

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Hana Mazuchová

Plánování léčby a příprava ozařovacího plánu v radioterapii

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Yvona Klementová

Olomouc 2011

Anotace

Druh práce: BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Název práce v ČJ: Plánování léčby a příprava ozařovacího plánu v radioterapii

Title of thesis in English language: Therapy Scheduling and Irradiation Scheme Preparation in Radiotherapy

Datum zadání práce: 2010-11-01

Datum odevzdání práce: 2011-05-13

Název vysoké školy, fakulty a ústavu: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

Autor práce: Mazuchová Hana

Vedoucí práce: MUDr. Yvona Klementová

Oponent práce: MUDr. Yvona Klementová

Abstrakt v ČJ:

Bakalářská práce se zaměřuje na postup plánování a přípravy léčby nádorů radioterapií. Shrnuje poznatky o přesném postupu plánování léčby zářením. Zahrnuje také jednotlivé kroky samotné přípravy ozařovacího plánu v teleterapii i brachyterapii. Nechybí také potřebné plánovací systémy a moderní metody zevní radioterapie. Tato bakalářská práce je přehledem dohledaných publikovaných poznatků (v období 1990-2010) v českém jazyce o plánování a přípravě léčby nádorů radioterapií.

Abstract in EL:

The bachelor thesis focuses on a process of planning and a preparation of tumour treatment by radium therapy. It summarizes all knowledge regarding the precise process of treatment preparation by irradiation. It also includes particular steps of the preparation of irradiation plan in teletherapy and brachytherapy. Necessary planning systems are also included as well as modern methods of outer radium therapy. This bachelor thesis is an outline of researched evidence (within 1990-2010) in Czech language regarding planning and preparation of tumour treatment by radium therapy.

Klíčová slova v ČJ:

Radioterapie, plánování léčby, ozařovací plán, teleterapie, brachyterapie, plánovací systémy, IMRT, inverzní plánování.

Key words in English language:

Radium therapy, treatment planning, irradiation plan, teletherapy, brachytherapy, planning systems, IMRT, inverse planning.

Rozsah: 40 s.

Počet příloh: 4

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje uvedené v seznamu použité literatury.

Souhlasím s tím, aby byla práce použita ke studijním účelům Fakulty zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci.

V Olomouci

podpis

Poděkování

Děkuji MUDr. Yvoně Klementové za odborné vedení a cenné připomínky při zpracování této bakalářské práce.

V Olomouci

podpis

Obsah

Úvod	8
1 PLÁNOVÁNÍ LÉČBY	9
1.1 Strategie léčby.....	9
1.1.1 Diagnóza	9
1.1.2 Týmy	15
1.1.3 Standarty	16
1.2 Taktika léčby.....	16
1.3 Rozhodovací proces v rámci strategie a taktiky	17
1.3.1 Kurativní radioterapie	17
1.3.2 Paliativní radioterapie	17
2 PŘÍPRAVA OZAŘOVACÍHO PLÁNU V TELETERAPII	19
2.1 Imobilizace	19
2.2 Lokalizace nádoru	19
2.3 Vyznačení cílového objemu a kritických orgánů.....	20
2.4 Výběr zdroje záření	21
2.4.1 Zdroje vysokoenergetického záření.....	21
2.4.2 Terapeutické rentgenové ozařovače	23
2.5 Volba ozařovací techniky	24
2.5.1 Statické ozařovací techniky.....	24
2.5.2 Dynamická technika	25
2.5.3 Velkoobjemové ozařování	26
2.6 Modifikace svazku záření.....	26
2.7 Výpočet distribuce dávky	27
2.8 Optimalizace plánu.....	27
2.9 Simulace	27
2.10 Ozařovací předpis.....	28
3 PŘÍPRAVA OZAŘOVACÍHO PLÁNU V BRACHYTERAPII.....	29
3.1 Rozvaha o uspořádání aplikátorů.....	29
3.1.1 Intrakavitární aplikace	29
3.1.2 Intraluminární aplikace	30
3.1.3 Intersticiální aplikace	30

3.1.4 Technika muláží	31
3.1.5 Permanentní aplikace	31
3.2 Lokalizace aplikátorů	32
3.3 Přenos dat ze snímků do plánovacího systému.....	32
4 PLÁNOVACÍ SYSTÉMY	33
5 MODERNÍ METODY ZEVNÍ RADIOTERAPIE	34
5.1 Trojrozměrná konformní radioterapie (3D-CRT).....	34
5.2 Radioterapie s modulovanou intenzitou (IMRT).....	34
5.3 Inverzní plánování.....	35
Závěr	36
Prameny a literatura.....	37
Seznam zkratk	38
Seznam tabulek a obrázků	39
Seznam příloh.....	40
Příloha č. 1 – lineární urychlovač	I
Příloha č. 2 – konvenční radioterapie	II
Příloha č. 3 – 3D rekonstrukce	III
Příloha č. 4 - Brachyterapie.....	IV

Úvod

Pacientů s nádorovým onemocněním v celém světě přibývá. Odpověď proč tomu tak je, činní jak společnosti běžných lidí, tak odborníkům samotným velký problém. Mnohé příčiny jsou známe, však spousta je jich stále nejasných a skrytých.

V současnosti je snaha léčit onkologicky nemocné co nejlépe a nejúčinněji, za vzniku co nejmenších nežádoucích účinků spojených s léčbou. Čím větší snaha je zkvalitnění péče, tím lepších výsledků se může dosáhnout.

Radioterapie umožňuje několik možností a způsobů ozařování. Představuje složitý obor, který se stále zdokonaluje. Vytváří si postup plánování léčby a následnou přípravu ozařovacího plánu v krocích na sebe navazujících, jejichž výsledek je aplikován přímo na pacienta. Přesto, že je příprava léčby nákladná a náročná, musí se vždy ke každému onkologicky nemocnému přistupovat individuálně. Každý člověk je přece jedinečná osoba a osobnost, se svojí jedinečnou strukturou, se svými zájmy a potřebami.

Plánování léčby probíhá na základě spolupráce lékařů, fyziků, chirurgů, radiologických asistentů a další odborníků. K tomu je jim neodmyslitelně nápomocné technické vybavení pracoviště.

1 PLÁNOVÁNÍ LÉČBY

Základním cílem radikální léčby v radioterapii je zničení nádoru, kterého lze dosáhnout rovnoměrným rozložením stanovené dávky do určeného objemu při maximálním šetření okolních zdravých tkání.⁽¹⁾ Naplánovat bezpečné a účinné léčebné ozáření lze pouze na adekvátně vybaveném pracovišti. Proces plánování zahrnuje stanovení cíle ozařování (radikální, paliativní, adjuvantní, neoadjuvantní, kombinované s jinou léčbou) na základě zhodnocení typu a rozsahu nádoru, biologického stavu pacienta, interkurentních onemocnění. Následně stanovení cílových objemů a rizikových orgánů, určení dávky a jejího časového rozložení, volbu zdroje záření, techniky ozáření, vypracování izodózního plánu, simulaci ozařovacích polí, zadání dat a verifikaci na ozařovači, dozimetrickou kontrolu ozáření.⁽¹⁰⁾

1.1 Strategie léčby

Strategie léčebného postupu určuje komplexnost léčebného postupu, kombinaci léčebných postupů a rozsah léčby.⁽¹¹⁾ Před zahájením léčby je nutné na podkladě diagnózy stanovit stádium onemocnění.⁽⁹⁾

1.1.1 Diagnóza

Diagnostika nádorů se rozčleňuje nejméně na dvě etapy. *Prvotní diagnostika*, vychází z prvního příchodu nemocného k lékaři, nejčastěji v tzv. první linii. *Upřesněná-konečná diagnostika* se provádí v nemocnici, ve specializovaných zařízeních kam se nemocný dostává již s částečně diagnostikovaným nádorem nebo s podezřením. V této druhé etapě se sleduje určení rozsahu - stadia podle TNM, morfologicky se ověřuje diagnóza, zjišťuje se celkový klinicko-biochemický stav organismu a vše ostatní potřebné k zahájení patřičné léčby.⁽²⁾

Pracovní diagnóza

Jde o určitý předpoklad, který musí být vyvrácen nebo potvrzen.⁽⁵⁾

Změna zdravotního stavu a podezření na nádorovou nemoc

- Místní změny - místní bolestivost, neobvyklá rezistence, poruchy orgánových funkcí, změny zbarvení, krev ve stolici apod.
- Celkové změny - ztráta hmotnosti, nechutenství, slabost, kašel, dušnost, deprese apod.⁽²⁾

Anamnéza

- Rodinná anamnéza (RA): informace o rodině. Zjišťuje se možnost dědičnosti onemocnění, familiárního výskytu (nakupení nádorů v jedné rodině).
- Osobní anamnéza (OA): nezbytností je znát u nemocného také dosavadní nemoci. Důležité jsou údaje o operacích a závažnějších úrazech.
- Alergická anamnéza (AA): neodmyslitelná součást anamnézy.
- Sociální a pracovní anamnéza (SA, PA): socioekonomické zařazení jedince je stejně významné tak jako jeho vztah k pracovnímu procesu. Důležité jsou možné kancerogeny v pracovním prostředí, ale i ostatní vlivy, které se mohou na onemocnění podílet.
- Životní styl: kouření (kolik cigaret vykouří), výživa, tělesný pohyb a další.
- Gynekologická anamnéza (GA): hlavně pro nádory s předpokladem hormonální dependence. Informace o počtu porodů, potratů, hormonální léčbě.
- Nynější onemocnění (NO): obsahuje podrobný popis dosavadního průběhu nemoci, který má obrovský význam.

