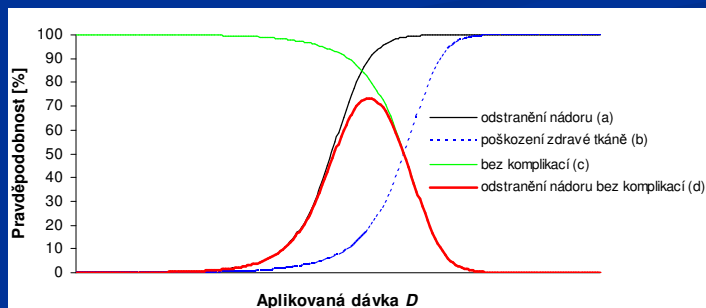


# Radioterapie

Tomáš Pokorný

## Radioterapie

- lokální léčebná metoda, méně pokročilé nádory; paliativní léčba
- maximalizovat pravděpodobnost odstranění nádoru, minimalizovat pravděpodobnost vzniku komplikací
- dopravit do nádorového ložiska letální dávku, nepřekročit toleranční dávku okolních tkání
- přizpůsobit oblast předávané dávky podle tvaru ložiska
- frakcionace



## Princip radioterapie

- Částice s velkou energií narazí na atom v buňce a předá mu svou energii, což většinou vede na vyražení atomu z molekuly
- Poškozené buňky umírají a jsou sami odstraněny tělem

## Druhy radioterapie

Využití účinků ionizujícího záření na živou tkáň:

- záření Alfa (protony a lehké ionty) – Hadronová terapie
- záření Beta (elektrony) – radikální radioterapie
- záření Gama, X (fotony)

# Druhy radioterapie

## Klasické techniky radioterapie

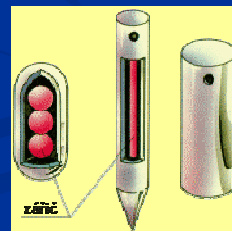
- Brachyterapie
- Terapie externími či fotonovými svazky

## Speciální techniky radioterapie

- Stereotaktická teleradioterapie a radiochirurgie
- Radioterapie pomocí hadronů
- Neutronová záchytová terapie na bóru (NBCT)

## Brachyterapie (ozařování zblízka)

- brachy = řecky „malá vzdálenost“
- LDR – malý dávkový příkon, dlouhá doba ozařování (10<sup>ty</sup> hod.)
- HDR – velký dávkový příkon, krátká doba ozařování; afterloading
- je používáno u relativně malých a dobře přístupných nádorových ložisek
- zdroj záření se zavádí do bezprostřední blízkosti nádoru (např. do pochvy nebo do průdušek)  
nebo ve formě jehel či drátů přímo do nádorového ložiska (např. do nádoru prsu nebo konečníku)



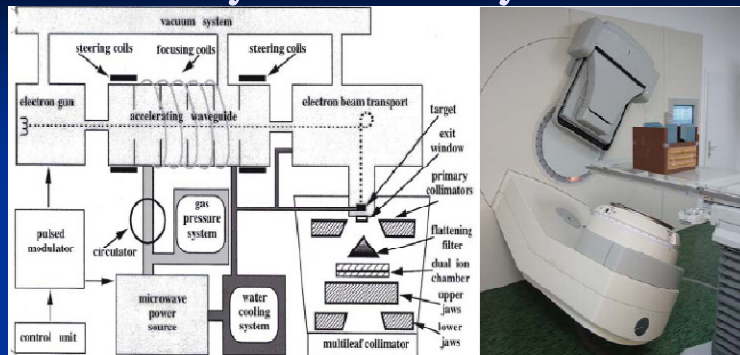
## Brachyterapie

- zdokonalení představuje tzv. **afterloading**:  
do cílové oblasti či tělesné dutiny se nejprve přesně zavede **kanyla**; do ní se pak na stanovenou dobu zavádí vlastní zářič
- používají se zářiče:  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{192}\text{Ir}$   
(dříve i  $^{226}\text{Ra}$  - nevýhoda - vzniká Rn)
- zářiče mají tvar kuliček, jehel, nebo tub

## Terapie externími fotonovými či elektronovými svazky

- Ozařuje se povrch pacienta.
- Přístroje:
  - Radionuklidové ozařovače ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ )
  - Lineární urychlovač
- Využívá se radiosenzitivity tkání (míry pravděpodobnosti poškození po ozáření určitou dávkou).
- V praxi je obtížné najít přijatelnou dávku záření a radiosenzitivitu tkání, tak aby jsme dosáhli přijatelného poměru poškození zdravé a nemocné tkáně.
- Použití více svazků záření, které do pacienta vstupují z různých směrů a protínají se v jednom bodě (izocentru).

