

CHARAKTERISTIKA IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ, OCHRANA, NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA A RADIOTERAPIE

Tomáš Jůza

2022



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 nabité 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

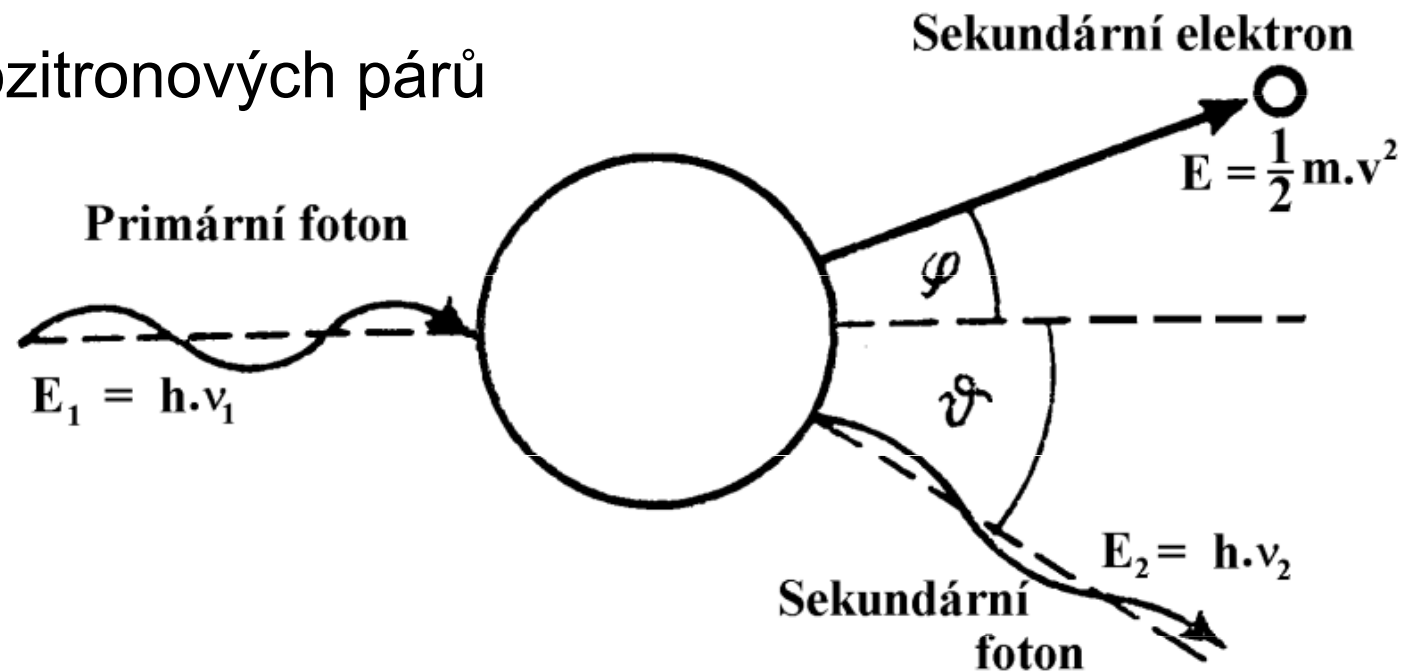
Nepřímá ionizace – neutrony

- 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 nabité 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 této fáze od sekund po léta.

Účinky na buňku

- Dočasné zastavení proliferace
- Reproductivní smrt buněk (dočasné uchování funkce při ztrátě proliferační 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

