

A photograph of a medical linear accelerator (LINAC) in a treatment room. A patient is lying on a table, and several staff members are visible in the background. The LINAC is a large, white, cylindrical machine with a circular opening at the end. The room is brightly lit with overhead lights.

# Radiační onkologie- radioterapie

Doc.RNDr. Roman Kubínek, CSc.

Předmět: lékařská přístrojová technika

# Historie radioterapie

**Ionizující záření** – základní léčebný prostředek (často se však používá v kombinaci s chemo a imuno-terapií).

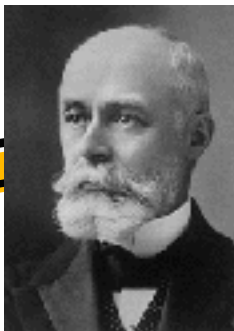
**Základní objevy:** rtg záření (X-ray) C.Roentgenem 1895, M.C. Sklodowskou-objev záření Ra a Po 1898

r.1930-zásady frakcionovaného záření (denní dávky) Coutardem

**Objev umělého radioizotopu Co** (při vývoji atomové bomby) přinesl levnější zdroj záření než je Radium a s větší energií (MeV)

**Vývoj betatronu a lineárního urychlovače**

Od 70.let 20.stol. rozvoj radiobiologie-kromě dávky, času, existují další faktory (buněčná reparace, repopulace, redistribuce v rámci buněčného cyklu atd.)



H.Becquerel  
1896-  
radioaktivita  
Uranu



C.W.Roentgen  
1895 -X-ray



M.C.Sklodovská



# Působení a účinky ionizujícího záření na hmotu

## Záření s nižší energií (do 10 keV)

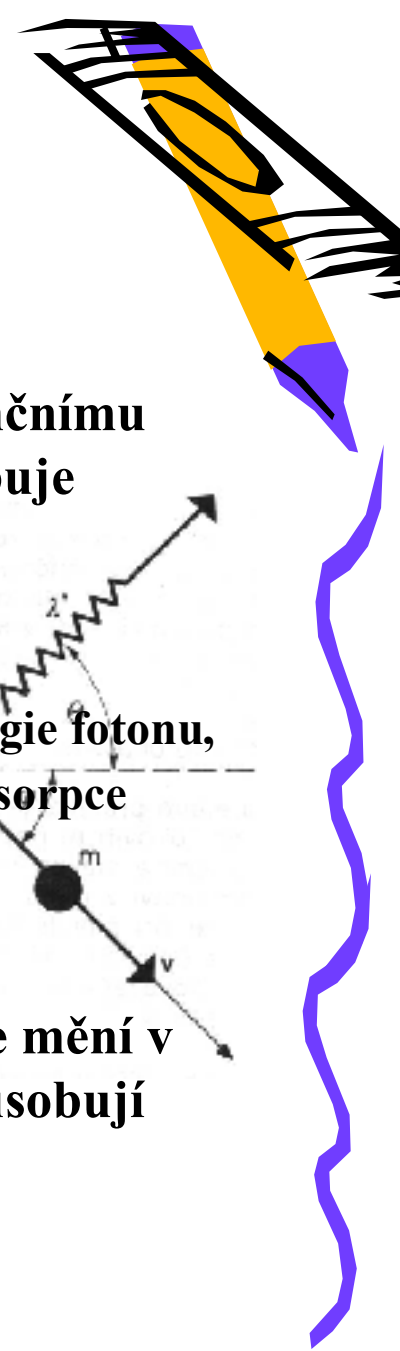
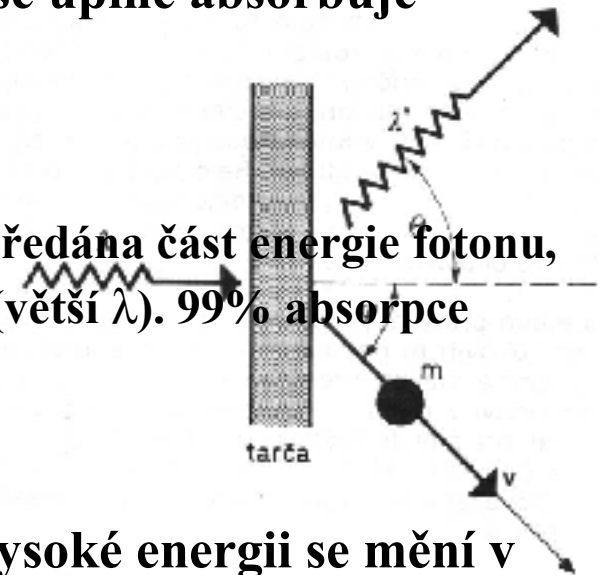
**Fotoefekt** - dopadající záření odevzdá veškerou energii valenčnímu elektronu, který je z atomu vyražen a záření se úplně absorbuje (vyražený fotoelektron ionizuje další atomy).