## Klinický lineární urychlovač



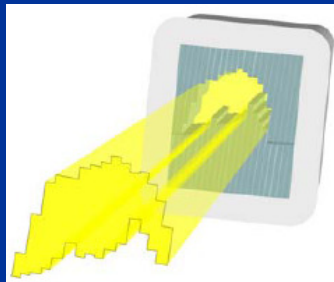
- Urychluje elektrony na jednotky až desítky MeV.
- $e^-$  produkované LU interagují s terčem z těžkého kovu a produkují RTG (brzděné) záření, které je kolimováno a ozařuje lézi
- svazek  $e^-$  lze pomocí EM pole různě vychylovat  $\Rightarrow$  ozařování RTG zářením úzkým svazkem z mnoha stran  $\Rightarrow$  dovoluje ozařování nádoru větší dávkou

## Lineární urychlovač

- K tvarování svazku se používá
  - stínění z kovu s nízkou teplotou tání
  - **vícelistý kolimátor (MLC)** - je částí klinického lineárního urychlovače, která zastíňuje paprsky a tím umožní vytvoření různých tvarů radiačního pole.
- Filtr vytváří stejnou intenzitu (fluenci) záření v definované oblasti
- používá se typicky 6-10 svazků

## Radioterapie svazky s modulovanou fluencí (IMRT)

- Vychází z předchozí technologie MLC.
- Umožňuje navíc vytvářet série nepravidelných subpolí s různou relativní vahou.



## Stereotaktická radioterapie a radiochirurgie

- Extrémně vysoká terapeutická dávka záření
- Nutná vysoká přesnost ozáření
- Pacient musí být dobře fixován k přístroji
- Přístroje:
  - Leksellův gama nůž
  - Lineární urychlovač se speciálními kolimátory s válcovou aperturou či tzv. mikro-MLC (MLC s proměnnou a velmi malou šířkou lamel).

## Laksellův gama nůž



## Laksellův gama nůž

- radionuklidový ozařovač
- zdrojem gama záření je 201 URZ  $^{60}\text{Co}$
- technologie nahrazující klasickou operaci při odstraňování nitrolebních lézí (nádorů, cévních malformací)

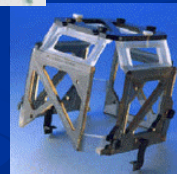
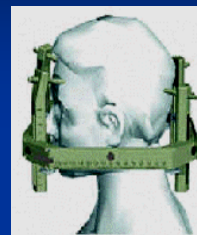
### Technologie

Leksellův gama nůž se skládá ze tří hlavních komponent:

- 1) Radiační jednotka (ukrývající 201 zdrojů gama záření sbíhajících se do jednoho ohniska), se čtyřmi vyměnitelnými kolimačními helmicemi s kolimátory 4, 8, 14 a 18 mm a léčebným lůžkem.
- 2) Leksellův stereotaktický rám (Leksellův koordinátový rám)
- 3) Plánovací systém.