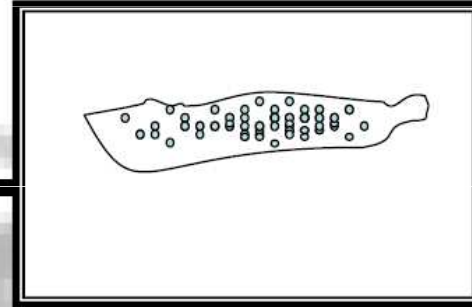
Gama kamera

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

Gama kamera

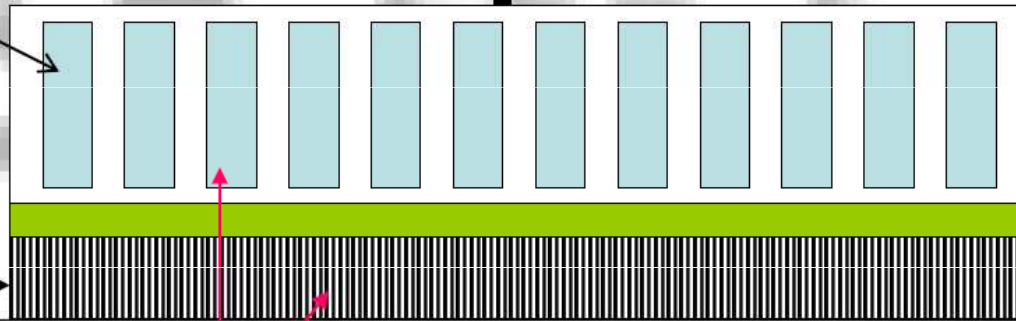


MCA



Fotonásobiče
(nyní
nahrazovány
plochými
digitálními
snímači)

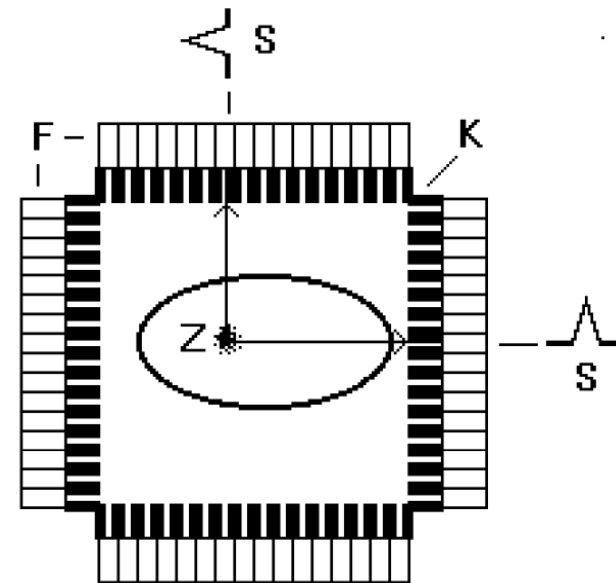
Paralelní
absorpční
Pb kolimátor
umožňuje
lokalizaci
radionuklidu