## Záření s vyšší energií (nad 10 keV)

**Comptonův rozptyl** – valenčnímu elektronu je předána část energie fotonu, ten se odchýlí od původního směru s nižší energií (větší  $\lambda$ ). 99% absorpce záření s energií 200 keV

## Záření se supervoltážní energií (nad 1 MeV)

**Tvorba dvojice pozitron-elektron** - záření o vysoké energii se mění v atomu na pár  $e^+$  a  $e^-$  s energií 1,02 MeV, tyto částice pak způsobují další ionizace



# Působení a účinky ionizujícího záření na hmotu

**Absorpce záření v látce je ovlivněno:**

- druhem záření
- energií záření
- složením látky

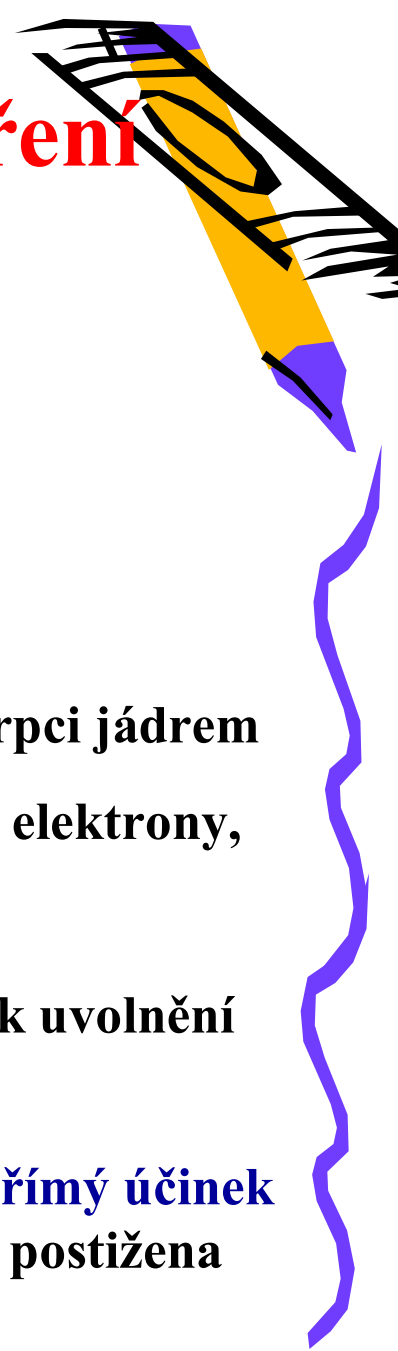
**Po absorpci záření dochází:** k excitaci, ionizaci a absorpci jádrem

**Elektromagnetické záření** ionizuje hmotu vyraženými elektrony,

**Korpuskulární záření** ionizuje hmotu přímo.

**Neutronové záření** reaguje s jádrem atomu a dochází k uvolnění fotonů, protonů, resp.  $\alpha$  částic

**Mechanismus působení záření na hmotu:** přímý a nepřímý účinek (fyzikálně chemické a biochemické reakce). Nejvíce je postižena voda, bílkoviny, nukleové kyseliny a enzymy.



