

Lineární urychlovač

Lineární urychlovače jsou základem v radioterapii, s nimiž se provádí velká část terapeutických ozáření. Jejich princip fungování je využíván u mnoha dalších modalit, jako např. Tomoterapie, CyberKnife, Kyvadlová terapie (VMAT, RapidArc). Tyto metody se vlastně liší jen technologií a technikou aplikace, ve všech případech však dochází k urychlování fotonů.

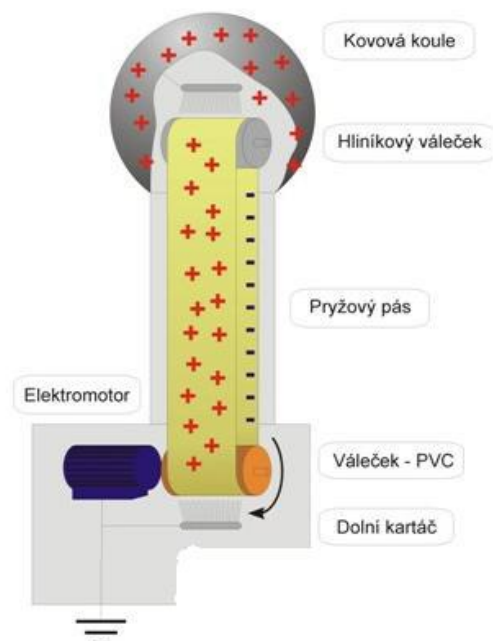
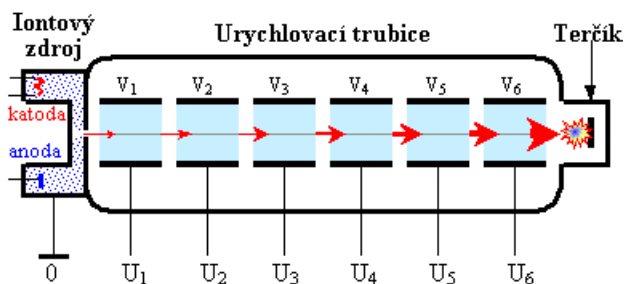
Lineární urychlovače urychlují nabité částice působením elektrického pole během jejich pohybu po lineární **přímkové dráze**. V urychlovačích jsou ionty nebo elektrony urychlovány elektrickým polem a využívá se buď svazku těchto nabitých částic, nebo sekundárních částic vznikajících při interakčních procesech na vhodných terčích. Lineární urychlovač se často zkráceně nazývá **Linac** (*Linear accelerator*). Můžeme je rozdělit na **elektrostatické** (vysokonapěťové) a **vysokofrekvenční**.

Elektrostatický lineární urychlovač

Jeho hlavními součástmi je zdroj vysokého napětí a urychlovací trubice. Urychlovací trubice je vakuová trubice. Na katodovém konci se žhavenou spirálou a na anodovém s terčem z wolframu nebo ze zlata kam dopadají urychlené elektrony. Terčik se stává zdrojem záření X. Mezi katodou a anodou je trubicový systém urychlovacích elektrod.

Elektronové dělo emituje elektrony do urychlovacího systému (válcové elektrody), mezi nimiž je rozloženo postupně vzrůstající napětí. Mezi elektrody je rozdělen celkový potenciál získaný vysokonapěťovým zdrojem, to umožňuje rozložit urychlovací proces podél celé osy trubice. Současně dochází k soustředění (fokusaci) svazku elektronů. Elektrostatickým polem jsou částice postupně urychlovány.

Urychlovací elektrody jsou napájeny vysokým napětím z elektrického kaskádního násobiče (soustava vhodně zapojených diod a kondenzátorů) nebo Van de Graafova generátoru (obrázek vpravo).