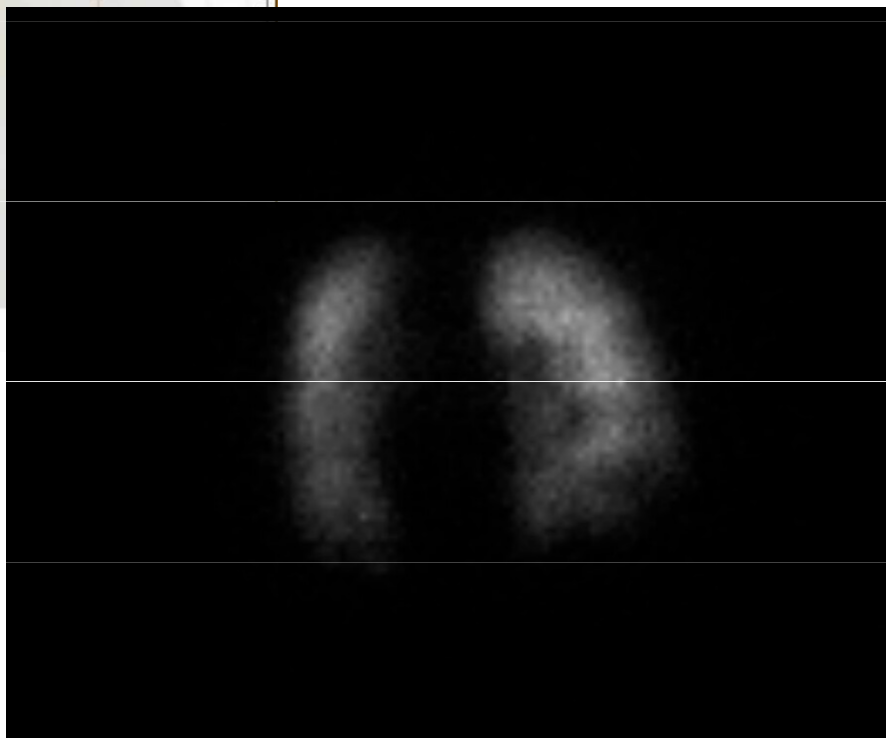
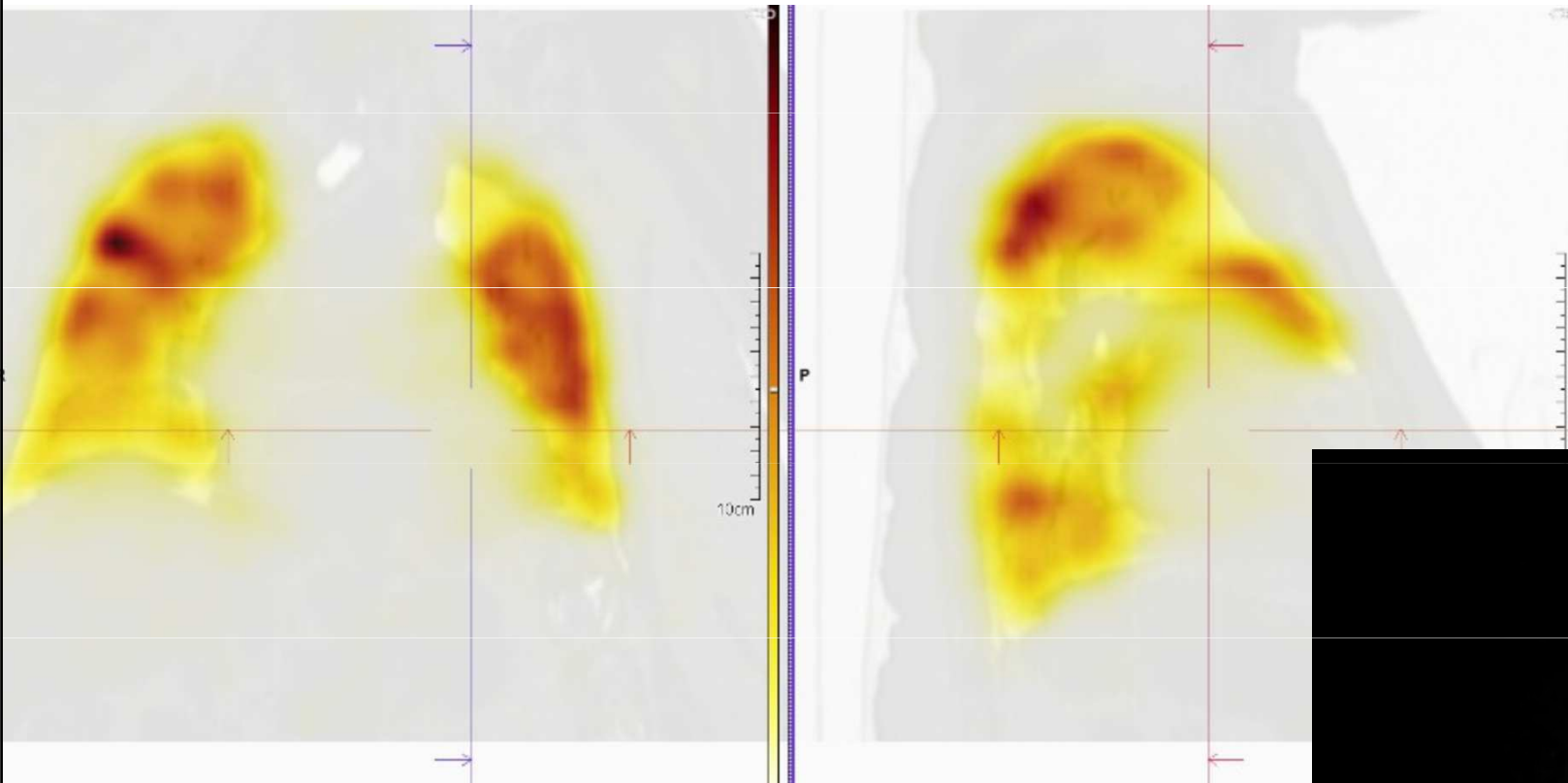
Tenký
(cca 1,5
cm) NaI
scintilátor

