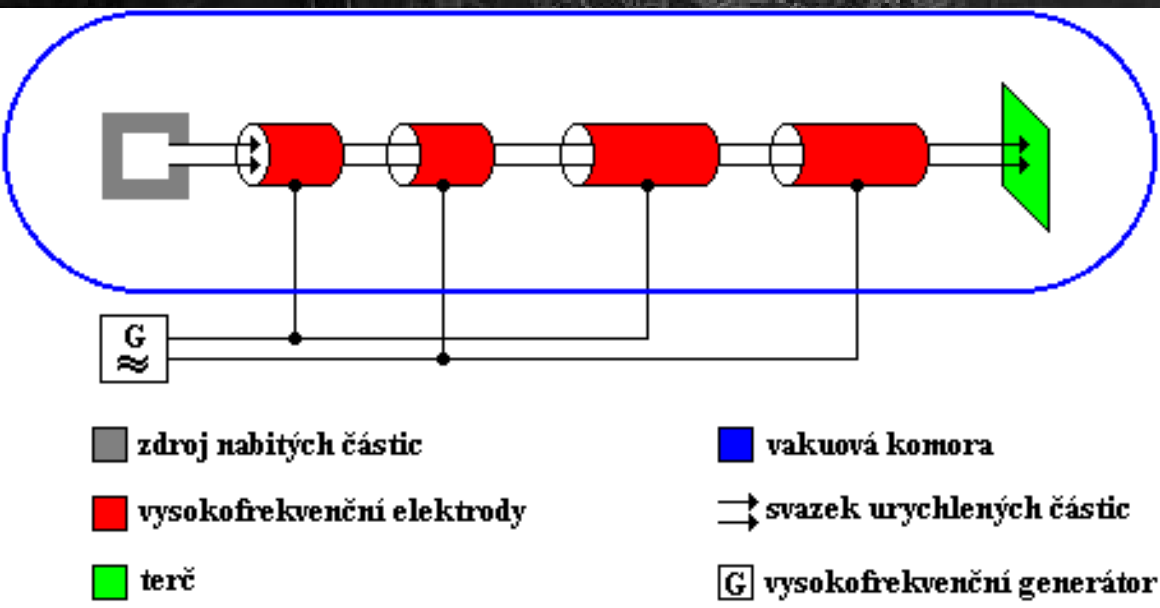
Leksellův gama-nůž

- léčbu některých mozkových nádorů i jiných onemocnění (aneurysmata, epilepsie aj.)
- 201 zdrojů Co-60 pod definovanými úhly s kolimací
- Stereotaktický zaměřovací systém a rám



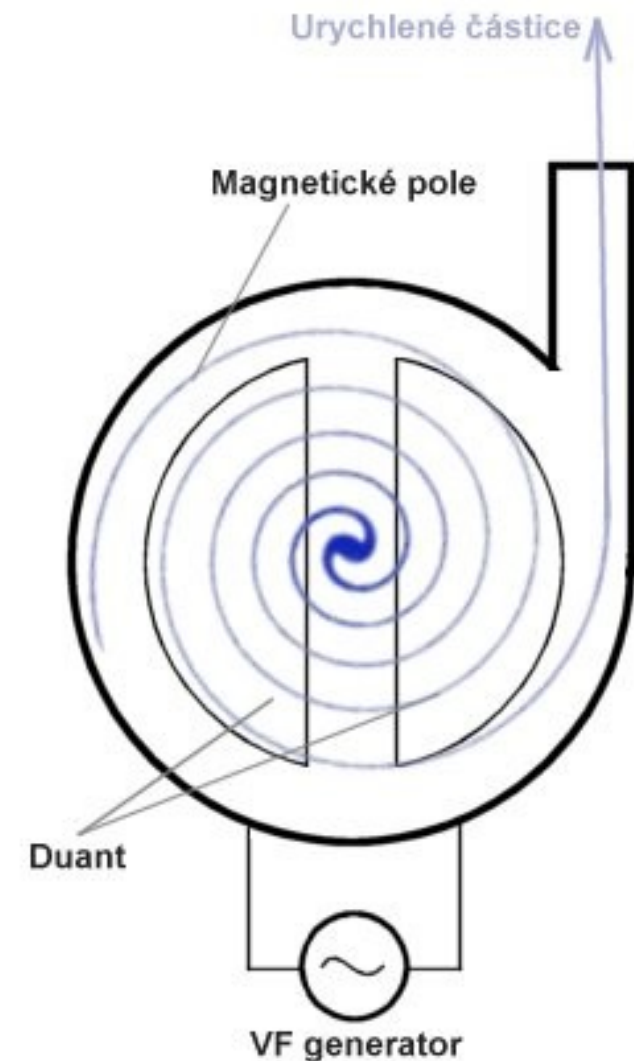
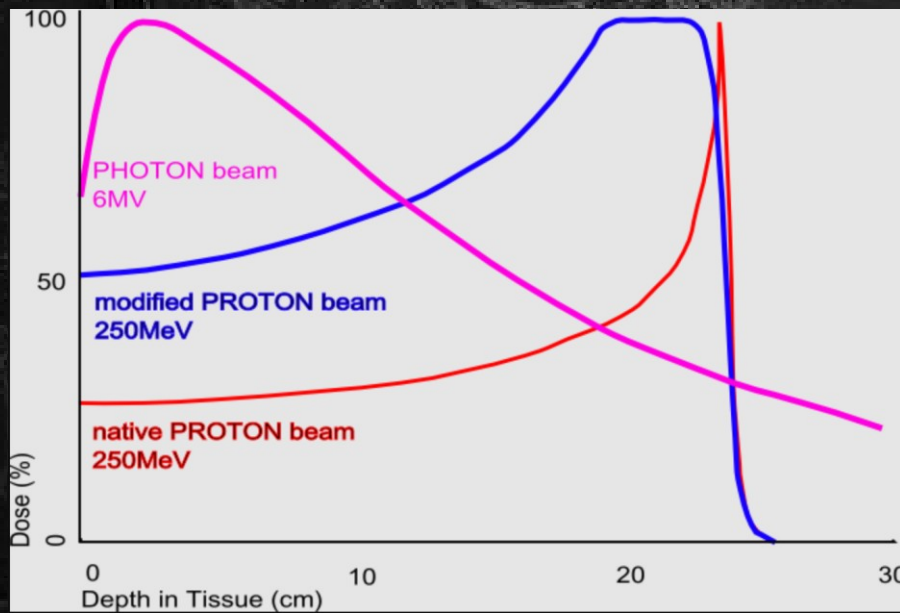
Lineární urychlovač

- Primárně jako zdroj vysoko energetického RTG záření



Cyklotron

- Urychlování těžších částic
- Protony (či i lehké ionty) – hadrony
- Předávají maximum své energie těsně před doběhem v prostřední- Braggův vrchol



Otevřené zářiče

- Radionuklid vpravován do těla především i.v., následně jeho distribuce do cílové oblasti
- Nejčastěji Jod-131 u autoimunní hyperfunkce či nádoru štítné žlázy
- Dále kostní metastázy, revmatické kloubní (synoviortéza), neruoblastomy, radioimunoterapie....

Děkuji za pozornost

Effects of Radioactivity Over Time

Hour:

1



4



6



9



12



14



17



19



21



23



26



29



31



36