Somatické vyšetření

- Pohled – velkou roli sehrává prohlédnutí kůže, sliznice a celkový pohled na pacienta.
- Pohmat – měl by být šetrný. Rutinním palpačním vyšetřením by se mělo stát pravidelné sledování prsů u žen.
- Poklep a poslech – perkuse a auskultace řídící se svými pravidly.⁽⁵⁾

Vyšetřovací postupy

- Laboratorní vyšetření – častým příznakem nádoru bývá přítomnost okultního krvácení v sekretu, achylie, přítomnost mléčné kyseliny apod.⁽²⁾
- Zobrazovací metody
 - a) Rentgenové:

- sumační snímky hrudníku, skeletu, bez kontrastu, s kontrastem, s dvojnásobným kontrastem, tomografie, mammografie, duktografie a další.
- CT patří k základním a nejdůležitějším rentgenovým metodám.

b) Nerentgenové – sonografie, MR-magnetická rezonance.⁽⁵⁾

- Radioizotopové diagnostické metody – jde především o použití radionuklidů většinou při vyšetření štítné žlázy, ledvin, jater, mozku, kostí.⁽²⁾
- Endoskopické vyšetření – jedná se o metodu vhodnou pro vyšetření většiny dutých orgánů. Dovoluje nám prohlédnutí zkoumaného prostoru, odebrání vzorku podezřelé tkáně k histologickému vyšetření.⁽⁵⁾
- Biopsické vyšetření – jedná se o totálně odstraněný orgán, excizi jeho části nebo materiál získaný punkcí. Biopsie potvrzuje a upřesňuje diagnózu. Udává vztah novotvaru k okolní tkáni, jeho etiologii, biologickou povahu, možné doprovázející procesy.
- Cytologické vyšetření – cytologie punktátů nádorových tkání, lymfatických uzlin, vnitřních orgánů a rozličných sekretů a exkretů.⁽²⁾
- Vyšetření nádorových markerů – nádorovými markery se označují mikro-, makromolekuly nebo prvky nacházející se ve zvýšeném množství v nádorových tkáních nebo v séru onkologických nemocných.⁽²⁾ Ideální marker není znám, jejich sledování se využívá:
 - a) pro skrining
 - b) pro stanovení primární diagnózy
 - c) pro monitorování terapie (nejčastěji)
 - d) pro odhad prognózy
- Další vyšetřovací postupy: využití metod je individuální, podle typu nádoru, jeho lokalizaci a jeho symptomatologii.⁽⁵⁾

Typizace nádoru – typing

Nádory se dělí na dvě základní skupiny: - benigní
- maligní

- Benigní nádory jsou opouzdřeny proti okolní tkáni, netvoří vzdálené metastázy, rostou obvykle pomalu, tvoří je histologicky normální buňka a jsou zpravidla dobře chirurgicky léčitelné.

- Maligní nádory rostou infiltrativně (vrůstání nádorových buněk do mezibuněčných prostorů v okolní tkáni), rostou destruktivně (rozruší i kost), často tvoří metastázy.

Typy nádorů a jejich název se rozlišuje podle tkáňového původu:

- a) nádory mezenchymové – název vzniká z názvu tkáně vzniku a koncovky, u benigních -om, u maligních je přídavek sarkom. Z vaziva je fibrom (fibrosarkom), z tukové tkáně lipom (liposarkom) a tak dále.
- b) nádory epitelové – benigní, podle místa původu – z povrchového epitelu papilom, ze žláзовého parenchymu adenom. Maligní nádory se nazývají karcinomy.⁽⁹⁾
- c) nádory neuroektodermové – vznikají z buněk centrální nebo z periferní nervové soustavy.
- d) nádory smíšené – jsou složeny ze dvou nebo více druhů tkání.⁽⁵⁾
- e) nádory krvetvorné tkáně – maligní se nazývají leukemie.
- f) nádory lymforetikulární tkáně – maligní jsou lymfomy.
- g) chorionepiteliom maligní – vzniká z placentární tkáně.⁽⁹⁾

Vyprávání nádoru (grading)

Tento údaj patří mezi základní prognostická kritéria. Nádory vykazující menší diferenciaci, jsou většinou senzitivní k chemické i radiační terapii, jejich chování je často agresivní a ohrožuje pacientův život v krátkém časovém rozhraní.

- G – histopatologický grading
- GX – stupeň diferenciaci nelze stanovit
- G1 – dobře diferencovaný
- G2 – středně diferencovaný
- G3 – málo diferencovaný
- G4 – nediferencovaný (nejhorší prognóza).⁽⁵⁾

Rozsah nádoru (staging)

Rozsah choroby má velký vliv na prognózu onemocnění.⁽⁹⁾ Jsou používány různé systémy a kritéria.⁽¹¹⁾ Je nutné mezinárodní ujednání srovnatelných podmínek k možnému srovnávání výsledků léčby. Nejuniverzálnějším je systém TNM (tumor-node-metastasis), vypracovaný UICC (Union Internationale Controle le Cancer).⁽⁹⁾ Praktické využití TNM spočívá v třídění do stádií onemocnění, tzv. stážování. Stalo se

již dávno nezbytností a samozřejmostí pro řadu cílů a účelů. Logicky tak uzavírá diagnostický proces.

Přesný klinický popis a klasifikace zhoubného nádoru slouží:

1. K plánování způsobu léčby a k určení jejího rozsahu.
2. Ke stanovení prognózy onemocnění.
3. Při vyhodnocování výsledků léčby.
4. K výměně informací a srovnávání léčebných výsledků mezi různými pracovišti.
5. Při provádění výzkumu v oblasti zhoubných nádorů.⁽²⁾

Podle TNM systému je každé histologicky ověřené onemocnění hodnoceno pomocí tří kategorií:

T – rozsah primárního nádoru

T1, T2, T3, T4 – narůstající velikost nádoru anebo lokální šíření primárního nádoru

TX – primární nádor nelze posoudit

T0 – bez známek primárního nádoru

Tis – preinvazivní karcinom (carcinoma in situ)

N – stav regionálních lymfatických uzlin

N1, N2, N3, N4 – postižení regionálních uzlin podle obsahu

NX – nález na regionálních mízních uzlinách nelze posoudit

NO – postižení regionálních uzlin není zjištěno

M – přítomnost či nepřítomnost vzdálených metastáz

M1 – vzdálené metastázy zjištěny

MX – vzdálené metastázy nelze stanovit

MO – vzdálené metastázy nejsou přítomny⁽¹¹⁾

Takto použitá klasifikace tvoří stádia s rozdílnou prognózou.⁽⁵⁾

- I. **Stadium** – představuje pouze lokální růst, bez jakékoliv diseminace.
- II. **Stadium** – představuje buď rozsáhlejší lokální růst bez diseminace, nebo minimální růst s počínající regionální diseminací.
- III. **Stadium** – představuje rozsáhlé lokální a regionální postižení bez vzdálené diseminace.

IV. **Stadium** – představuje buď lokální přerůstání na jiné okolní tkáň nebo i při malém místním postižení tvorbu vzdálených metastáz.

Klasifikace má svá pravidla, která musí být striktně dodržena.⁽⁹⁾

Celkový stav pacienta

Léčbu a její výsledky výrazným způsobem limituje celkový stav pacienta (PS-performance status). Na momentálním stavu pacienta se podílí nádor, věk, komorbidita a psychika. Musí se také hodnotit do jaké míry je zachována schopnost pacienta se o sebe postarat, jeho pohyblivost, bolesti a další symptomy. K přesnějšímu vyhodnocení se běžně užívají dvě stupnice. Jednak stupnice podle Karnofského - vyjadřuje se v procentech plné stoprocentní výkonnosti (viz tab. 1) a dále pak stupnice dle WHO, která stav označuje numerickým symbolem 1-4 (viz tab. 2).⁽⁵⁾

Tabulka 1 Posuzování tělesné výkonnosti podle bodovací škály dle Karnofského.

Karofsky(%)	Popis stavu tělesné aktivity.
100	Normální aktivity, bez projevů nemoci.
90	Normální aktivity, přítomny minimální znaky nebo příznaky nemoci.
80	S úsilím schopen normální aktivity, přítomny znaky nebo příznaky nemoci.
70	Soběstačný, neschopen normální aktivity nebo práce.
60	Potřebuje občasnou pomoc, ale převážně je soběstačný.
50	Potřebuje výraznou pomoc a častou lékařskou péči.
40	Nesoběstačný, vyžaduje zvláštní péči a pomoc.
30	Zcela nesoběstačný, je indikována hospitalizace, ale bezprostřední úmrtí nehrozí.
20	Nemohoucí, nutná hospitalizace, nutná aktivní podpůrná léčba.
10	Moribundní.
0	Smrt.

