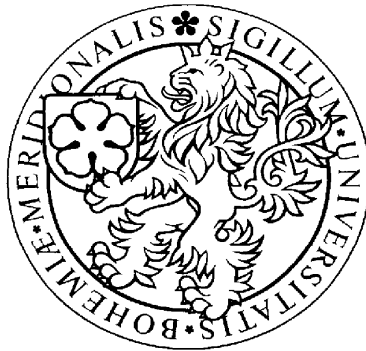


**JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zdravotně sociální fakulta**



RADIOTERAPIE II.

*doplňkové texty pro posluchače kombinované formy studia
studijního programu „B5345 – Specializace ve zdravotnictví“*

studijního oboru „Radiologický asistent“

MUDr. Hana Šiffnerová

ČESKÉ BUDĚJOVICE 2007

6. TELERADIOTERAPIE VYSOKOENERGETICKÝM ZÁŘENÍM

Klíčová slova: vlastnosti megavoltové terapie, povrchová, hloubková a integrální dávka, polostín

V současné době zahrnuje pojem vysokoenergetická (megavoltová) radioterapie (podle Mezinárodní komise pro atomovou energii z roku 1960):

- záření X produkované v urychlovačích s energií nad 1,0 MeV;
- záření gama radioizotopových ozařovačů včetně ^{137}Cs (s energií od 0,661 MeV);
- záření beta (urychlené elektrony) s energií nad 6 MeV.

6.1. vlastnosti vysokoenergetického záření

Vlastnosti charakteristické pro vysokoenergetické záření:

- nízká povrchová dávka (efekt šetření kůže);
- vyšší relativní hloubková dávka;
- zvýšená tolerance tkání;
- nezávislost absorbované dávky na homogenitě prostředí;
- nižší integrální dávka;
- efektivnější využití vykrývacích bloků a filtrů;
- polostín.

Nízká povrchová dávka

U rentgenového záření je povrchová dávka, tj. dávka na kůži, prakticky 100 % a směrem do hloubky se snižuje. V případě vysokoenergetického záření je povrchová-kožní dávka malá. Při průchodu primárního záření vrstvami tkání pod povrchem ozařovaného pole přibývá zpočátku sekundárních elektronů (tzv. zóna narůstání elektronové rovnováhy), které mají v této fázi především směr primárního svazku. S přibývajícím hloubkou narůstá hustota ionizací (tzv. build - up effect), která dosahuje maxima v hloubce průměrného doletu sekundárních elektronů, kde vytváří různě široké plató (100 % izodóza) v závislosti na energii záření.

Dále pak směrem do hloubky záření ubývá, díky absorpci záření a divergenci svazku. Se stoupající energií se hloubka maxima zvětšuje např. u Co 60 je 4 - 5 mm pod povrchem ozařovacího pole, u lineárních urychlovačů může být podle energie svazku 1 - 5 cm. Vzhledem k tomu, že sekundární elektrony mají převážně směr primárního svazku, odpovídá výstupní dávka u vysokoenergetického záření prakticky hloubkové dávce v těchto místech. Může být i vyšší než dávka vstupní.

Vysoká relativní hloubková dávka

Tím, jak se zvyšuje energie elektromagnetického záření, zvyšuje se i relativní hloubková dávka v prostředí, kterým záření proniká. To je způsobeno:

vyšší pronikavostí paprsků (jejich nižší absorpcí);
směrem dráhy sekundárních elektronů a fotonového záření, které mají převážně směr primárního svazku. Boční rozptyl se výrazně zmenšuje a zpětný rozptyl prakticky mizí.

Zvýšená tolerance tkání

Vysokoenergetického záření má výhodnější rozložení hloubkové dávky záření v orgánu a zejména v jeho okolí. Jde o strmější spád dávky do okolí a šetření zdravých okolních tkání, odkud dochází k reparativním pochodům. Dochází také k zvýšení tolerance celého organismu díky snížení tzv. integrální dávky, tj. celkové absorbované dávky během ozařovacího procesu.