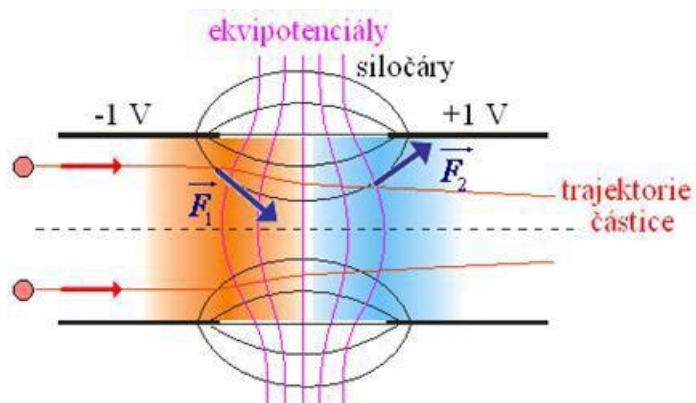


Vysokofrekvenční lineární urychlovač

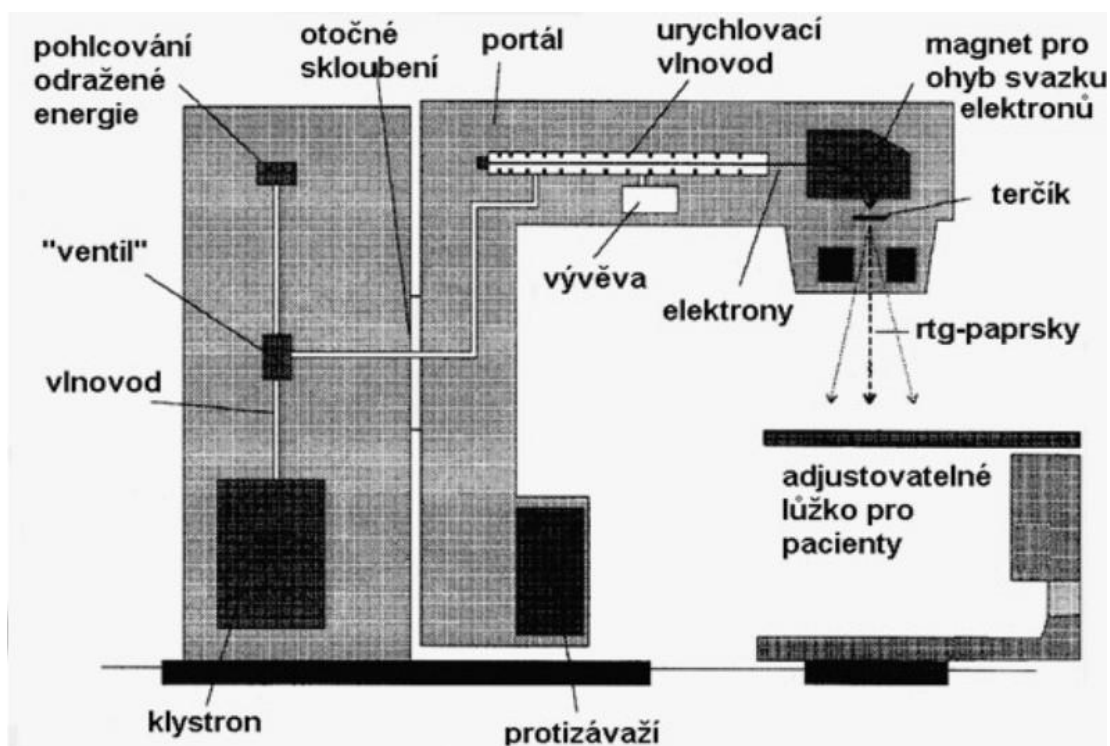
Tyto urychlovače jsou tvořeny urychlovací trubicí s řadou válcových elektrod, připojených ke zdroji vysokofrekvenčního napětí konstantní frekvence, elektrody jsou připojeny ke zdroji střídavého napětí. Liché

válce jsou připojeny k jednomu pólu vysokofrekvenčního napětí, sudé válce k druhému. Pokud se kladná částice přiblíží k elektrodě s opačným nábojem, dojde k zvýšení její kinetické energie a částice zvyšuje svou rychlost. Je-li synchronizace mezi délkou elektrod, frekvencí a napětí volena tak, aby se vždy během průchodu částice mezi jednotlivými elektrodami tak obrátila polarita střídavého napětí, budou se tyto částice při průchodu každou elektrodou opakovaně urychlovat.

Elektrické pole mezi elektrodami částice nejen urychluje, ale funguje i jako *elektrostatická čočka*, tj. zaostřuje svazek částic, viz obr. Zaostřování svazků se dělá proto, aby se částice držely v jednom „chumlu“. Zvyšuje se tak pravděpodobnost zásahu velmi malé plošky terče.



Vývojem lineárních urychlovačů docházelo stále k zvyšování frekvence, přičemž místo válcových elektrod se používají dutinové rezonátory. Moderní lineární urychlovače využívají k urychlení částic vlnovod, rozdělený vhodnými diskovými výběžky na řadu rezonančních dutin napájeného frekvencí několika GHz (nejčastěji 3 GHz) z klystronu nebo magnetronu.



V léčbě lineárním urychlovačem je užíváno vysokoenergetického svazku fotonů nebo elektronového svazku vznikající na základě vysokonapěťového urychlení elektronů v urychlovací trubici a jejich prudkém zabrzdění

v hlavici přístroje (brzdné záření, záření X, fotonové záření) nebo rozptýlení do plochy ozařovacího pole (elektronové ozařování).