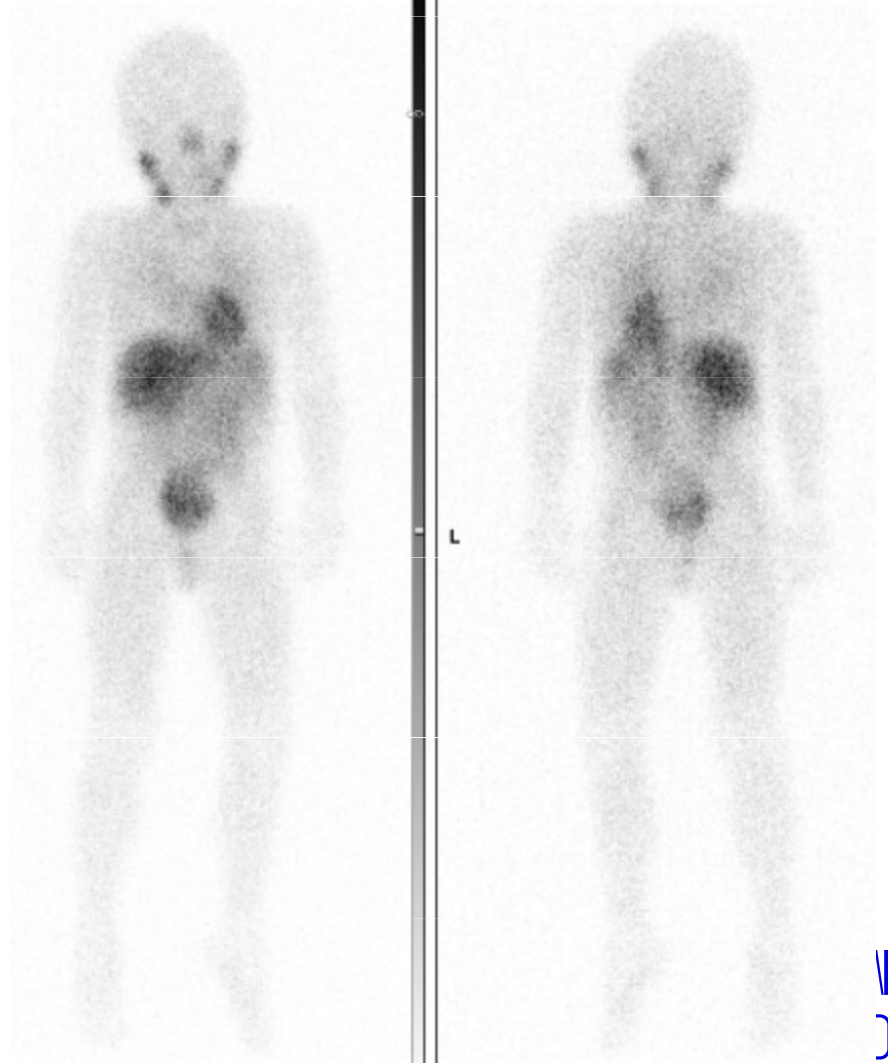
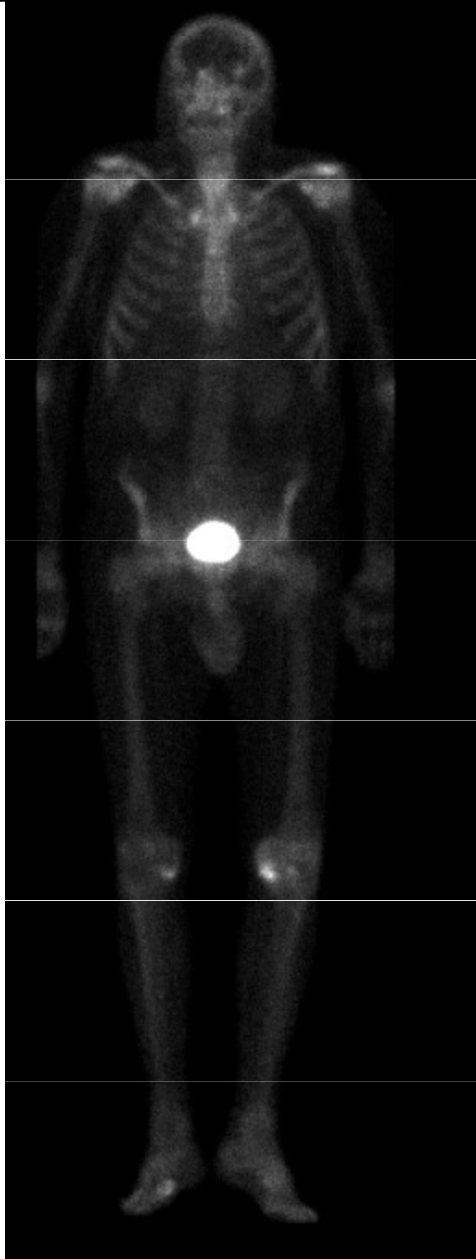
SPECT