# Radiosenzitivita

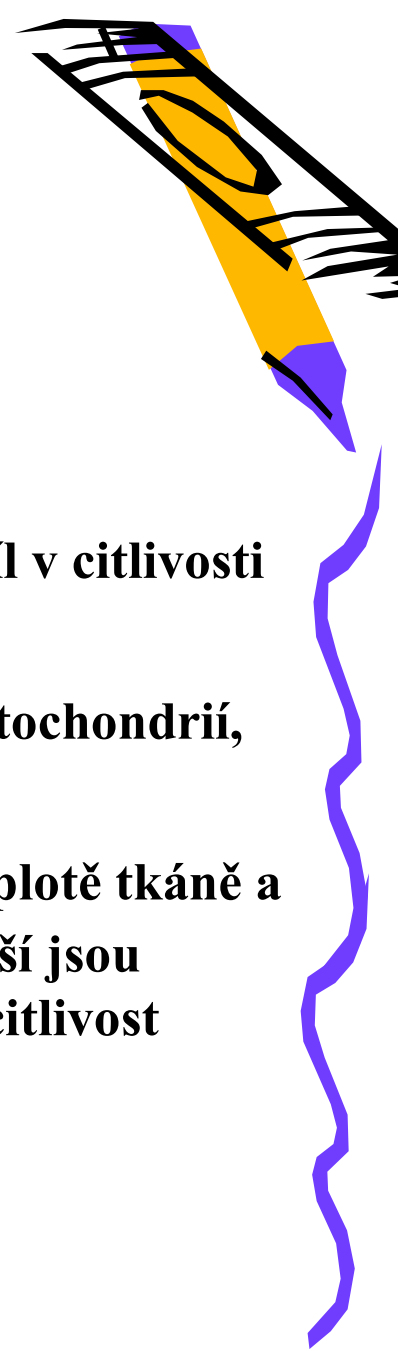
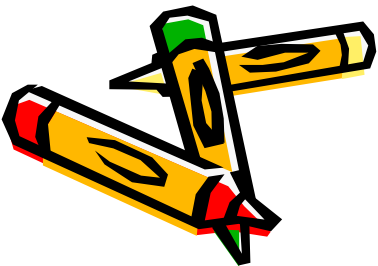
Absorbované ionizační záření působí na buňky a tkáně.

**Velké dávky** působí destruktivně na všechny buňky.

**Nižší dávky** vedou k postižení různého stupně-existuje rozdíl v citlivosti na záření.

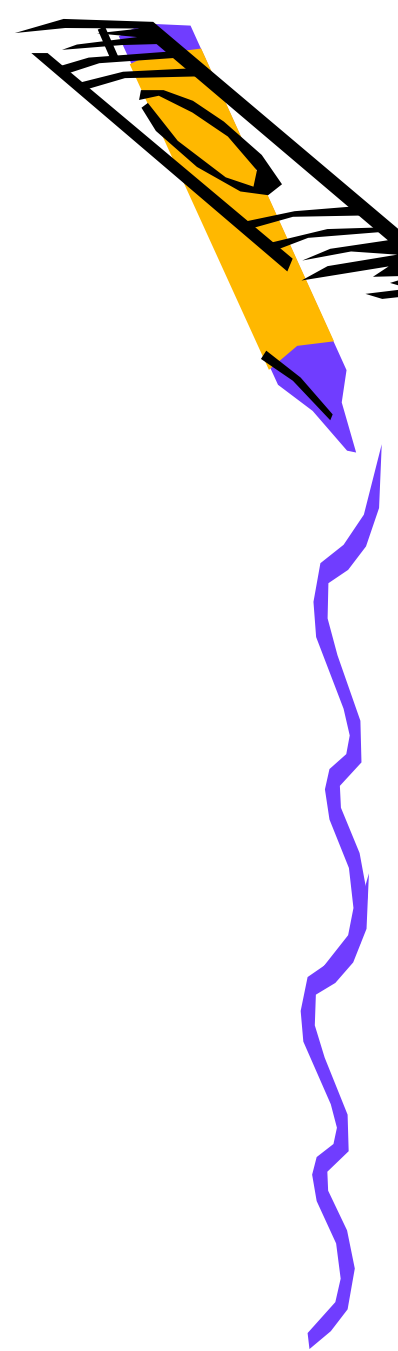
**Radiosenzitivita je závislá** na proliferační aktivitě, počtu mitochondrií, poměru cytoplasmy k objemu jádra.

**Další faktory:** dodávka  $O_2$ , obsahu vody ve tkáni a okolí, teplotě tkáně a okolí, zvýšený metabolismus, prokrvení, věk pacienta (mladší jsou citlivější) a celkový zdravotní stav (špatná tělesná kondice=citlivost horší)



# Radiosenzitivita tkání (od nejvyšší po nejnižší)

1. **Lymfatická tkáň**
2. **Buňky kostní dřeně**
3. **Epitel tenkého střeva**
4. **Zárodečné buňky – spermatogonie**
5. **Bazální vrstva epidermis**
6. **Endotel malých cév**
7. **Oční čočka**
8. **Ledviny, játra**
9. **Dospělá kost a chrupavka**
10. **Nervová tkáň, sval a vazivo**



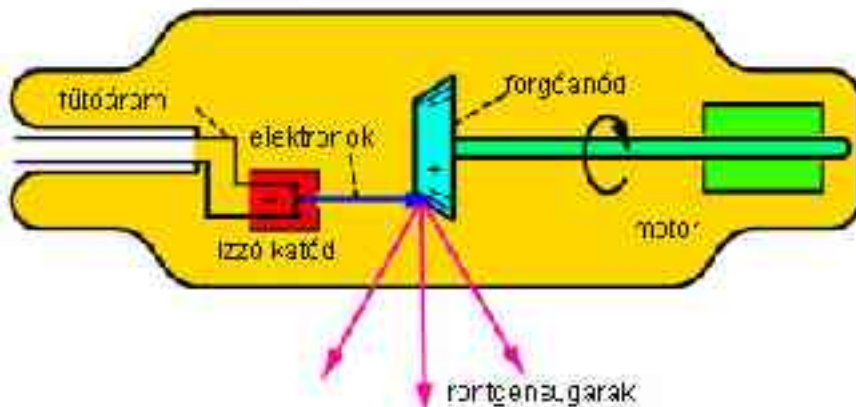
# Zdroje ionizačního záření

**Zdroje záření:** - přístroje produkující ionizační záření  
- radioaktivní látky

**Ozařovací přístroje:** 1- rentgenové

2- vysokoenergetické přístroje

Ad1) rtg.přístroje mají jako zdroj záření rentgenku, produkující záření o různé energii (měkké, tvrdé) což závisí na  $U$  na rentgence



# Druhy rtg přístrojů

**Buckyho lampa** - napětí 10 kV. Paprsky se absorbují v hloubce 2 mm (léčba nenádorových kožních chorob)

**Kontaktní přístroje** pro léčení povrchových nádorových afekcí kůže a sliznic s rtg trubicí pro  $U = 50-60$  kV (ozařují s malou vzdáleností od povrchu - označení O ohnisko K kůže,  $OK = 5$  cm)

**Hlubková (konvenční, ortovoltážní) terapie** -  $U = 200$  až  $400$  kV (nejčastěji  $180-250$  kV). Dříve použití pro ozařování nádorů v hloubce těla. Dnes je nahrazeno **vysokovoltážní-vysokoenergetickou radioterapií** - přístroje s izotopovým zdrojem záření ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,) a urychlovači částic (betatron, lineární urychlovače, cyklotron.)





# Kobaltová bomba

**Přístroj s náplní kobaltu** využívá gama záření z  $^{60}\text{Co}$

Energie záření 1,17 a 1,33 MeV (přidružené záření  $\beta$  se filtruje a nepoužívá se).

Výměna zdroje 3-5 let, poločas rozpadu  $^{60}\text{Co}$   $T_{1/2}=5,3$  roku

**Ozařovací přístroj s cesiem** - gama záření  $^{137}\text{Cs}$  -  $E=0.66$  MeV  $T_{1/2}=33$  roku

Přístroj je na hranici ortovoltážní a vysokovoltážní radioterapie

Používá se k ozařování lokalit nehluboko uložených pod povrchem těla





# Urychlovače

**Betatron** - produkuje **rychlé elektrony** (zrchnení probíhá po kruhové dráze v magnetickém poli).

Brzdění elektronů - **brzdné záření**

**Lineární urychlovač** - elektrony se urychlují přímočaře ve vakuové trubici (provozně jsou jednodušší než betatrony)



**Cyklotrony** - urychlovače protonů, mohou produkovat i neutronové záření



# Radioizotopy

**Přirozené radioaktivní látky** -  $^{226}\text{Ra}$

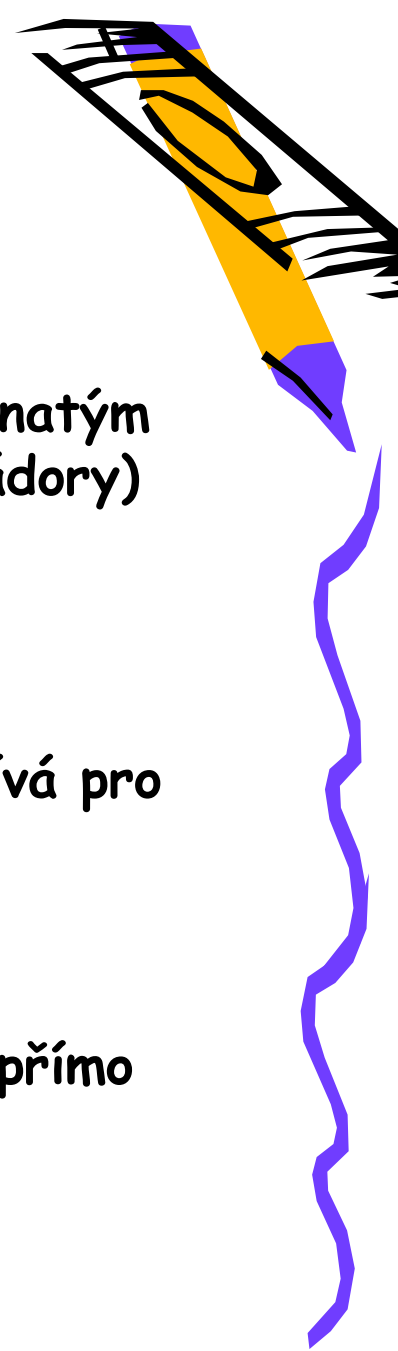
**Radiofory** - (tuby nebo jehly) jsou plněny síranem radnatým v pouzdře z platiny a iridia. (aplikace na povrchové nádory)

**Umělé zářiče** - radioaktivní kobalt  $^{60}\text{Co}$ .

Zářiče ve tvaru jehel, perel, tub (podobně jako u Ra)

**Radioaktivní zlato  $^{198}\text{Au}$**  jako **uzavřený zářič** se používá pro implantační (intersticiální) aplikaci. Koloid zlata jako **otevřený zářič** se aplikuje intrapleurálně nebo intralymfaticky.

$^{182}\text{Ta}$  ve formě drátků podobně jako  $^{192}\text{Ir}$  se vnáší přímo do nádoru očí



# Výhody vysokoenergetické radioterapie

1. **Vyšší pronikavost** - umožňuje zvýšit procentuální hloubkové dávky a zajišťuje potřebnou dávku záření do ložiska
2. **Nevznikají silné kožní radiační reakce** - v podkoží však vznikají reakce po ozáření (5mm pod kůží)
3. **Vyrovnaná absorpce** - záření v kostech a měkkých tkáních. (u klasického rtg záření se záření podstatněji absorbuje v kostní tkáni a za kostmi se zeslabuje=poddávkování)
4. **Celkově snížená integrální dávka** - v důsledku menšího rozptylu záření do stran se zvyšuje tolerance na záření.



# Radioterapeutické metody

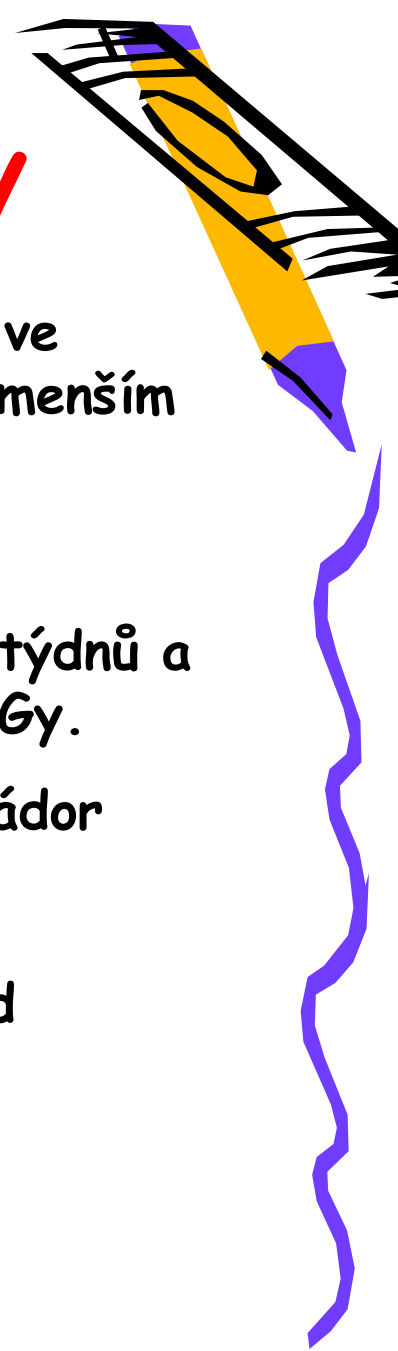
**Základní požadavek** = aplikace zvolené dávky do ložiska ve stanoveném čase při maximálním postižení ložiska a nejmenším poškození okolních tkání a celého rganismu vůbec.

Tumorózně letální (smrtelné) dávky: 40-70 Gy za 4-6 týdnů a frakcionaci 5x týdně s ložiskovou denní dávkou cca 10 Gy.

Paliativní radioterapie používá  $\frac{2}{3}$  a  $\frac{3}{4}$  dávek na celý nádor

**Ozařování zevní** (zdroj záření je v určité vzdálenosti od povrchu těla nebo je přiložen na ložisko)

**Ozařování intrakavitální, intersticiální**



# Teleterapie (teleradioterapie)

Zdroj vzdálen více jak 5 cm od povrchu.

Svazek záření ze zdroje (rentgenka, kobaltový zářič) po filtraci kovovým filtrem je vymezen Pb clonou

**Dávka dopadová** - dávka dopadající na povrch těla

**Dávka kožní** - prochází kůží a tkáněmi

**Dávka kožní** - dávka v ložisku (nádoru)

Velikost dávky závisí na vzdálenosti daného místa (intenzity s 2 mocninou), absorpci ve tkáni, na množství sekundárního rozptylového záření (dostává se z okolních ozařovaných tkání)



# Teleterapie (teleradioterapie)

**Hlubková procentuální dávka** = relativní vztah povrchové dávky kožní k hloubkové

Př: Chceme vpravit 60 Gy do hloubky 10 cm,

Při 33% hloubkové dávce a při ozáření z jednoho pole bude kůže zatížena dávkou 180 Gy. **To není možné** (tolerance kůže je 40 Gy). Je třeba použít více vstupních polí zatížených max. 40 Gy. Středů centrálních paprsků se schází v nádorovém ložisku (**metody křížového ohně - „křížák“**).

Ozařování z jednotlivých polí lze nahradit pohybem zdroje záření = **terapie rotační, pohybová, konvergentní**.

**Frakcionované ozařování** - lepší zotavení a repopulace buněk zdravé tkáně.

1,8-2 Gy(rtg,kobalt) 5 dní v týdnu do TLD 60-65 Gy



# Brachyterapie

Zdroj záření je umístěn přímo k nádoru do přímého kontaktu  
(vysoká koncentrace záření v ložisku)

Historie: 1901 v Paříži léčebné použití Ra na kožní nádory

1920 v Praze založen ústav radium terapie

1955 zavedeny do léčby i jiné zářiče (Ir, Au, Ta, Co, Cs)

## Formy brachyterapie:

Radioizotopové aplikátory se zavádějí

h) Přímou do ložiska ve formě jehel

i) Povrchově ve formě „muláže“ kdy se přikládá na ložisko a okolí

j) Intrakavitálně aplikátory se zavádějí do tělesných dutin





# Afterloading

Dodatečné zavedení zdroje záření do aplikátoru, který je nejprve umístěn do ložiska a jeho okolí

1. Fáze je neaktivní- zavedení dutého aplikátoru
2. Fáze je aktivní - zavedení vlastního zářiče (manuální nebo automatické)

## Výhody a přednosti afterloadingu:

- Zvýšení přesnosti v terapii (neaktivní aplikátor, korekce..)
- Snížení rizika ozáření zdravotnického personálu (zcela odstraněno automatickým afterloadingem z jiné místnosti)



# Frakcionalizace

Podle rozložení dávky v čase používáme:

- 2) Jednorázové ozáření (nádory kůže...)
- 3) Denní ozařování (konvenční frakcionace)
- 4) Hyperfrakcionace - vícekrát než jednou denně s nižší jednotlivou, ale s vyšší celkovou denní dávkou
- 5) Hypofrakcionace - méně než 5 frakcí týdně (neozářuje se každý den)
- 6) Akcelerovaná hyperfrakcionace - podobně jako hyperfrakcionace s dodáním TLD v podstatně kratší době než u konvenční radioterapie



Ozařovací protokol  
Simulátor