Nezávislost absorbované dávky na homogenitě prostředí

U vysokoenergetického záření od energie svazku 0,6 MeV se výrazněji nemění absorpce v kostech a měkkých tkáních.

Z toho vyplývají následující skutečnosti:

- nedochází snadno k poškození kostí - radionekróze;
- kostní tkáň nevytváří „stín“. S nižší dávkou záření za kostí;
- je jednodušší vypracovávání izodózních plánů bez různých korekcí.

Nižší integrální dávka

Poměr integrální dávky v nádorovém ložisku k celkové integrální dávce nazýváme „faktorem účinnosti“ (integral-dose-efficiency factor), který nás informuje o tom, jak se námi zvolenou ozařovací technikou blížíme k ideální distribuci dávky záření, přičemž ideální distribucí dávky rozumíme takový izodózní plán, kdy do nádorového ložiska je aplikována dostatečně velká letální dávka záření, zatímco integrální celková dávka je přitom minimální. (Optimální ozařovací plán – distribuce dávky).

Faktor účinnosti závisí na:

- velikosti ozařovaného objemu (čím je ozařovaný objem větší, tím menší je faktor účinnosti);
- druhu záření;
- uložení nádorového ložiska v organizmu;
- zvolené ozařovací technice.

Efektivnější využívání vykrývacích bloků

Vzhledem k malému bočnímu rozptylu a téměř chybějícímu rozptylu zpětnému dochází při použití bloků k efektivnějším a „ostřejším“ vykrytí okolních zdravých tkání a kritických orgánů.

Polostín

Geometrický polostín je okrajová oblast ozařovaného objemu, která je ozařována primárními fotony přicházejícími pouze z části zdroje, tzn. že v této okrajové části je nižší dávkový příkon. Šířka tohoto geometrického polostínu se stanovuje v rovině kolmé na CP, je možno ji stanovit v kterékoli vzdálenosti od zdroje.

Šířka geometrického polostínu je ovlivněna následujícími faktory:

- velikostí zdroje - čím menší je zdroj, tím menší je polostín;
- vzdáleností OK -nejdůležitější je poměr vzdáleností, konec nejdálší clony a hloubka ozařovaného objemu. Čím menší je tento poměr, tím menší je polostín. Vzdálenost konce nejdálší clony nemá být menší než 15 cm, vzhledem k sekundárnímu záření z kolimačního (clonového) systému. Dále čím větší je OK, tím menší je polostín.

Zvláštním druhem polostínu je tzv. průchodový polostín. Jedná se o objem ozářený fotony, které prošly částí kolimačního systému (clon).

- 1.) *Charakterizuj vysokoenergetické záření.*
- 2.) *Co je to celková integrální dávka a na čem závisí její výše?*
- 3.) *Co je to polostín a čím je ovlivněn?*

6.2. zdroje vysokoenergetického záření

Klíčová slova: radioizotopové ozařovače, lineární urychlovače

Rozdělení hlavních zdrojů vysokoenergetického záření:

Radioizotopové ozařovače

- malé a střední ozařovače – ^{37}Cs ;
- velké ozařovače – ^{60}Co .

Urychlovače

Lineární urychlovače:

- urychlovací trubice;
- van de Graafův generátor;
- rezonanční transformátor;
- kaskádní generátor;
- vícestupňová urychlovací trubice;
- vysokofrekvenční s elektrodami nebo s nosnou vlnou.

Cyklické urychlovače:

- betatron;
- cyklotron.

ad/ radioizotopové ozařovače

Velmi důležitými součástmi každého kobaltového ozařovače jsou zdroj záření, ozařovací hlavice a její zavěšení, ozařovací stůl, kolimační systém svazku záření, zaměřovací zařízení.

Jako zdroj záření se používá u kobaltového ozařovače radioaktivní kobalt ^{60}Co , který je uložen ve formě na sobě naskládaných drobných penížků a neprodyšně uzavřen ve dvojitém pouzdru (kapsli) z nerezavějící oceli. Vydává bichromatické záření gama o energiích 1,17 a 1,33 MeV (střední energie 1,25 MeV). Radioaktivní kobalt má poločas rozpadu cca 5,26 let. To je určitá nevýhoda, neboť je nutné každé 3 měsíce podle tabulek přepočítávat nové ozařovací časy. Aktivita zdroje klesá, dávkový příkon se zmenšuje, a tudíž se prodlužují ozařovací časy. Celková aktivita zdroje se udává v Bq a dávkový příkon se udává v $\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Pro klinické použití v radioterapii se užívají nejčastěji zdroje s dálkovým příkonem 1 - 2 $\text{G}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Ke stanovení hloubkových dávek se používají tabulky hloubkových dávek.

Ozařovací hlavice, ve které je uložen vlastní zdroj záření, má zpravidla tvar koule a bývá vyrobena z olova, wolframové slitiny, z uranu nebo ze všech tří absorpčních materiálů. Ozařovací hlavice v klidové poloze zdroje slouží jako kryt a v pracovní (ozařovací poloze) zeslabuje nevyužité záření na přípustnou úroveň.

Ozařovací stůl je zařízení, které je ovládáno počítačem, který je součástí ozařovacího přístroje. Musí splňovat celou řadu podmínek – musí být volně pohyblivý a reťovatelný, rozebíratelný a umožňovat řádnou hygienickou očistu.

Kolimace svazku záření ohraničuje užitečný svazek záření vyjádřený velikostí pole v určité vzdálenosti od zdroje záření. Podle ČSN by neměly primární clony či tubusy propouštět více než 5 % užitečného svazku záření.

Zaměřovací zařízení slouží k přesnému zaměřování svazku záření a jeho přesné reprodukovatelnosti. K tomu slouží celá řada zařízení od nejjednoduššího pointer a back-pointer až po laserové paprsky umístěné ve třech na sebe kolmých rovinách na stěnách a stropě ozařovny ukazujících na střed rotace.

Ovládací zařízení ozařovače je dvojího druhu. V ozařovně umístěný ruční ovladač, který slouží k ovládní pohybu ozařovače a stolu a k nastavování ozařovacích podmínek. Stolní ovladač (tzv. velín) je umístěn mimo ozařovací místnost. Jsou zde ovládací prvky ke zvolení ozařovací techniky, k nastavení ozařovacího času, k otevření a uzavření zdroje. Součástí stolního ovladače by mělo být i dorozumivací zařízení s pacientem v ozařovně.

Mezi další vybavení radioizotopových ozařovačů patří i tzv. antikolizní systém, který zastaví automaticky pohyb hlavice ozařovače, pokud se nebezpečně přiblíží k tělu pacienta nebo ozařovacímu stolu (dotekové čidlo nebo kapacitní okruh).

ad/ Urychlovače

Urychlovače jsou přístroje schopné urychlovat elektricky nabitě částice na vysokou energii. Těchto částic se pak využívá k léčbě zhoubných nádorů, a to buď přímo (urychlené elektrony a kladně nabitě částice), nebo se využívá záření, které vzniká jejich dopadem na terčik (u elektronů brzdné vysokoenergetické fotonové záření, u kladně nabitých částic jsou to neutrony). K urychlení částice dochází působením elektrického pole na částici, tím, že proletí vysokým potenciálním rozdílem. Podle tvaru dráhy, na které se částice urychlují, se urychlovače dělí na kruhové (cyklické)-betatron, cyklotron a lineární- lineární urychlovač.

Lineární urychlovač

V poslední době jde o nejužívanější ozařovací přístroje. Podle způsobu urychlování elektronů rozeznáváme vysokofrekvenční lineární urychlovač s elektrodami, s nosnou a stojatou vlnou.

Výhody lineárních ozařovačů proti ozařovačům kobaltovým jsou především:

- ostrý svazek záření bez polostínu;
- vysoký, stálý dávkový příkon bez nutnosti prodlužování ozařovacího času;
- možnost vyšších energií fotonového svazku;
- možnost elektronového svazku o různých energiích a velkých rozměrech pole (celotělové ozařování u kožních forem maligních lymfomů).

1.) Jaké znáš zdroje vysokoenergetického záření?

2.) Popiš kobaltový ozařovač.

3.) Jaké existují urychlovače částic?

4.) Popiš funkci lineárního urychlovače.

6.3. Význam vysokoenergetického záření v klinické praxi

Klíčová slova: minimální ložisková dávka, maximální ložisková dávka

Megavoltová terapie přinesla velký pokrok do léčby nemocných se zhoubnými nádory. Fyzikální vlastnosti vysokoenergetického záření spolu s výpočetní technikou, která se v posledních letech stala nedílnou součástí ozařovacích přístrojů, výrazně pomohla přiblížit se k ideálním podmínkám léčby zhoubných nádorů, tj. aplikovat optimální (tumoricidní, letální) dávku záření do tumoru a naopak co nejvíce ušetřit okolní zdravé tkáně a orgány.

Vysokoenergetické záření umožnilo přejít postupně k tzv. konformní radioterapii, kdy se skutečně ozařuje pouze nádorové ložisko s určitým lemem zdravé tkáně a ostatní okolní tkáně a orgány jsou odstíněny pomocí bloků, aniž dochází k deformacím izodózních křivek pod bloky.

Vhodně zvolenou technikou se snažíme, aby rozložení dávky v cílovém objemu bylo *homogenní*, tj. aby rozdíl mezi **I. d. max.** (*ložisková dávka maximální*) a **I. d. min.** (*ložisková dávka minimální*), byl minimální. Normálně bývá kolem 10 až 15 %. Ideální homogenitu lze v současné době dosáhnout pomocí **IMRT** (*intensitymodulated radiotherapy*), což je zařízení, které se dnes dodává u nejmodernějších lineárních urychlovačů.

Dalším, velmi významným pokrokem pro plánování a ozařování bylo zavedení tzv. vícelistových bloků (*multi leaf colimator's*) a portal vision, které velmi zjednodušily proces plánování, nastavování a vlastního ozařování nemocných.

Při používání nových ozařovacích přístrojů se do určité míry změnila i komplikace během ozařování i po něm, akutní i chronické, celkové i místní, a to nejen co do kvality, ale také jejich kvalita.

1.) Co umožní ozáření s maximální homogenitou?

2.) Jaká je výhoda megavoltové terapie?

6. 4. verifikační systém

Klíčová slova: ověřování nastavených parametrů

- zajišťuje co nejvyšší bezpečnost provozu;
- ověřuje správnost nastavených parametrů (ozařovacích podmínek);
- kontroluje kompletnost dokumentace.

Co se týče bezpečnosti provozu, zde má verifikační systém svou úlohu v tom, že povoluje manipulaci s přístroji a ovládání jejich různých funkcí pouze odpovědným pověřeným osobám v různých hladinách významnosti. Verifikační přístroj kontroluje chod ozařovacího přístroje a pokud nejsou všechny funkce v pořádku, přístroj záření nespustí.

Velmi důležitá funkce verifikačního systému je ověřování nastavených parametrů (ozařovacích podmínek). Verifikační systém kontroluje, zda jsou každodenně nastavované parametry v souladu s předepsanými, ale zároveň kontroluje celý průběh ozařování, včetně počtu jednotlivých frakcí a jejich rytmu, sleduje dávky jednotlivé i celkové k určitému datu.

Kompletnost dokumentace je část verifikačního systému, která by měla se stát povinnou součástí praxe v moderní kurativní radioterapii.

1. Co je smyslem verifikačního systému?

BRACHYTERAPIE

Klíčová slova: výhody a nevýhody brachyterapie, dočasná a permanentní aplikace, radioizotopy, dozimetrické systémy

Brachys + terapie - ozařování z krátké vzdálenosti (syn. curietherapie).

Princip: zavedení zdroje záření do nádoru či do jeho těsné blízkosti.

- Výhody:**
- 1) vysoká dávka v tumoru;
 - 2) strmý spád dávky do okolí;
 - 3) malá dávka na okolí struktury;
 - 4) malá integrální dávka;
 - 5) krátká doba léčby (hlavně LDR).

Nevýhody:

- 1) invazivní terapie;
- 2) upoutání na lůžko (LDR);
- 3) nutnost izolace (LDR);
- 4) expozice personálu (manuální LDR, drátky LDR) /aplikace Ra;/
- 5) opakované aplikace (anestezie) /HDR/;
- 6) možnost terapie jen malých objemů;
- 7) nehomogenita dávky v cílovém objemu.

Použití:

- 1) samostatné (ORL oblast, kůže, počínající stádia tumorů);
- 2) boost k teleterapii (před, během i po teleterapii) (LDR i HDR).

Způsoby aplikace:

- 1) muláž;
- 2) intersticiální (jehly);
- 3) intrakavitární; překrývají se
- 4) intraluminální.

Výkon:

- 1) samostatný;
- 2) intraoperativně.

Aplikace:

- 1) dočasné;
- 2) permanentní (zdroj se neodstraňuje, ponechává se vpacientovi, izotopy o krátkém poločasu rozpadu)

Zavedení zdroje záření:

- 1) přímo (starý způsob, Ra interstic. aplikace s Ra, všechny permanentní aplikace) expozice personálu zářením
- 2) afterloading (nejdříve zavedení aplikátoru, dodatečně zdroje);
 - a) manuální;
 - b) remote afterloading (LDR i HDR).

Dávkové příkony: LDR, MDR, HDR

LDR: klasický dávkový příkon - Ra, ^{192}Ir ;

MDR: klasický dávkový příkon, příkon 0,35 Gy/hod = 100 TDF (60 Gy za 7 dní čili 168 hod.)

Výborná radiobiologie, dobrý terapeutický poměr.

Jedná se o kontinuální ozáření, které někdy může být rozděleno do 2 frakcí.

Izotopy: Ra, ^{37}Cs , ^{192}Ir , ^{225}Ac ;

Formy: radiofory, tuby, jehly, drátky, ruční i remote afterloading.

HDR: nutnost frakcionace, opakovaných aplikací, nepříznivý terapeutický poměr. Snaha zlepšit terapeutický poměr podáním většího počtu frakcí, při nižší dávce na frakci.

Např: 1 x 20 Gy

5 x 7 Gy 1x týdně je cca 50 Gy ekv. (klinicky proveditelné)

25 x 2 Gy 50 Gy ekv. (neproveditelné)

Frakcionace je u HDR vždy kompromisem mezi radiobiologií a možnostmi aplikačními.

Výhody HDR:

- 1) krátká doba aplikace;
- 2) přesnost aplikace (možnosti fixace);
- 3) výkony ambulantně;
- 4) možnost provedení některých výkonů plně v anestezii;
- 5) využití přístroje je lepší;
- 6) snadná ochrana personálu před zářením.

Nevýhody LDR:

- 1) často nutnost upoutání na lůžko;
- 2) problém až nemožnost ochrany personálu;
- 3) problémy s udržení aplikované geometrie (pohyb pacienta, zavedených zdrojů atd.)

Snaha o kombinaci výhod LDR a HDR - zavedení PDR.

Zdroje záření: vždy velmi malé velikosti

Formy: radiofory (Ra, Cs)
zrna (Au, Rh) - většinou permanentní aplikace LDR
drátky (Ir)
Ir, Co HDR

Izotopy:

Ra - nevýhody: vysoká energie - vysoká integr. dávkašpatná
ochrana pracovníkůnemotornost aplikátorů

Umělé radioizotopy: vhodnost pro použití je dána:

- a) poločasem rozpadu - musí být kompromisní mezi: **delším** (vhodné pro dopravu, plánování, více aplikací) **kratším** (vyšší aktivita, tj. menší velikost zdroje) Vhodné poločasy: dočasné aplikace: dny až roky
permanentní aplikace: dny (Au, I).
- b) energií - optimální: 20-35KeV (fotony): 1) distribuce v ozařovaném objemu je stejná jako u Ra 2) rychlejší spád dávky mimo ozařovaný objem 3) nižší integr. dávka než Ra.
- c) typem záření - gama: většina užívaných radionuklidů beta: P32 - povrchové ozařovače, energie dle požadované hloubky ozáření neutrony: Cf252 - dobrá radiobiologie

Nejběžnější izotopy: Ra, ¹⁹²Ir, ¹³⁷Cs, ¹²⁵I, ⁶⁰Co, ¹⁹⁸Au

Radiofory: pojmy: filtrace w 0,5 Pt;
celk. délka, aktivní délka;
lineární aktivita;
definice určitého zdroje (kód, certifikát).

Dávky v radioterapii: 1) přímé měření – zřídka
2) nepřímé měření – výpočet

Proč: 1) nehomogenita dávky v cílovém objemu; změny dávky s posunem o mm
2) rychlý spád do okolí dávky;
3) nepřístupnost pro dozimetrii;
4) posun zdrojů během aplikace (LDR).

Výpočty: založeny na **dozimetrických systémech**, tj. pravidlech určujících rozmístění zářičů v prostoru tak, aby cílový objem byl ozářen co nehomogenněji za splnění nejvýhodnější radiobiologie.

Musí splňovat: 1) léčbu naplánovat;
2) uskutečnit;
3) rekonstruovat a upravit podle aktuální situace.

Manchesterský dozimetrický systém: Pravidla, určující rozložení radiofóru v 1., 2. rovinách, v prostoru.

Charakteristika: vytvořen pro Ra, min. dávka se určuje v 0,5 cm od radioforu.

Princip použití:

- 1) pro zvolený V či plochu: z tabulek vyčíst optim. mgh pro 10 Gy;
- 2) vynásobit počtem Gy, který chci dodat;
- 3) výsledek dělit počtem hodin, který chci použít (tak, aby příkon byl optimální)

- dostanu opt.mg;
- 4) ze své sady použít co nejbližší množství Ra, tímto množstvím vydělit mgh;
- 5) při větším nesouhlasu množství Ra použitého s optimálním použít korekci na čas dle TDF;
- 6) Pařížský systém: vytvořen pro LDR drátky ^{192}Ir .

Hlavní principy:

- 1) rovnoběžnost zdrojů;
- 2) stejná aktivita všech zdrojů po celé délce;
- 3) výpočty se dělají v centr. rovině (půlí drátky a je na ně kolmá);
- 4) drátky jsou od sebe ve stejných vzdálenostech.

- 1.) *Co to je brachyterapie?*
- 2.) *Jaké jsou výhody a nevýhody brachyterapie?*
- 3.) *Vysvětli rozdíl mezi dočasnými a permanentními aplikacemi.*
- 4.) *V čem spočívá hlavní význam afterloadingových technik v brachyradioterapii?*
- 5.) *Jaká je optimální energie záření v brachyterapii a proč?*
- 6.) *Vysvětli rozdíly mezi HDR a LDR brachyterapií. Uveď jejich výhody i nevýhody.*
- 7.) *Uveď základní pravidla Pařížského dozimetrického systému pro intersticiální aplikace.*