- 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...





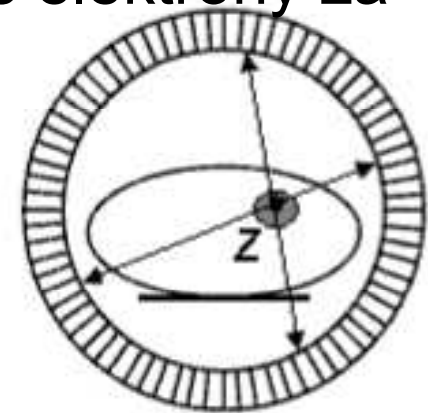




VI
)

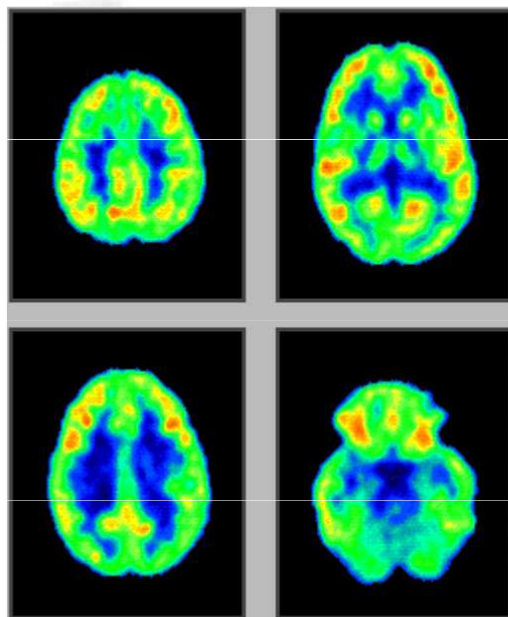
PET

- Pozitronová emisní tomografie
- Pozitronové zářiče vyráběné pomocí urychlovačů, velmi krátké poločasy (max. hodiny).
- Flour-18, nejčastěji ve formě flourdeoxyglukózy (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).