Tabulka 2 Posuzování tělesné výkonnosti podle bodovací škály ECOG.

Stupeň	Popis stavu tělesné aktivity
0	Schopen normální tělesné aktivity bez omezení.
1	Neschopen těžké fyzické námahy, může vykonávat lehčí práci.
2	Soběstačný, ale neschopen práce. Tráví více než 50% denní doby mimo lůžko.
3	Omezení soběstačný. Přes den tráví na lůžku více než 50% denní doby.
4	Zcela nesoběstačný. Trvale upoután na lůžko.

Předléčebné posouzení by mělo obsahovat tyto údaje:

Věk, pohlaví, rasu, důležitou komorbiditu, psychický stav, stávající potíže, objektivní fyzický nález, váhu, míru a tělesný povrch, vlastní postoj pacienta a jeho ochotu spolupracovat na léčbě.

Závěr diagnostického procesu:

diagnóza (histologicky stanovená) – typ nádorové nemoci – typing

jeho vyžívání – grading

rozsah – staging

stratifikace nádoru – histologická upřesnění, stanovení prognostických a prediktivních faktorů

zhodnocení celkového stavu – performance status (PS).⁽⁵⁾

1.1.2 Týmy

Na strategii léčby by se měl vždy podílet celý tým odborníků.⁽¹¹⁾ Ten také před zahájením terapie stanoví rámcový léčebný cíl, který je reálný, obsahuje tedy i nežádoucí doprovodné reakce dočasného i trvalého rázu. Rozhoduje tedy, zda půjde o léčbu kurativní (radikální), paliativní či adjuvantní. Cíl léčby se může někdy stát neuskutečnitelným a léčebná strategie se musí změnit.⁽⁵⁾ Tým se skládá z odborníka pro postižený orgán, klinického onkologa, chirurga, radioterapeuta, chemoterapeuta, rentgenologa, patologa a dalších lékařů podle řešeného oboru. V mnohých krajích jsou již zřízeny komise (týmy) pro diagnostiku a komplexní léčbu nádorů.⁽¹¹⁾

Například ve Fakultní nemocnici Olomouc je mammologický tým, chirurgicko – onkologický tým (karcinom jícnu, žaludku), gynekologický tým, urologický tým, tým pro nádory hlavy a krku (ORL, ÚČOCH...), tým pro plicní malignity, melanomový tým. Česká republika má však také sarkomový tým v Brně, tým pro nádory mozku v Praze, specializovaný tým pro léčbu dětských nádorů v Praze Motol atd.

1.1.3 Standarty

Pro každou diagnózu jsou stanovené tzv. standarty. Jsou to standardní postupy, které by se měly dodržovat. Jsou závislé na rozsahu postižení (stádiu) v rámci jedné diagnózy. U některých nádorů nebo jejich klinických stádií může být určitý druh léčby dominantní, u jiných nádorů indikujeme léčebný postup podle stavu pacienta.

Zhoubné nádory některých orgánů jsou vhodné pro chirurgický zákrok a léčba zářením se používá jen velmi výjimečně (např. u karcinomu tračnicku). U jiných lokalizací zhoubného nádoru je chirurgický výkon nevhodný a indikována je léčba zářením. Někdy může přinést chirurgický výkon stejné výsledky, jako léčba zářením v takové situaci se rozhoduje podle možných vedlejších účinků jednotlivých metod, komorbidit a celkového stavu a věku pacienta. Nádorová onemocnění mohou být indikována jen pro léčbu cytostatiky (leukémie) i pro léčbu hormonální. Mnoho druhů zhoubných nádorů vyžadují komplexní léčbu (kombinace různých druhů léčby). Přehled základních metod léčby je uveden v tab. 3.⁽¹¹⁾

Tabulka 3 Přehled druhů léčby.

chirurgická léčba
radioterapie
chemoterapie
hormonální léčba
biologická léčba
podpůrná léčba

1.2 Taktika léčby

Taktika léčby je vlastní detailní provedení léčby, které již náleží do kompetence příslušného odborníka.⁽¹¹⁾ Je zde velmi důležitá detailní znalost nálezu.

- U radioterapie se stanoví rozsah ozářené oblasti, jednotlivá dávka, celková dávka, frakcionace, zdroj záření.
- U chemoterapie se vybírá cytostatikum, jejich kombinace a sekvence podání. Dále dávka, doba aplikace, forma aplikace, periodičita podání.

1.3 Rozhodovací proces v rámci strategie a taktiky

V této části stanovujeme cíl léčby a zvažujeme předpokládané pozitivní výsledky léčby (uzdravení, remise, zlepšení života) v rozporu s časnými a pozdními nežádoucími účinky náročné protinádorové léčby.

1.3.1 Kurativní radioterapie

Kurativní (radikální) radioterapie má za cíl vyléčit nádor. ⁽¹⁰⁾ Terapie musí být radikální, dostatečně intenzivní. Za očekávaný výsledek stojí dočasné i výrazné zhoršení kvality života, dokonce i přijatelné trvalé poškození. ⁽⁵⁾ Radikální léčba je velmi náročná. Často se používá v ještě asymptomatickém stádiu onemocnění (tj. v době kdy pacient nemá ještě žádné potíže). ⁽¹¹⁾ Často se kombinuje s chemoterapií. Stále více se uplatňuje jako alternativa mutilujícího chirurgického výkonu v léčbě análního karcinomu, karcinomu laryngu, jazyka. ⁽¹⁰⁾ Zahrnuje i tzv. adjuvantní léčbu.

Adjuvantní léčba – léčba indikovaná po kurativní primární léčbě, namířená proti skryté nemoci (možný mikrometastatický rozsev). Musí být zahájena včas (do 6 týdnů), podána v dostatečné dávkové intenzitě, dostatečně dlouho.

Neoadjuvantní léčba – cytostatická - snaží se zničit pravděpodobné systémové postižení a eliminace primárního nádoru se provádí až po celkové terapii nebo je neoadjuvance kombinovaná (radiochemoterapie). Může být jak terapií kurativní, tak paliativní. ⁽⁵⁾

Předoperační radioterapie – je prováděná za účelem zmenšení nádoru (downstaging) a dosažení jeho operability či redukce rozsahu chirurgického výkonu. Příklady indikací jsou karcinom rekta, jícnu, sarkomy měkkých tkání.

Pooperační radioterapie – ničí zbytkovou mikroskopickou chorobu. Využívá se u karcinomu prsu, nádorů ORL oblasti, nádorů mozku, rekta, dělohy.

1.3.2 Paliativní radioterapie

Paliativní radioterapie svým zaměřením naplňuje obecnou definici paliativní léčby dle WHO: „Paliativní medicína je celková léčba a péče o nemocné, jejichž nemoc

nereaguje na kurativní léčbu. Nejdůležitější je léčba bolesti a dalších symptomů, stejně jako řešení psychických, sociálních a duchovních problémů nemocných. Cílem paliativní medicíny je dosažení co nejlepší kvality života nemocných a jejich rodin.“

Ve čtyřicátých letech ji definoval R. Paterson takto: „Paliativní radioterapie je jako terapeutický záměr (strategie) jak dosáhnout přechodného zlepšení stavu nemocného v podmínkách, kde nás vlastní zkušenost učí, že kurativní záměr není reálný.“⁽¹¹⁾

Paliativní radioterapie je nedílná součást radiační onkologie. Tvoří základ metod komplexní onkologické léčby. Rozhoduje o ní multidisciplinární tým.⁽¹⁰⁾ Plánuje se tam, kde na základě vyšetření bylo zjištěno nádorové onemocnění takového rozsahu, že je nevléčitelné.⁽¹¹⁾ Odstranění symptomů choroby nebo jejich podstatné zmírnění, tj. zlepšení kvality života, jsou jejími hlavními cíli. K těmto výsledkům léčby paliativní radioterapie užívá ionizující záření, aplikované v předepsané dávce do stanoveného cílového objemu ve stanoveném frakcionačním schématu.⁽¹⁰⁾ Při tomto druhu ozařování a po jeho skončení se má pacient cítit lépe než před zahájením léčby.⁽¹¹⁾

Dlouhodobá paliace spočívá v kontrole symptomů i v dosažení stabilizace nádorového procesu či jeho parciální regresi (event. prodloužení života nemocného). Postup léčby je stejný jako u radioterapie radikální.