- maximální dávka je 1-4 cm pod povrchem kůže
- Vícelamelový kolimátor (multi-leaf kolimátor, MLC)

Vycházející svazek fotonů je ohraničen a tvarován v hlavici urychlovače systémem vykrývacích clon (lamel) s nezávislým pohybem, umožňuje vytvoření nepravidelného a individuálního tvaru ozařovaného pole a dnes nahrazuje výrobu individuálních stínících bloků

- IMRT (Intensity Modulated RadioTherapy - Radioterapie s modulovanou intenzitou svazku)

Proces činností umožňující ozáření cílového objemu svazkem fotonového záření s modulovanou intenzitou. Pro výpočet modulované fluence se využívá inverzní plánování. Modulaci svazku lze vytvořit několika způsoby, nejčastější je použití kompenzátoru z absorpčního materiálu nebo MLC. Technika umožňuje zvýšení terapeutické dávky a dosažení cíleně diferencovaného rozložení dávky v cílovém objemu při současném šetření zdravých tkání a kritických orgánů.

- IGRT (Image-guided radiation therapy – Radioterapie řízená obrazem)

Systém sloužící k ověření správné polohy pacienta před aplikací i během aplikace terapeutické dávky záření. Odchytky mezi jednotlivými frakcemi ozařování mohou být způsobeny např. mírnou změnou polohy pacienta při nastavení, anatomickými změnami v průběhu ozařování (váhový úbytek, otok ozařované oblasti) a mohou výrazně změnit distribuci dávky. Moderní ozařovací přístroje jsou doplněny systémy korekce na dýchací pohyby. Jedná se o systémy složené ze zdroje fotonů (rentgenka) a detektoru, které jsou umístěny na ramenech v určitých úhlech k ozařovací hlavici. Pomocí nich jsou získávány buď dvourozměrné (portálové snímkování) či trojrozměrné projekce (CT obraz; IGRT technika radioterapie) ozařované oblasti. Tyto projekce jsou pak porovnávány s referenčními snímky z plánování léčby.

CyberKnife je založen na technologii lineárního urychlovače velmi malé hmotnosti umístěném na robotickém rameni s možným pohybem v šesti osách. Zobrazovací systém sleduje pacienta během ozáření. Při změně polohy systém zastaví ozařování a dle snímků robotická paže zaměří lineární urychlovač přesně do cílového ložiska.

U **TomoTherapy** je základem systému lineární urychlovač rotující po vrstvách (prstenci) okolo pacienta. Svazek záření je použit jak k vlastnímu ozáření, tak i k provádění kontrolního CT ke zjištění odchylky. **ArcTherapy** je vysoce konformní radioterapie s modulovaným svazkem lineárního urychlovače nového typu dodaná v jednom kyvu ramene urychlovače. Výhodou proti obdobné technice IMRT je vyšší rychlost ozáření a zároveň nižší radiační zátěž pacienta a personálu unikajícím zářením a nižší opotřebením urychlovače.

Radioizotopové ozařovače

Ozařovací přístroje využívající jaderné záření, tedy energii vznikající rozpadem jádra radioizotopu, např. ^{60}Co -kobalt a ^{137}Cs -cesium, mají dnes uplatnění hlavně při paliativní a nenádorové radioterapii. Jsou postupně vyřazovány z provozu.

Terapeutické rentgenové přístroje

Používají se pro léčbu karcinomů kůže a v některých indikacích paliativní léčby a u nenádorových afekcí. Její výhodou a zároveň i nevýhodou je maximální dávka na povrchu těla, kůži

Autor textu: Ing. Mariana Kleinová, RA - KRNM FN Brno

Doporučená a použitá literatura:

1. Přístrojová technika. In: RadiologickyAsistent [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <https://www.radiologickyasistent.cz/radioterapie/pristrojova-technika/>

2. Radioterapie - učební texty pro studenty 5. roč. LF MU Brno. In: Medici - základy radioterapie, portál MOU [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <file:///C:/Users/maria/Downloads/kro-zaklady- radioterapie.pdf>
3. KLACLOVÁ, Taťána. Přehled principů moderních metod v radioterapii [online]. 2005 [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/prehled-principu-modernich-metod-v-radioterapii/>

Zdroje obrázků:

1. Lineární urychlovač. In: Slide Player [online]. [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fslideplayer.cz%2Fslide%2F1892775%2F&psig=AOvVaw2uEF4HmfWQ7nonhe3Qe066&ust=1611005519266000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLDiorX1o-4CFQAAAAAdAAAAABAD>
2. KRÁLOVÁ, Magda. Van de Graaffův generátor. In: *Techmania Science Center* [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/veda-v-pozadi/583>
3. Lineární urychlovač. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/857-linearni-urychlovac>
4. Elementární částice a urychlovače: lineární urychlovače. In: *AstroNuklFyzika* [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika5.htm>