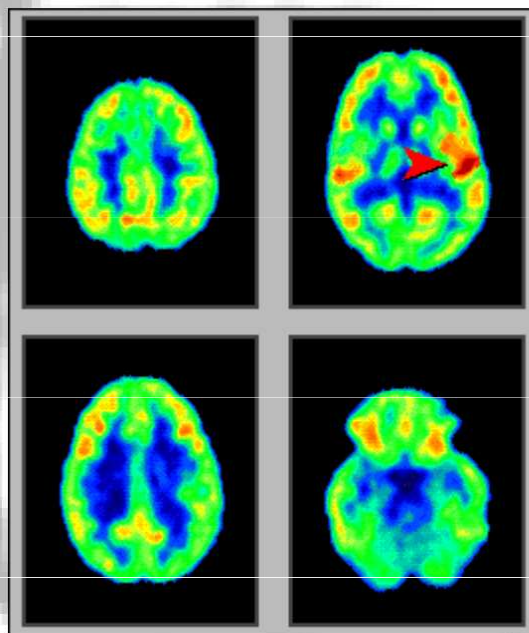


Funkční PET mozku

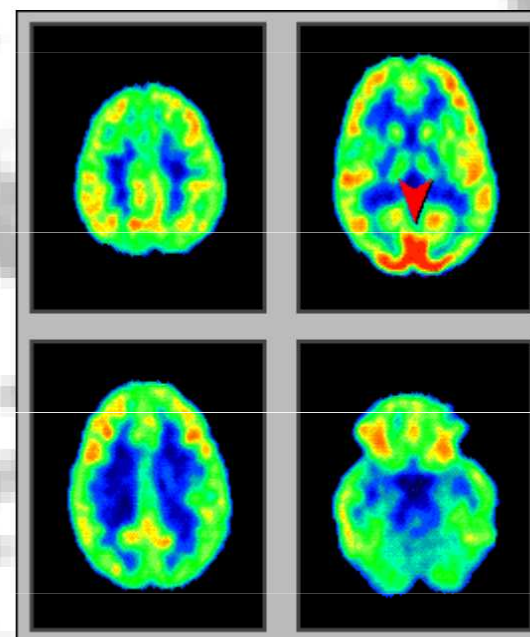
http://www.crump.ucla.edu/software/lpp/clinpetneuro/lggifs/n_petbrainfunc_2.html



Duševní klid



Hudba – neverbální
akustický podnět

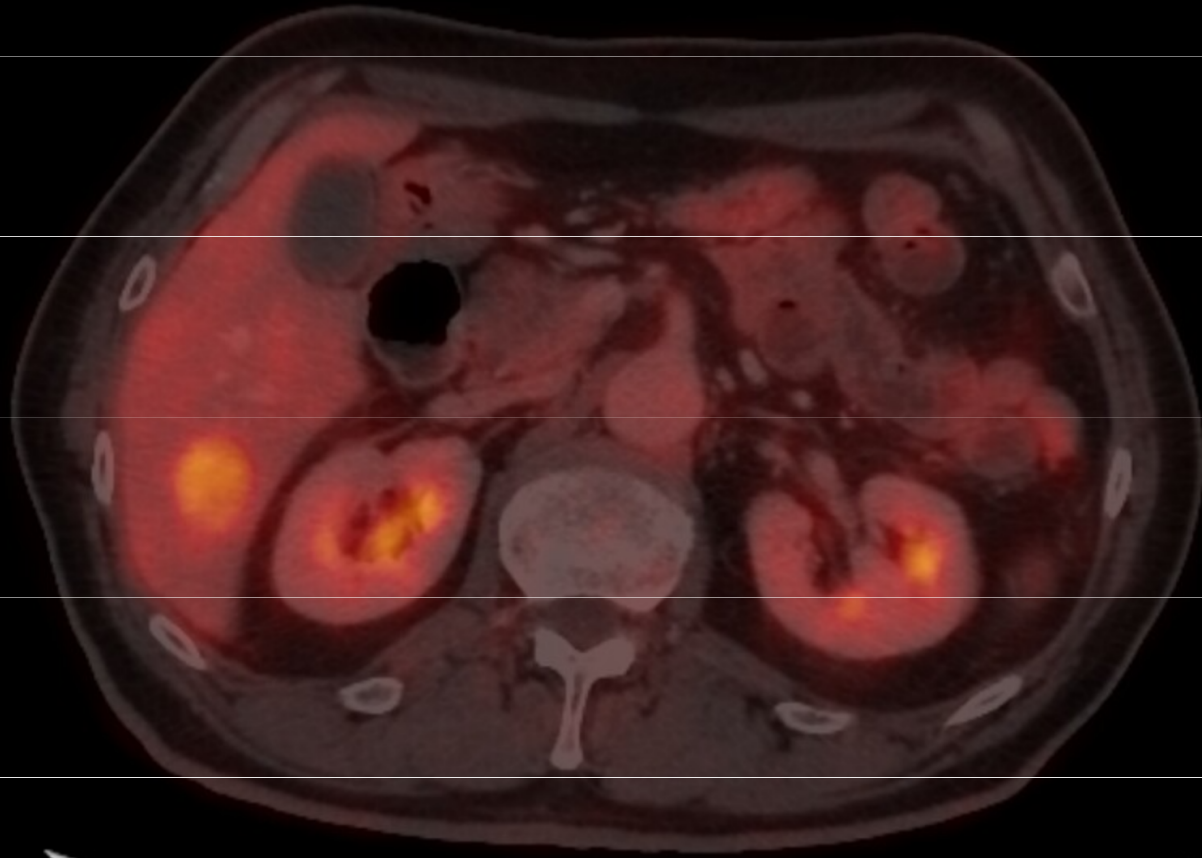


Zrakový podnět

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
- Deterministické účinky 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)