Paliace s krátkodobým záměrem zmírňuje určitý symptom nádorové choroby. Používají se metody, které pacienta co nejméně zatíží a mají co nejmenší akutní nežádoucí účinky.⁽¹⁰⁾

Tabulka 4 Obecné srovnání radikální a paliativní léčby.

	radikální	Paliativní
dávka jednotlivá	nižší	Vyšší
dávka celková	vyšší	Nížší
počet frakcí	vyšší	Nížší
Technika	složitější	Jednoduchá
Cíl	vyléčení pacienta	úleva od potíží

2 PŘÍPRAVA OZAŘOVACÍHO PLÁNU V TELETERAPII

Teleterapie - zevní radioterapie - je ozáření, při kterém je zdroj ionizujícího záření mimo tělo pacienta a cílový objem je ozařován přes kůži.⁽⁶⁾

Proces plánování zevního ozáření zahrnuje několik na sebe navazujících kroků. Jsou jimi imobilizace, lokalizace nádoru, vyznačení cílového objemu a kritických orgánů, výběr zdroje záření, volba ozařovací techniky, modifikace svazku záření, výpočet distribuce dávky, optimalizace plánu, simulace.⁽¹⁰⁾

2.1 Imobilizace

Imobilizace je důležitá pro celý průběh ozařování. Slouží co možná k nejpřesnějšímu nastavení polohy pacienta.⁽¹⁰⁾ Poloha by měla být pohodlná, vhodná pro zvolenou techniku. Musí být vždy přesně dokumentována, aby se zajistila její reprodukovatelnost jak v průběhu celého plánovacího procesu, tak v následné léčbě.⁽¹⁾ K zajištění polohy existuje řada pomůcek pro různé lokality (obličejové masky, klíny pod hrudník, opěrky pod ruce, vakuové podložky trupu).⁽¹⁰⁾ Pro přesné umístění pacienta v podélné ose svazku se používá centrální laserový zaměřovač, boční zaměřovač slouží k nastavení horizontální polohy.⁽¹⁾

2.2 Lokalizace nádoru

Lokalizací rozumíme určení cílového objemu ve vztahu k anatomickým strukturám a referenčním bodům na kůži či ozařovacích pomůčkách.⁽¹⁾ Provádí se v poloze s potřebnými pomůckami, v níž bude pacient ozařován. Správná lokalizace vyžaduje patřičné topograficko-anatomické znalosti.

Způsoby lokalizace

- aspekse (vyšetření zrakem) – např. u kožních nádorů

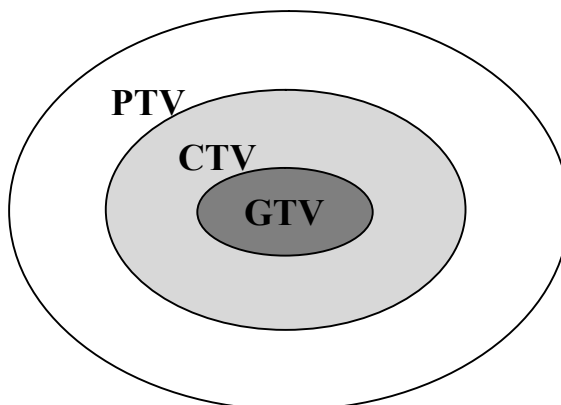
- palpace (vyšetření pohmatem) – např. vyšetření a plánování ozařování periferních uzlinových oblastí
- RTG lokalizace – nejčastější způsob s využitím rentgenových přístrojů (RTG simulátor, CT simulátor atp.).⁽⁹⁾

Prvotní lokalizace nádoru se provádí na simulátoru. Dále následuje provedení *plánovacích CT řezů* celou oblastí zájmu. Transverzální CT řezy s vyznačenou oblastí (rozestup 5 – 20mm dle lokality) jsou přeneseny do plánovacího systému.⁽¹⁰⁾

2.3 Vyznačení cílového objemu a kritických orgánů

Na jednotlivých CT řezech, získaných z lokalizace nádoru, vyznačí lékař kontury cílového objemu a kritických orgánů. Definují se tři objemy podle doporučení International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) č. 50.

1. Objem nádoru (gross tumor volume, GTV) = nádor.
2. Klinický cílový objem (clínical target volume, CTV) = GTV + lem zahrnující potenciální mikroskopické šíření nádoru.
3. Plánovaný cílový objem (planning target volume, PTV) = CTV + lem zahrnující fyziologické změny pozice CTV v organismu a možné chyby při nastavení pacienta (obr. 1).⁽¹⁰⁾



Obr. 1 Definice cílového objemu podle ICRU 50 Report.

Musíme rozlišovat pojmy: objem nádoru, cílový objem.

Objem nádoru (GTV) – tj. rozsah nádoru se stanoví, podle různých systémů klasifikace (např. TNM), jeho lokalizace, velikost a celkový rozsah nádoru. Makroskopické hranice nádorového objemu se určuje dalším vyšetřením zrakem, pohmatem, RTG vyšetření, CT, izotopové vyšetření, ultrasonografie nebo magnetická rezonance.

Klinický cílový objem (CTV) – obsahuje celkový objem nádoru s oblastmi, ve kterých se předpokládá mikroskopický rozsev (určuje se na základě histologického nálezu, znalosti chování daného typu nádoru, intenzity, schopnosti šíření).

Plánovaný cílový objem (PTV) – v situacích, kdy nádor mění svoji polohu vyvolanou fyziologickými nebo technickými příčinami pacienta je nutné ke klinickému cílovému objemu definovat tzv. polohový lem. Příčinami může být dýchání, polykání, kolísání objemu močového měchýře, změny rozměrů pacienta a jeho polohy při ozařování.⁽¹⁾

2.4 Výběr zdroje záření

2.4.1 Zdroje vysokoenergetického záření

V zevní radioterapii (teleradioterapii) je v současnosti základním přístrojem **lineární urychlovač** (linear accelerator, LA). Do vlnovodu jsou uvolňovány mikrovlny o vysoké frekvenci, které generuje magnetron nebo klystron. Současně jsou do vlnovodu injikovány elektrony elektronovým dělem. Působení mikrovln (nosná nebo stojatá vlna – podle konstrukce vlnovodu) způsobuje urychlení elektronů na energii blízké rychlosti světla. Urychlené elektrony po odchýlení elektromagnetem dopadají na wolframový terčik za vzniku vysokoenergetického fotonového záření. Svazek fotonů vystupující z hlavice přístroje je ohraničen a tvarován clonami kolimátoru. Urychlovače duálního typu umožňují volit mezi dvěma energiemi fotonů (např. 6MV a 15MV). Některé urychlovače umožňují získat a využít urychlené elektrony o různých energiích (6, 9, 12, 16, 20 MeV). Konstrukce lineárních urychlovačů je taková, že centrální osa svazku záření míří při jakékoliv poloze gantry do jednoho bodu – izocentra (vzdálenost 100cm od zdroje záření s lokalizací do středu

ozařovaného objemu). Moderní přístroje jsou vybaveny bohatým příslušenstvím (fixace nástavců klínových a kompenzačních filtrů, dynamické klíny, motorické klíny, verifikační zařízení). Však dálkově ovládaný polohovací stůl s plovoucí deskou je nezbytností. Pro správné nastavení pacienta slouží zaměřovací lasery na stěnách ozařovny. Průsečík paprsků definuje izocentrum.⁽¹⁰⁾

Kobaltový ozařovač používá jako zdroj záření radioaktivní ^{60}Co , získaný neutronovou aktivací stabilního izotopu kobaltu ^{59}Co . Radioaktivní kobalt emituje bichromatické (dvojí) záření γ o energii 1,17 a 1,33 MeV. Poločas rozpadu je 5,26 let.⁽⁶⁾ Zdroj je umístěn v hlavici (olovo, ochuzený uran), která zajišťuje stínění.⁽¹⁰⁾ V době ozařování je zdroj přesunut z klidové do otevřené pracovní polohy, kdy otvorem v hlavici vychází ozařovací svazek.⁽⁶⁾ Výměna radioaktivního zdroje se provádí u kobaltu jednou za 3 – 5 let.⁽²⁾

Srovnání výhod a nevýhod lineárního urychlovače a kobaltového ozařovače není jednoduché. K nejznámějším výhodám LA patří dobré geometrické parametry, stálost dávkového výkonu, ostré vymezení svazku, kombinace fotonů a elektronů, univerzálnost klinického využití, vyšší radiační bezpečnost. Velkou předností urychlovačů je možnost využití elektronového svazku a široká škála přídatných zařízení. Moderní kobaltové ozařovače se vyrovnají LA v geometrické přesnosti a reprodukovatelnosti dávky. Nevýhodou kobaltu je díky velikosti zdroje polostín.

Dle současných evropských norem musí být centrum pro kurativní léčbu zářením vybaveno alespoň jedním urychlovačem. Optimální stav, ale zahrnuje dva adekvátní lineární urychlovače nebo alespoň jeden duální urychlovač se dvěma energiemi fotonů a několika energiemi elektronů a druhý urychlovač s nižší energií fotonů (4-6 MeV).⁽¹⁰⁾

Ozařování těžkými částicemi představují použití jiného svazku záření nežli klasicky brzděného a elektronového.⁽⁹⁾ Částice jsou využívány pro výhodnou fyzikální distribuci dávky (protony), zvýšení biologické účinnosti záření (neutrony) nebo pro zlepšení obou těchto charakteristik (ionty uhlíku, neonu, argonu, negativní piony).

- *Urychlené protony* ionizují přímo, ztrácí tedy postupně při průchodu hmotou svoji kinetickou energii a svoji dráhu končí v definitivní hloubce. Vysokou hustotu ionizace produkují ke konci dráhy, a proto v těchto místech dávka záření prudce stoupá (oblast Braggova peaku). Urychlené protony generované v cyklotronu nacházejí uplatnění v léčbě

dobře ohraničených nádorů nacházejících se v těsné blízkosti radiosenzitivních struktur. Lze totiž dosáhnout strmého poklesu dávky mezi cílovým objemem a okolím.

- *Neutrony* způsobují ionizaci nepřímo. Srážkami s jádru vodíku (neutron předá jádru vodíku část energie) vyrážejí z vazeb protony, ty už ionizují přímo. Neutrony jsou produkovány v cyklotronu, způsobují na své dráze hustou ionizaci o vysokém lineárním přenosu (LET). Záření o vysokém LET způsobuje vyšší poškození buněk ve srovnání s fotonovým zářením, má vyšší relativní biologickou účinnost (RBE). Použití neutronů může způsobit těžké poškození zdravých orgánů. Indikace jsou proto limitovány na nádory rezistentní na konvenční radioterapii. Speciálním neutronovým zářičem je umělý radioizotop, ²⁵²californium, testovaný v brachyterapii (ca děložního čípku).
- *Urychlené těžké nabitě částice a negativní piony* spojují Braggův peak s vysokým LET a RBE. Těžké částice, jejichž zdrojem je synchrotron, jsou v současné době experimentální léčbou. Vybavení je velice drahé.⁽¹⁰⁾

2.4.2 Terapeutické rentgenové ozařovače

Rentgenové ozařovače produkují terapeutické svazky záření X. Speciální rentgenka s generátorem vysokého napětí v rozsahu 10-300 kV, při anodovém proudu 1-30 mA, je zdroj tohoto záření. Z anody rentgenky vychází terapeutický svazek záření X a prochází plochými ionizačními komorami, které přesně monitorují výstupní dávku. Svazek je nejen monitorován, ale také dále tvarován sadou vyměnitelných tubusů (nasazují se na výstup z rentgenky).⁽⁶⁾ Energie záření se volí podle hloubky uložení ozařovaného ložiska.⁽¹⁰⁾ Záření X vycházející z rtg ozařovače má jen nízkou energii, pronikající do malých hloubek pod povrchem těla pacienta.⁽⁶⁾ Využívá se tedy k léčbě kožních nádorů a k nenádorové terapii.⁽¹⁰⁾

2.5 Volba ozařovací techniky

Při tvorbě ozařovacího plánu se volí taková ozařovací technika, aby zvolená ozařovací pole (tj. terapeutický svazek ionizujícího záření dopadající na pacienta) pokryla celý cílový objem a současně nezahrnovala kritické orgány (možné použití odlišných stínících bloků atp.).⁽¹⁰⁾ Při volbě počtu ozařovaných polí a jejich uspořádání hraje velkou roli zkušenost radioterapeuta, plánujícího radiofyzika a úroveň jejich znalostí jednotlivých technik ozařování.⁽⁹⁾ Uspořádání polí může být koplanární (v jedné rovině), ale také non-koplanární (ve více rovinách), což je velká výhoda pro 3D plánování.⁽¹⁰⁾

2.5.1 Statické ozařovací techniky

Statické ozařovací techniky lze obecně dělit podle počtu a uspořádání ozařovacích polí.⁽⁶⁾

1. **Jedno pole** je nejjednodušší ozařovací technikou. Centrální paprsek směřuje kolmo k povrchu ozařovaného objemu. Tato technika se používá pro ozařování kůže nebo ložisek v podkoží.⁽⁶⁾ Dále je častou volbou při paliativním ozařování, při nenádorové radioterapii, pooperační ozařování (jizvy).⁽⁹⁾

2. **Dvě pole**

konvergentní (sbíhavá) pole - centrální paprsky ozařovacích svazků svírají určitý úhel. Této techniky se využívá při umístění cílového objemu tak, že lze ozařovat pouze z jedné strany (příušní žlázy, močový měchýř) nebo při šetření kritických orgánů umístěných v blízkosti cílového objemu. Nevýhoda dvou sbíhavých polí je vznik maxima dávky, který prakticky nikdy neleží na průsečíku centrálních paprsků. Klínové filtry eliminují nevýhodu maxima a umožňují homogennější rozložení hloubkové a ložiskové dávky.

dvě protilehlá pole – centrální paprsky obou polí leží na stejné ose. Nejčastější používaná technika způsobu ozařování nádorů, při které je nejnižší celková (objemová, integrální) absorbovaná dávka záření organismem. Při použití techniky dvou protilehlých polí záleží na velikosti pole, energie záření, velikosti OK, různé váhové zatížení ozařovaných polí. Vstupní pole je zvýšeně zatíženo o výstupní dávku pole protilehlého.

dvě tečná (tangenciální) pole - ozařování dvěma protilehlými poli používanými při potřebě ozářit vrchlík, část pláště těla (hrudník). Tímto způsobem ozáření můžeme uchránit orgány ležící pod ozařovaným objemem. Technika je charakterizována velmi šikmým vstupem centrálních paprsků do ozařovaného objemu. Představuje standart při ozáření prsu nebo hrudní stěny po ablaci prsu.

3. **Kombinace tří polí** se používá u nádorů uložených v hloubce těla, k šetření kůže a zdravých orgánů. Centrální paprsky všech tří polí můžou svírat mezi sebou různé úhly.

Y technika – nejčastějšími úhly centrálních paprsků mají velikost 120 stupňů nebo 180. Nejčastěji se využívá u nádorů plic, mediastina, ledvin.

T technika – CP pod úhlem 90 stupňů. Jedná se o dvě protilehlá pole a třetí na ně kolmé. Používá se např. u nádorů rekta, paranasálních dutin.⁽⁹⁾

4. **Čtyři pole** – jedná se vždy o dvě protilehlá pole na sebe kolmá nebo konvergentní.⁽⁶⁾

Box technika – centrální paprsky protilehlých polí (2+2) leží v rovině vitální a frontální. Ozařují se hlavně oblasti pánve (gynekologické nádory, nádory konečníku) nebo hrudníku.

Křížový oheň – pole (2+2) jsou protilehlá. CP těchto polí svírá s rovinou sagitální a frontální určitý úhel.

5. **Pět a více polí** – technika z více polí se hodí pro malá ložiska. Docílí se prudkého spádu dávky mimo nádorové ložisko (vysoká dávka v nádorovém ložisku, nízká povrchová dávka).

Ozařovací techniky se přizpůsobují vždy konkrétnímu případu – **individuální plánování**.⁽⁹⁾

2.5.2 Dynamická technika

Je to ozařování z mnoha polí, při kterém se zdroj pohybuje okolo pacienta (výjimečně se pohybuje pacient a zdroj je v klidu). Cílový objem zůstává během pohybu vždy ve svazku záření. Zatím co dávka na kůži je rozdělena na velkou plochu.⁽⁶⁾

2.5.3 Velkoobjemové ozařování

Patří mezi speciální techniky radioterapie, kdy je ozařován velký objem pacienta velkými poli. Jedná se o polotělové, celotělové, segmentové ozařování, techniku mantel, obrácené Y či ozařování „spray“ technikou. U velkoobjemového ozařování jsou jednotlivé dávky obvykle nižší. Dochází totiž k rychlým změnám hodnot v krevním obraze. U pacienta se mohou projevit symptomy choroby z ozáření.⁽⁹⁾

2.6 Modifikace svazku záření

Modifikace svazku záření se docílí pomocí klínových filtrů.⁽¹⁰⁾ Rozlišujeme klínové filtry standardní (mají pevně daný sklon 15°, 30°, 45° a 60°), nebo dynamické (úhel sklonu se volí dle potřeby).⁽¹⁾ Filtry se dělají z různého materiálu, nejčastěji z hliníku, mědi, olova a platiny. Záleží, k jakému účelu mají sloužit.⁽¹¹⁾

Abychom docílili *upravení dávkové nehomogenity* při nerovném povrchu těla nebo při rozdílné hloubce uložení cílového objemu, použijeme kompenzační filtry. Příslušný kompenzátor je vyfrézován automatickým vyřezávačem.⁽¹⁰⁾ Filtr musí být v dostatečné vzdálenosti od pokožky pacienta.⁽¹⁾

Tvarování polí lze provádět dvojím způsobem. Přenosem kontur pole ze simulačního snímku digitizérem do plánovacího systému. Nebo tvarování pole přímo plánovacím systémem v BEV modu, který zobrazuje cílové struktury z pohledu svazku záření.⁽¹⁰⁾

Vykrytí části pole lze dosáhnout pomocí konvenčních litých bloků nebo vícelamelových kolimátorů (MLC). Výhodou bloků je univerzálnost a vysoká přesnost vykrytí, nevýhodou pracnost a každodenní manipulace s poměrně těžkým materiálem.⁽¹⁰⁾ Bloky jsou pokládány na nosič upevněný ke kolimačnímu systému.⁽¹⁾ MLC šetří čas a práci radiologickým asistentům.⁽¹⁰⁾ Poskytuje jemnější a dynamické tvarování svazku.⁽¹⁾ Nelze jej však použít u všech technik, velikostí polí a problémové je použití v blízkosti kritických orgánů (oko, mícha).⁽¹⁰⁾

2.7 Výpočet distribuce dávky

Dávka záření se specifikuje dle doporučení ICRU č. 50 do izocentra, které má být lokalizováno přibližně uprostřed cílového objemu. Dávka v izocentru je normalizována na hodnotu 100 %. Je přípustné kolísání dávky v plánovacím cílovém objemu mezi 95% - 107 %.⁽¹⁰⁾

2.8 Optimalizace plánu

K optimalizaci plánů slouží objemové histogramy (DVH). Křivky ukazují objemovou expozici plánovacího cílového objemu a kritických orgánů. Systém umožňuje porovnání objemových histogramů pro různé ozařovací plány a výběr nejvhodnějšího.⁽¹⁰⁾

2.9 Simulace

Simulátor je zařízení napodobující (simulující) ozařovač pro teleterapii. Má nastavitelné mechanické parametry, které odpovídají parametrům ozařovacího přístroje, který se na pracovišti používá. Rozdíl je pouze v tom, že místo zdroje záření je použita klasická radiodiagnostická rentgenka.⁽⁶⁾

Poslední fází přípravy ozařovacího plánu je přenos dat z plánovacího systému na pacienta, který se provádí na simulátoru. Podle jednotlivých koordinát (X, Y, Z) generovaným plánovacím systémem se nastaví na simulátoru poloha izocentra a jeho průměty se vyznačí na kůži pacienta. Poté probíhá simulace jednotlivých polí. Obraz pole na simulátoru musí odpovídat digitálně rekonstruovanému rentgenogramu (DRR) v plánovacím systému. Simulační snímky jsou součástí pacientovy dokumentace.⁽¹⁰⁾

2.10 Ozařovací předpis

Plánování ozařování je ukončeno ozařovacím předpisem (protokolem). Obsahuje kompletní vystavení a vypsání všech parametrů a podmínek pro samotné ozařování. Ozařovací předpis je tedy písemný dokument, který by měl být zkontrolován a podepsán primářem či odpovědným zástupcem.⁽⁹⁾

3 PŘÍPRAVA OZAŘOVACÍHO PLÁNU V BRACHYTERAPII

Brachyterapie – léčba ionizujícím zářením, kdy je radioaktivní zdroj umístěn přímo do místa nádoru.⁽²⁾ Zdroj záření v brachyterapii může být buď:

- a) v trubicových orgánech – intraluminární brachyterapie,
- b) v tělních dutinách (pochva, děloha) – intrakavitární brachyterapie,
- c) implantován do nádoru (do jeho lůžka) – intersticiální brachyterapie,
- d) ve speciálních aplikátorech na povrchu nádoru – technika muláží.⁽⁷⁾

V brachyterapii dochází k prudkému poklesu dávky do okolí. Ve srovnání se zevní radioterapií umožňuje dávkovou eskalaci se současně větším šetřením okolních zdravých tkání. Na druhou stranu rychlý pokles dávky do bezprostředního okolí cílového objemu může způsobit podzáření oblastí mikroskopického šíření nádoru.⁽⁸⁾

Pro plánování brachyterapie platí podobná pravidla jako pro zevní ozařování (pečlivé zvážení výše celkové dávky, rozmístění zdrojů, volby dávkového příkonu, frakcionace atd.).⁽¹⁰⁾

3.1 Rozvaha o uspořádání aplikátorů

Počet aplikátorů, jejich vzájemná pozice a vzdálenost, které mají zajistit homogenní rozložení dávky, se stanoví na základě velikosti nádoru, jeho uložení a blízkosti kritických orgánů. Zavádění aplikátorů často probíhá v celkové anestezii.⁽¹⁰⁾

3.1.1 Intrakavitární aplikace

Uterovaginální aplikace se používají v léčbě čípku děložního. Aplikátor je složen z uterinní sondy a vaginálních ovoidů. Délka uterinní sondy je uzpůsobena k délce děložní dutiny. Podle sklonu děložní dutiny se vybírají uterinní sondy s různým zakřivením. Ovoidy vyplňují vaginální klenby (mají průměry 2-3,5cm). Cervikální stoper zabraňuje jejich vzájemnému přiblížení. Správná tamponáda fixuje celý aplikátor a odtlačuje rektum a močový měchýř. Nejčastěji používaným typem

aplikátoru je Fletscherův aplikátor, Henschkeho aplikátor nebo „ring“ aplikátor. Hlavním cílem je maximální ozáření dělohy, čípku, paracervikálních tkání a vaginálních kleneb s minimálním ozářením rekta a močového měchýře.⁽⁴⁾

Kolpostat se skládá z vaginálních ovoidů. Použití nachází v ozáření poševních jizvy a klenby poševní u karcinomu cervixu po radikální hysterectomii. Dávka se stanovuje v 0,5cm od povrchu aplikátoru.

Vaginální válec se používá prozáření proximálních 2/3 vaginy u karcinomu endometria po radikální hysterectomii, u málo pokročilých karcinomů vaginy. Má se užívat válec o maximálním průměru akceptovaném pacientkou. Dávka se vyjadřuje buďto na povrchu válce nebo 0,5 cm od povrchu.

Heymanova tamponáda je složena z jednotlivých zářičů upevněných na drátčích či plastických trubkách. V dutině děložní mají být umístěny vějířovitě v několika rovinách, což způsobí rovnoměrné ozáření celé šířky děložní stěny ve všech částech. Dávka se počítá na serosním povrchu dělohy. Důležitá v intrakavitární brachyterapii karcinomu endometria.

3.1.2 Intraluminární aplikace

Lineární intraluminární zdroj se používá u ozařování maligních obstrukcí bronchů, jícnu či žlučových cest. Dávka se vyjadřuje v 1 cm od osy zdroje. K zmírnění dechových a polykacích obtíží, popřípadě obstrukčního ikteru efektivně pomáhá právě intraluminární brachyterapie.

3.1.3 Intersticiální aplikace

Intersticiální aplikace zahrnuje několik technik

- **technika radiových jehel**
- **technika žlábkových vodičů**
- **technika dutých ocelových jehel** – jehly mají vnější průměr 1,9 mm, vnitřní 1,6 mm. Zaručují dokonalou rovnoběžnost zářičů. Nejčastěji se používají v kombinaci s šablonou opatřenou otvory. Radioaktivní zdroje

jsou umístěny v plastických trubičkách přímo do jehel. Indikací je většinou boost u karcinomu prsu, prostaty atp.

- **plastické trubičky** – duté jehly se zavádí do cílového objemu. Jejich separace a rovnoběžnost jsou kontrolovány rtg snímkem a vizuálně, jehlou je poté provléknuto silonové vlákno. Technika je používána u karcinomu rtu, bukální sliznice, sarkomy atp.
- **technika podkožních jehel** – používá se pro malé povrchové léze, například u rtu, kůže nebo penisu.
- **technika chirurgického hedvábí** – cílový objem je přímo prošíť upraveným chirurgickým vláknem (Ir drátek o průměru 0,3 mm). Používá se třeba u kožního nádoru koutku očního.

3.1.4 Technika muláží

Muláže – pro povrchní kožní nádory. Principem je vytvoření destičky určité tloušťky, která kopíruje povrch dané oblasti. Na destičku jsou upevněny zdroje nebo plastické trubičky, které zde připojí k AFL přístroji. Tloušťka destičky závisí na hloubce cílového objemu a použitých zářičích. Zhotovují se nejčastěji z termoplastických materiálů, plexiskla či jiných hmot.

3.1.5 Permanentní aplikace

Permanentní aplikace – zdroje jsou ponechány v cílové tkáni natrvalo. Používají se radioizotopy s krátkým poločasem rozpadu v biologicky inertním pouzdru (zrna ^{222}Ra , ^{198}Au , ^{125}I). Do tumoru jsou nejprve umístěny mnohočetné duté ocelové jehly probíhající paralelně. Po jejich rozmístění a zkontrolování se konce jehel připojí ke speciálnímu injektoru. Radioterapeut postupně vytahuje jehlu ze tkáně a vkládá jednotlivá zrna. Dávka vyhází ze střední doby života permanentního zářiče, což je podíl poločasu rozpadu a $\ln 2$. Tím je dán čas aplikace dopočítá se množství zářičů a jejich distribuce pro určitou dávku v určitém cílovém objemu.⁽⁴⁾

3.2 Lokalizace aplikátorů

Na simulátoru nebo pojízdném C rameni provedeme kontrolu prostorového uložení jednotlivých aplikátorů – nejčastěji se zhotovují snímky ve dvou na sebe kolmých projekcích (ortogonální metoda). Jinou lokalizační metodou je zhotovení CT řezů oblastí zavedených aplikátorů. V určitých lokalizacích (mozek) se využívá i MR.⁽¹⁰⁾

3.3 Přenos dat ze snímků do plánovacího systému

Děje se digitizérem, scannerem nebo síťovým propojením. Fyzik vyznačuje na snímcích pozice zářiče v aplikátorech, body pro definování dávky a referenční body pro stanovení dávky v kritických orgánech. Plánovací systém potom provede rekonstrukci polohy uvedených bodů v prostoru. Lékař předepíše požadovanou dávku a stanoví limity pro expozice kritických orgánů. Poté následuje výpočet distribuce dávky a její optimalizace.⁽¹⁰⁾

4 PLÁNOVACÍ SYSTÉMY

Plánovací systém je software, který obsahuje parametry ozařovače a slouží k výpočtům rozložení dávkové distribuce v ozařovaném objemu pacienta. Do tohoto systému se vkládají grafická data o pacientovi (tj. sada CT-řezů), z nichž se rekonstruuje 3D model těla pacienta včetně všech vnitřních struktur.

Radiologický fyzik pracující s plánovacím systémem, najde pro cílový objem vhodné polohy zdroje a ozařovací pole, tak aby se do cílového objemu dodala předepsaná dávka za maximálního šetření zdravých tkání. Při klasickém plánování jsou velmi důležité zkušenosti radiologického fyzika, který plánování provádí. Fyzik má zadán cílový objem a musí najít způsob, jak jej optimálně ozářit. ⁽⁶⁾

5 MODERNÍ METODY ZEVNÍ RADIOTERAPIE

5.1 Trojrozměrná konformní radioterapie (3D-CRT)

Trojrozměrná konformní radioterapie (three-dimensional conformal radiation therapy 3D-CRT) je ozařovací technika, při které hranice cílového objemu odpovídají trojrozměrnému zobrazení objemu tumoru. Zajišťuje tak lepší dávkovou distribuci v definovaném nádorovém ložisku a redukuje dávku na okolní zdravé tkáň.⁽³⁾

5.2 Radioterapie s modulovanou intenzitou (IMRT)

Radioterapie s modulovanou intenzitou (intensity-modulated radiation therapy – IMRT) je pokročilou formou konformní radioterapie.⁽³⁾ IMRT využívá tvarování svazku a navíc ještě dochází k modifikaci intenzity fotonového svazku napříč ozařovaným polem.⁽¹⁰⁾ Je spojena s inverzním plánováním. K ovlivnění intenzity svazku záření využívá IMRT mnoholistový kolimátor (MLC), nejvíce uplatňující dvě metody.

1. Technika mnoha statických polí (multiple-static-field MSF), označovaná také jako metoda step and shoot (segmentovaná IMRT). Ozařování je u této techniky rozděleno do několika segmentů (5-20). MLC se v každém segmentu nastaví do jiného tvaru. Záření se při změně tvaru MLC v daném segmentu zastavuje. Celý proces se opakuje u dalšího pole.⁽⁶⁾
2. Metoda sliding Windows (dynamická IMRT), při které se pracuje s dynamickým vícelistovým kolimátorem (dynamic multileaf collimator – DMLC). DMLC umožňuje během ozařování, pohyb několika desítkám párů lamel napříč svazkem.⁽³⁾ Sekvenci pohybu lamel a jejich rychlost pohybu určuje řídicí software. Svazek je tedy modulován rychlostí jednotlivých párů lamel.⁽¹⁰⁾

5.3 Inverzní plánování

Inverzní plánování představuje nový způsob plánování radioterapie.⁽³⁾ Funkce spočívá ve vymezení cílového objemu, fyzik zadá pouze úhly polí s požadavky na záření. Velikost, tvar a modulaci intenzity navrhne plánovací systém sám.⁽⁶⁾

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo předložit vyhledané poznatky o plánování léčby zářením. Jsou zde uvedeny jednotlivé kroky celého diagnosticko-léčebného postupu. Tedy od prvotních potíží pacienta, které ho vedou k návštěvě lékaře, přes stanovení diagnózy a dále navazující určení stádia nemoci až po rozhodnutí o samotné strategii a taktice léčby.

Teleterapie a brachyterapie mají své specifika a zároveň jsou některá pravidla velice podobná. Druhá kapitola o přípravě ozařovacího plánu v teleterapii byla popsána velice podrobně. Zatímco třetí kapitola vystihuje pouze rozdíly týkající se přípravy ozařovacího plánu vnitřního vůči zevnímu ozáření.

V této práci jsem se snažila popsat souhrn jednotlivých na sebe navazujících úkonů, kterými pacient prochází od zjištění nemoci až k vlastnímu provedení léčby zářením. Správný postup přípravy a plánování léčby, stejně jako precizní provedení vlastního ozáření spolu s dalšími faktory rozhoduje o výsledku léčby a další perspektivě života onkologicky nemocného člověka.

Prameny a literatura

- (1) DOBBS, Jane; BARRETT, Ann; ASH, Daniel. *Praktické plánování radioterapie*. Praha : Anomal, 1992. 312 s. ISBN 80-900235-8-4.
- (2) MACHÁČEK, Jindřich; CWIERTKA, Karel. *Základy radiační a klinické onkologie*. Olomouc : Vydavatelství Univerzity Palackého, 1996. 111 s. ISBN 80-7067-661-2.
- (3) Moderní metody zevní radioterapie v léčbě karcinomu prostaty. *Česká urologie*. 2010, 14, 2, s. 81-91. Dostupný také z WWW: <http://www.czechurol.cz/dwnld/1002_81_91.pdf>.
- (4) PETERA, Jiří. *Moderní radioterapeutické metody : Brachyterapie*. Brno : Institut pro další vzdělání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1998. 33 s. ISBN 80-7013-266-3.
- (5) PETRUŽELKA, Luboš, et al. *Klinická onkologie*. Praha : Karolinum, 2003. 276 s. ISBN 80-246-0395-0.
- (6) ROZMAN, Jiří, et al. *Elektronické přístroje v lékařství*. Praha 2 : Academia, 2006. 406 s. ISBN 80-200-1308-3.
- (7) SOUMAROVÁ, Renata; HOMOLA, Luboš. *Intersticiální brachyterapie*. Brno : Masarykova univerzita, 2006. 152 s. ISBN 80-210-4107-2.
- (8) SOUMAROVÁ, Renata. Brachyterapie karcinomu prostaty. *Onkologie* [online]. 2010, 2, [cit. 2011-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2010/02/05.pdf>>.
- (9) SPURNÝ, Vladimír; ŠLAMPA, Pavel. *Moderní radioterapeutické metody*. Brno : Institut pro další vzdělání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 1999. 118 s. ISBN 80-7013-267-1.
- (10) ŠLAMPA, Pavel, et al. *Radiační onkologie*. Praha : Galén, 2007. 467 s. ISBN 978-80-7262-469-0.
- (11) ZÁMEČNÍK, Jiří. *Radioterapie : Učebnice pro střední zdravotní školy, stud. obor radiologický asistent*. Praha : Avicenum, 1990. 476 s. ISBN 80-201-0051-2.

Seznam zkratek

BEV	zobrazení struktury z pohledu svazku záření (beam's eye view)
CA	karcinom
CP	centrální paprsek
CT	výpočetní tomografie (Computed Tomography)
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
IMRT	radioterapie s modulovanou intenzitou
LA	lineární urychlovač (linear accelerator)
LET	ionizace o vysokém lineárním přenosu
MLC	vícemelový kolimátor
OK	vzdálenost ohnisko-kůže
RBE	relativní biologická účinnost
RTG	rentgen

Seznam tabulek a obrázků

Tabulky

1 - Posuzování tělesné výkonnosti podle bodovací škály dle Karnofského	13
2 - Posuzování tělesné výkonnosti podle bodovací škály ECOG.....	13
3 - Přehled druhů léčby.....	15
4 - Obecné srovnání radikální a paliativní léčby.....	17

Obrázky

1 - Definice cílového objemu podle ICRU 50 Report.....	19
--	----

Seznam příloh

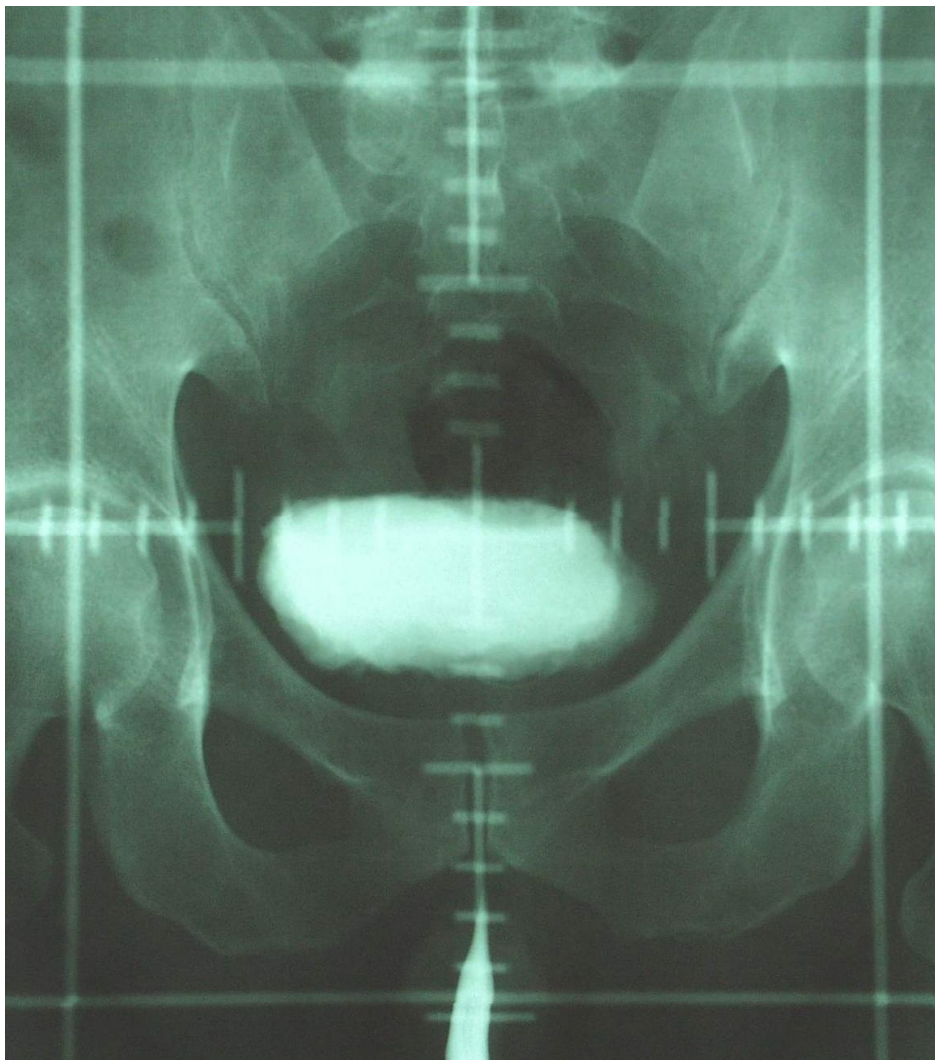
1. lineární urychlovač.....	I
2. konvenční radioterapie.....	II
3. 3D rekonstrukce.....	III
4. brachyterapie.....	IV

Příloha č. 1 – lineární urychlovač



(zdroj: www.europauomo.cz/prispevky/radioterapie.ppt)

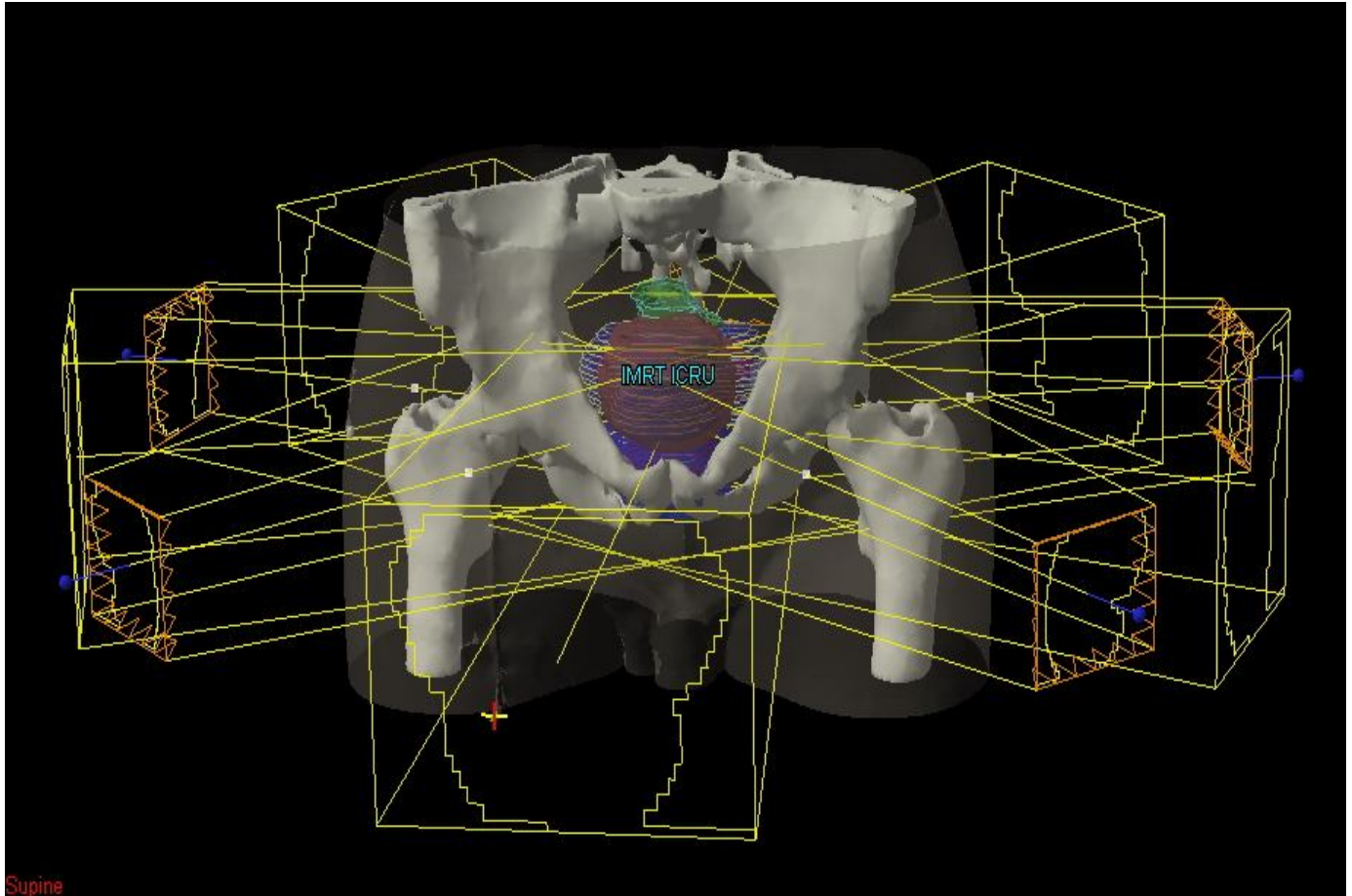
Příloha č. 2 – konvenční radioterapie



(zdroj: www.europauomo.cz/prispevky/radioterapie.ppt)

Příloha č. 3 – 3D rekonstrukce

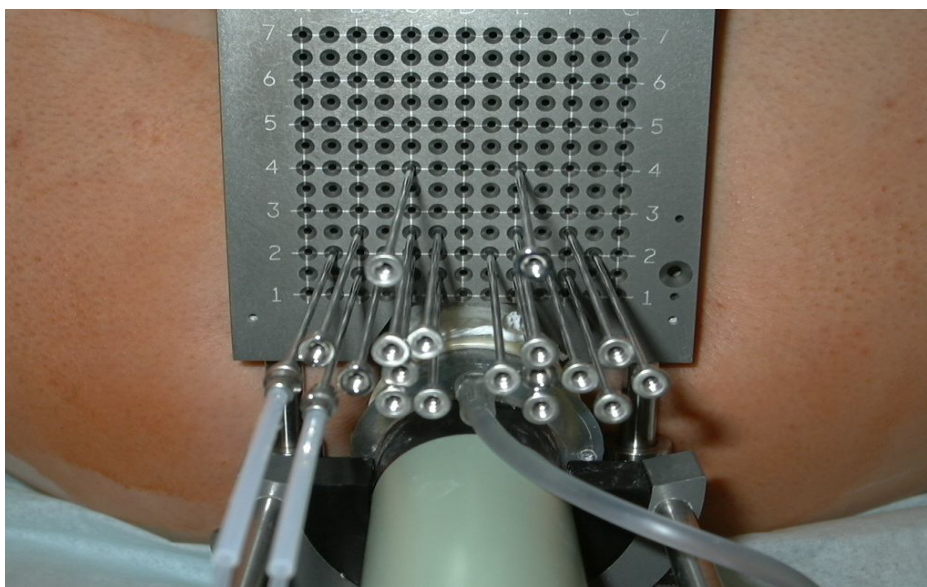
Technika IMRT - 5 polí.



(zdroj: www.europauomo.cz/prispevky/radioterapie.ppt)

Příloha č. 4 - Brachyterapie

Intersticiální brachyterapie – dočasná aplikace radioaktivního zdroje přímo do prostaty.



(zdroj: www.europauomo.cz/prispevky/radioterapie.ppt)