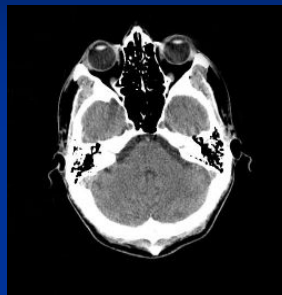
## Postup aplikace LGN- příprava



- Pacientovi je upevněn na hlavu stereotaktický rám (lokální anestetika v místě upevnění šroubů)



## Postup aplikace LGN- mapování



- V souladu s polohou stereotaktického rámu je pomocí metod CT, MRI, případně digitální subtrakční angiografie přesně stanovena lokalizace poranění (nátoru) a označeno místo a úhel průniku záření

## Postup aplikace LGN-plánování



- Tvorba radiačního plánu na základě výsledků vyšetření pomocí zobrazovacích metod.
- Počítačová simulace

## Postup aplikace LGN-léčba



- Umístění pacienta do komory s kobaltovým zářičem, který emituje gama záření o vysoké energii přes kolimátorovou helmici s 201 zářiči  $^{60}\text{Co}$

## Indikace LGN

**Při rozhodování o „indikaci“ LGN jsou brána tato hlediska:**

- hloubka a nepřístupnost poranění (nádoru)
- v mozku (LGN umožňuje zásah v hloubce mozkové tkáně)
- přilehlost artérií a nervů a dalších struktur (LGN je přesný)
- citlivost tkáně k radioaktivnímu záření (okolní tkáň je vystavena minimální radiační zátěži)
- vyloučení rizika krvácení, infekcí a dalších post operativních komplikací
- krátká délka hospitalizace
- 70% ceny klasických neurochirurgických výkonů

## Výkony k indikaci LGN

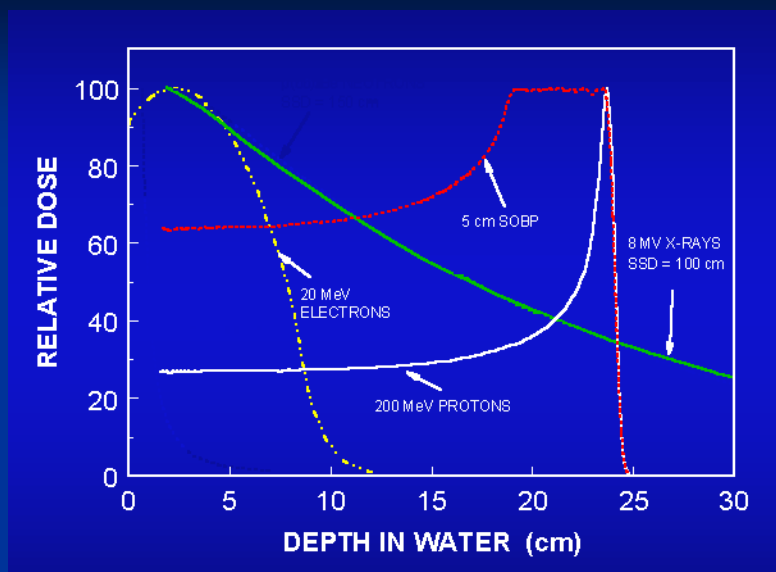
- **Cévní onemocnění:**
  - Arterio-Venózní malformace
- **Nezhoubné nádory:**
  - Akustický Neurom
  - Meningiom
  - Hypofýza
  - Šišinka mozková
  - Craniopharyngiom
  - Hemangioblastom
  - Nádory hlasivek
- **Zhoubné nádory:**
  - Metastázy
  - Zhoubný chrupavkový nádor
  - Nádory oční
  - Hemangiopericytom
- **Funkční poruchy:**
  - Úporné bolesti
  - Bolest trojklaného nervu
  - Parkinsonova nemoc
  - Psychoneurózy
  - Epilepsie

## Radioterapie pomocí hadronů

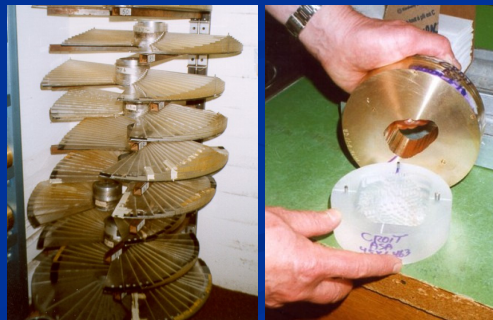
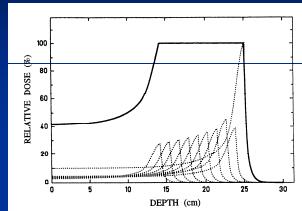
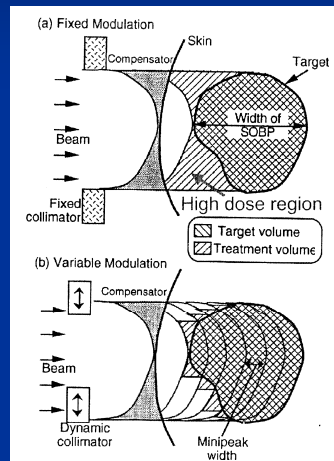
- protony, lehké ionty
- U těžkých nabitých částic se dosahuje maxim deponované energie až hluboko v tkáni blízko max. dosahu částic.
- Proto lze dosáhnout podstatně vyšší konformity dávkové distribuce (šetření zdravé tkáně) s velmi malým počtem svazků
- Další výhoda těžkých nabitých částic je v radiobiologii – díky vysokému LET (lineární přenos energie) mají výrazně vyšší radiobiologickou účinnost v oblasti maxima depozice energie – tzv. Braggova píku.
- Menší okysličení nádoru než u fotonů.

# Technické požadavky HT

- dosah ve tkáni
  - nádory očí 2-3,5 cm
  - oblast hlavy a krku 2-10 cm
  - uvnitř těla 2-25 cm
- potřebná maximální energie
  - protony 220-250 MeV
  - ionty až 400 MeV
- ozáření celého objemu
  - posun Braggova maxima (1-3 mm) filtry → kroky změny E (0,5-1 MeV)
  - aktivní scanning – meandrovitý paprsek
- dávková rychlost → tok částic
- urychlovače
  - cyklotron (IBA, Accel)
  - synchrotron (PIMMS, PRAMES, Optivus)



## Modulace svazku (pasivní rozptyl)

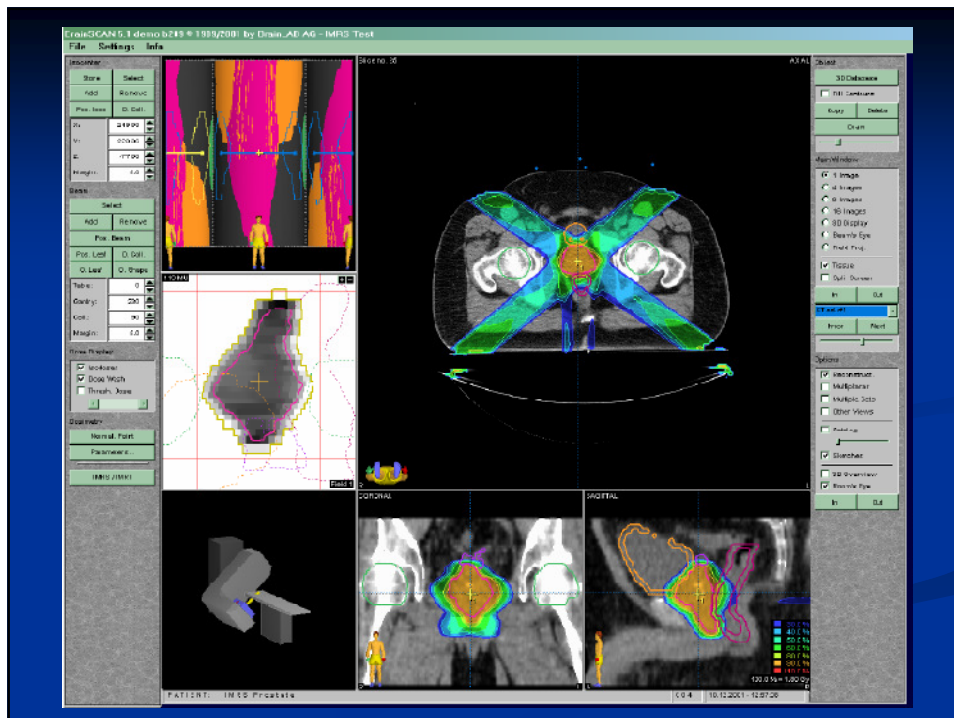


## Neutronová záchyťová terapie na bóru (BNCT)

- Zdroj neutronů: reaktor nebo urychlovač nabitých částic.
- Používá se pro léčbu mozkových lézí.
- Substance s izotopem  $^{10}\text{B}$  pro vychytávání postižených tkání.
- Ozáření svazkem neutronů, dochází k (neutronovému záchytu) s jádrem bóru.
- Rozpad na  $^4\text{He}$  a jádro  $^7\text{Li}$
- Energie je deponována přímo v postižené tkáni.
- Vysoká cenová a technická náročnost a problémy se selektivitou substance.

# Plánování léčby

- Plánování léčby se provádí pomocí moderních výpočetních systémů.
- Plánovací systémy využívají radiodiagnostické metody.
- Tyto metody řídí počet použitých svazků ozařování, fluenci v bixelech, geometrii aktuálního svazku (úhel ramene urychlovače a úhel rotace stolu s pacientem)
- Simulace (ověření)
  - pomocí simulátoru (RTG, CT)
  - shodný stůl s ozařovacím, fixační pomůcky pacienta



## Radioterapie – hledisko pacienta

- Ozařování po dobu 1 – 7 týdnů
- Jednou, ale vícekrát denně
- Mnoho vedlejších příznaků
  - nechutenství, zvýšená únava a nesoustředěnost
  - na kůži se objevuje zarudnutí nebo svědivá vyrážka a po větší dávce puchýře nebo lehké mokvání kůže
  - v ozářené oblasti mizí ochlupení a vlasy

## Radioterapie - přístroje



Klinický urychlovač



## Radioterapie - přístroje



LU s MV portálem

## Radioterapie - přístroje



Plánovací simulátor

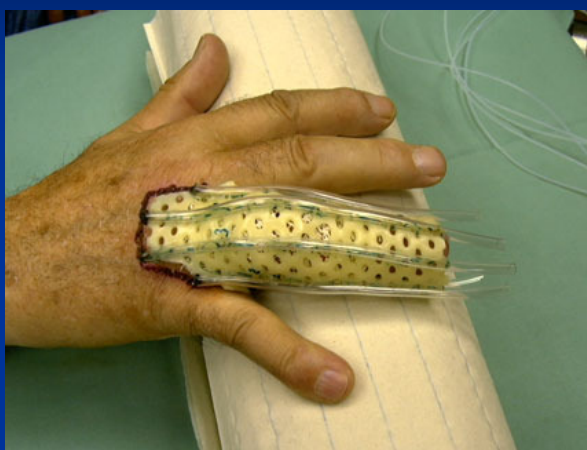


## Radioterapie - přístroje



Zavádění zářičů do blízkosti nádoru (brachyterapie)

## Radioterapie - přístroje



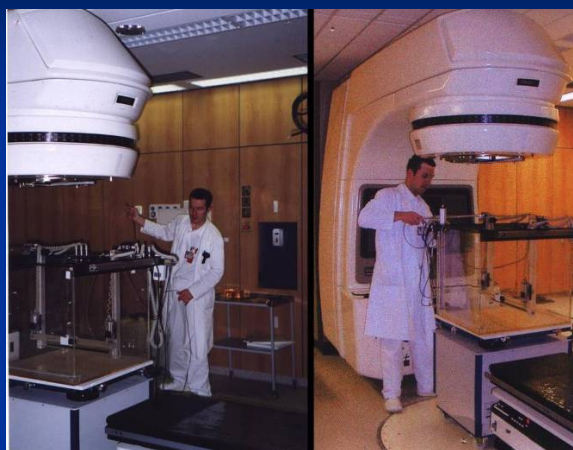
Zavádění zářičů do blízkosti nádoru (brachyterapie)

## Radioterapie - přístroje



Záříč na afterloading (HDR)  
(dodatečné zavádění zářičů na  
brachyterapii)

## Radioterapie - přístroje



Měření vyzářené dávky a parametrů záření vodním fantomem

## Radioterapie - přístroje



Přístroj využívající velmi přesného kolimátoru (optického zaměřovače, který usměrňuje paprsek)

Na obr. je dále vidět naznačené rozprostírání dávky kyvem (aby nedošlo k poškození mozku)