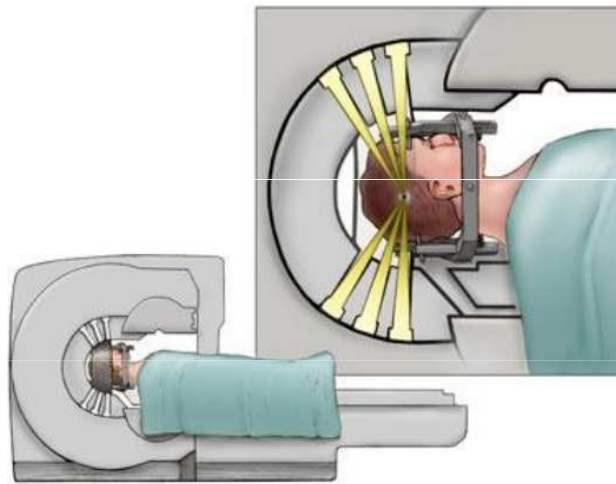
- Cesium 137, Iridium 192

Teleterapie

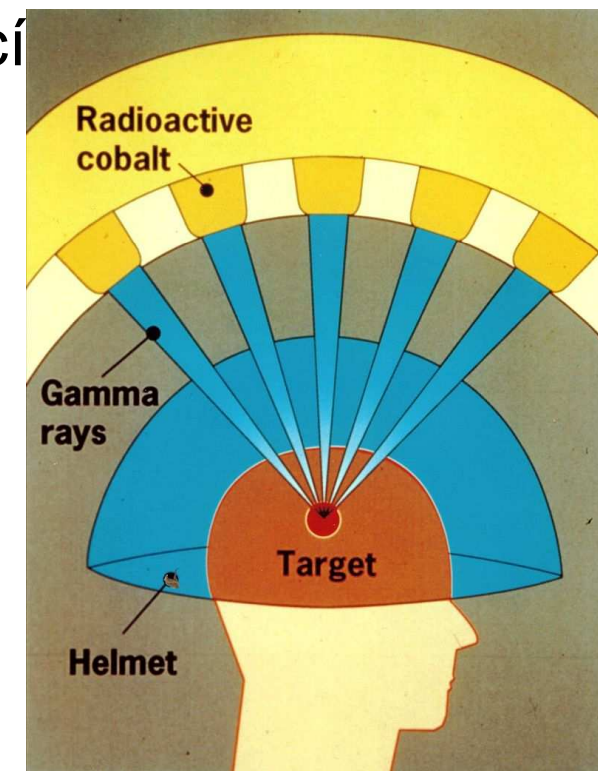
- Zdroj ionizujícího záření mimo tělo pacienta
- Plánovaná přesná geometrie ozáření, 3D plánování a aplikace z různých prostorových úhlů
- Leksellův gama nůž, lineární urychlovač, cyklotron, „protonová terapie“

Leksellův gama-nůž

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

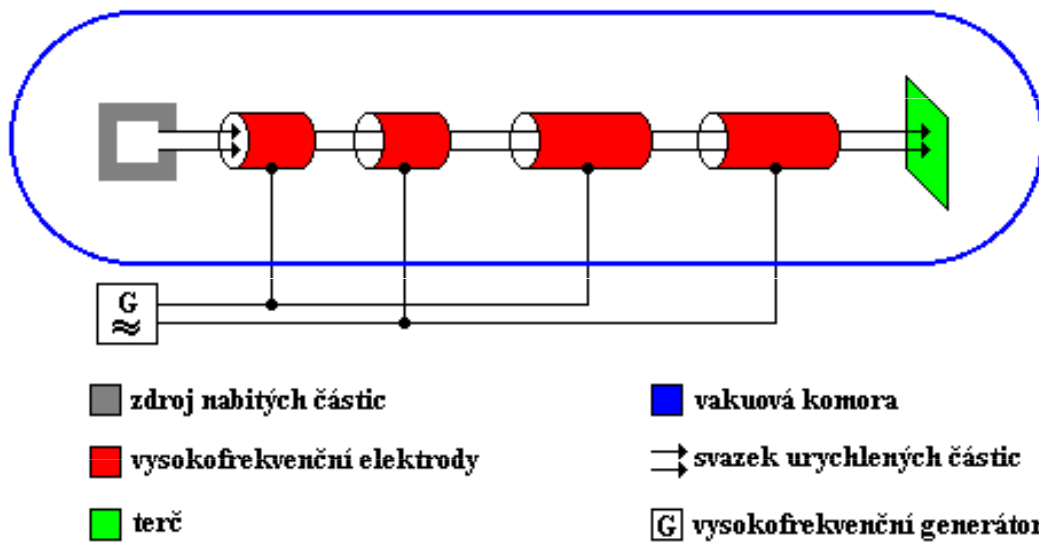


© Mayo Foundation for Medical Education and Research. All rights reserved.



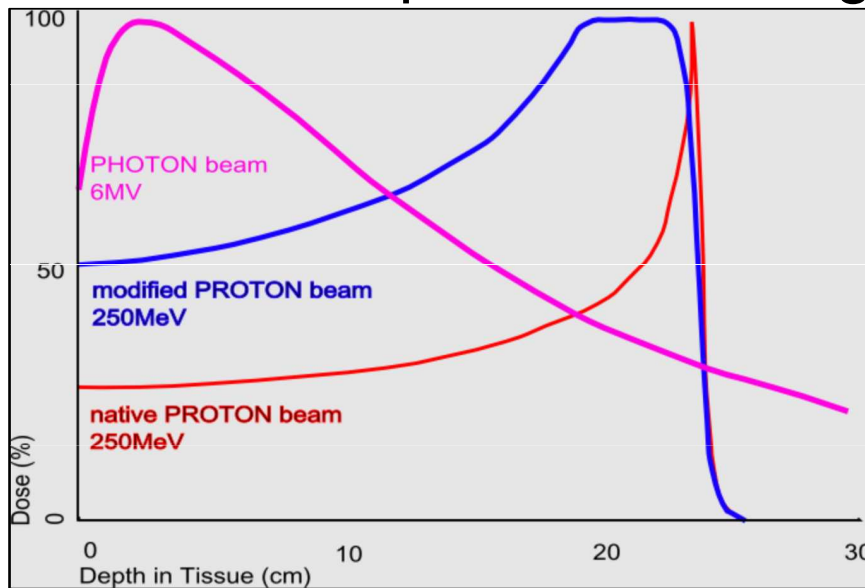
Lineární urychlovač

- Primárně jako zdroj vysoko energetického RTG záření

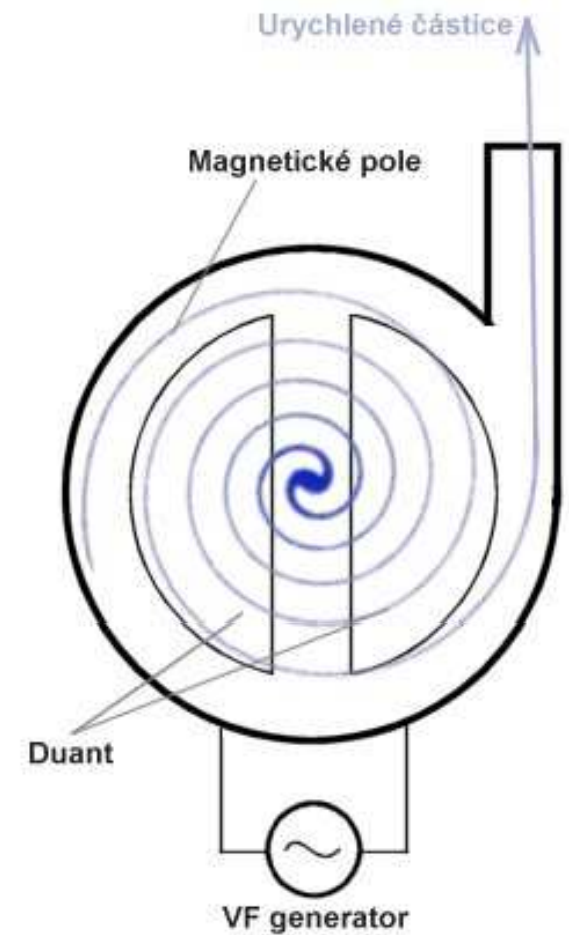


Cyklotron

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



30



[

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:

