UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Lucie Skalická

Stereotaktická radioterapie a radiochirurgie

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Klementová Yvona

Olomouc 2021

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

Olomouc 26. dubna 2021

---

podpis

Ráda bych poděkovala MUDr. Yvoně Klementové za odborné vedení, rady a připomínky při zpracování mé bakalářské práce.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Téma práce: Stereotaktická radioterapie

Název práce: Stereotaktická radioterapie a radiochirurgie

Název práce v AJ: Stereotactic radiotherapy and radiosurgery

Datum zadání: 2020-11-30

Datum odevzdání: 2021-04-26

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotnických věd
Ústav radiologických metod

Autor práce: Skalická Lucie

Vedoucí práce: MUDr. Klementová Yvona

Oponent práce: MUDr. Vlastislav Šrámek, Ph.D., MBA

Abstrakt v ČJ: Přehledová bakalářská práce popisuje principy stereotaktické radioterapie a radiochirurgie. Zahrnuje informace o přístrojích používaných pro stereotaktickou radioterapii a radiochirurgii, onemocnění, která lze léčit pomocí stereotaktické radioterapie a radiochirurgie, dále také plánování léčby a imobilizaci pacienta. Poslední kapitola je věnovaná psychologické péči a jejího pozitivního vlivu na pacienty léčené pomocí gama nože. Informace byly čerpány z databází Medvik, EBSCO, PubMed, ProQuest a z české odborné literatury.

Abstrakt v AJ: This bachelor thesis is an overview of stereotactic radiotherapy and radiosurgery principles. It includes information about devices used for stereotactic radiotherapy and radiosurgery, about diseases treated by stereotactic radiotherapy and radiosurgery, and also about a treatment planning and immobilization. The last chapter is about psychological care and the positive impact on patients treated with gamma knife. The information is taken from Medvik, EBSCO, PubMed, ProQuest and Czech professional literature.

Klíčová slova v ČJ: Stereotaktická radioterapie, stereotaktická radiochirurgie, gama nůž, CyberKnife, lineární urychlovač, indikace, intrakraniální nádory, extrakraniální radioterapie

Klíčová slova v AJ: Stereotactic radiotherapy, stereotactic radiosurgery, gamma knife, CyberKnife, linear accelerator, indication, intracranial tumors, extracranial radiotherapy

Rozsah: 37/0

OBSAH

Úvod 7

1 Principy stereotaktické radiochirurgie a radioterapie 9

2 Přístroje pro stereotaktickou radioterapii a radiochirurgii 11

3 Nejčastější indikace stereotaktické radioterapie a radiochirurgie 16

3.1 Intrakraniální indikace stereotaktické radiochirurgie a radioterapie 16

3.2 Extrakraniální indikace stereotaktické radioterapie 23

4 Plánování stereotaktického ozařování u intrakraniálních ložisek 28

5 Imobilizace pacienta při stereotaktické radioterapii a radiochirurgii 29

6 Psychologická péče o pacienty léčené na Leksellově gama noži 31

Závěr 32

Referenční seznam 33

Seznam zkratek 37

Úvod

Léčba onkologicky nemocných pacientů se za poslední desetiletí výrazně zdokonalila, což vede k výraznému prodloužení jejich života. Stereotaktická radioterapie a radiochirurgie dosáhla velkého rozvoje a využívá se k léčbě mnoha indikací, které stále přibývají. Cílem stereotaxe je dodat vysokou dávku záření do malého cílového objemu v co nejmenším počtu frakcí (Soumarová et al., 2019, s. 42, [online]). Výhodou ozařování pomocí stereotaxe je aplikace vysoké dávky do ložiska s maximálním šetřením okolních tkání, jelikož dávka do okolí prudce klesá. Principem stereotaktického ozařování je přesné prostorové vymezení objemu bez přímé zrakové kontroly pomocí souřadnicového systému (Feltl et al., 2019, s. 16). U některých indikací, jako jsou například mozkové metastázy, nádor plic a nádor prostaty, je stereotaxe alternativní metoda léčby, namísto léčby chirurgické. U metastatického onemocnění páteře se stereotaxe uplatňuje jako paliativní terapie (Feltl a Skácelíková, 2013, s. 290, [online]).

Cílem mé bakalářské práce je dohledat informace o léčbě pomocí stereotaktické radiochirurgie a radioterapie. Hlavní cíl práce je specifikován v jednotlivých cílech:
Cíl 1: Shrnout hlavní principy stereotaktické radioterapie a radiochirurgie.
Cíl 2: Předložit typy přístrojové techniky, které se využívají pro ozařování pomocí stereotaktické radioterapie a radiochirurgie.
Cíl 3: Předložit nejčastější indikace stereotaktické radioterapie a radiochirurgie.
Cíl 4: Předložit poznatky o plánování a imobilizaci pacienta při stereotaktickém ozařování.
Cíl 5: Shrnout možnosti psychologické péče a její vliv na pacienty léčené gama nožem.

Pro stanovení cílů byla prostudována tato vstupní literatura:

1. FELTL, David a Jakub CVEK, 2008. Klinická radiobiologie. Havlíčkův Brod: Tobiáš. ISBN 978-80-7311-103-8.
2. HYNKOVÁ, Ludmila et al., 2012. Základy radiační onkologie. Brno: Masarykova univerzita, 247 s. ISBN 978-80-210-6061-6.
3. LIŠČÁK, Roman et al., 2009. Radiochirurgie gama nožem: principy a neurochirurgické aplikace. Praha: Grada, 240 s. ISBN 978-80-247-2350-1.

4. ŠLAMPA, Pavel et al., 2014. Radiační onkologie v praxi. 4. aktualizované vydání. Brno: Masarykův onkologický ústav. ISBN 978-80-86793-34-4.
5. ŠLAMPA, Pavel et al., c2007. Radiační onkologie. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-469-0.

Rešeršní činnost byla provedena v českém a anglickém jazyce pomocí databází Medvik, EBSCO, PubMed a ProQuest. K vyhledávání byla použita tato klíčová slova: stereotaktická radioterapie, stereotaktická radiochirurgie, gama nůž, CyberKnife, lineární urychlovač, indikace, intrakraniální nádory, extrakraniální radioterapie a jejich anglické ekvivalenty. Celkem bylo zpracováno 20 elektronických článků, z toho 8 v anglickém jazyce. Odborná literatura byla limitována od roku 2007 do současnosti.

1 Principy stereotaktické radiochirurgie a radioterapie

Stereotaktická radiochirurgie a radioterapie jsou moderní ozařovací techniky, jejichž rozvoj byl umožněn díky rozvoji zobrazovacích metod a ozařovacích technik. Mezi nejčastěji využívané zobrazovací metody u strereotaxe patří magnetická rezonance, výpočetní tomografie a pozitronová emisní tomografie. Předností stereotaxe je aplikace vysoké dávky záření do cílové oblasti za současného šetření okolní zdravé tkáně. Lze tak ozařovat i nádory, které leží v blízkosti radiosenzitivních zdravých tkání. Důležitá je vysoká přesnost stanovení cílového objemu, který je definován pomocí trojrozměrného koordinačního systému a dané vyšetřovací metody bez další přímé vizuální kontroly. Přesná lokalizace cílového objemu je kvůli dýchání, pohybu orgánů a srdce obtížnější, ale díky současným možnostem lze lokalizaci a ozáření provádět pomocí navigované terapie, jako je například radioterapie řízená obrazem – IGRT (Šimonová a Liščák, 2011, s. 77, [online]). Podle toho, kde se nachází ozařovaný objem, se stereotaxe dělí na intrakraniální (oblast mozku) a extrakraniální (oblast mimo mozek) (Feltl a Skácelíková, 2013, s. 290-294, [online]).

Stereotaktická radiochirurgie (SRS) je léčba mozkových lézí prostřednictvím zevního svazku ionizujícího záření, kdy se do cílového objemu aplikuje vysoká dávka záření v jedné frakci (Šlampa et al., 2007, s. 413). Jednotlivá dávka záření je obvykle 20 Gy, ale může být i vyšší (Feltl et al., 2019, s.15). Ozařovaný objem bývá většinou menší, než při stereotaktické radioterapii a dosahuje maximální velikosti 3-4 cm (Šlampa et al., 2007, s. 413-414). Při SRS je hlava pacienta pevně fixována prostřednictvím stereotaktického rámu, který je přichycen jak k ozařovacímu stolu, na kterém leží pacient, tak i invazivním způsobem k lebečním kostem pacienta pomocí čtyř šroubů (Doleželová et al., 2013, s. 281, [online]). Mezi časté indikace patří mozkové metastázy, arteriovenózní malformace a malá metastatická ložiska umístěná kdekoliv v těle (Feltl et al., 2019, s. 15).

Stereotaktická radioterapie (SRT) umožňuje ozářit větší ložisko dávkou, která je rozdělena do několika frakcí. Při SRT se využívá jak invazivní fixace hlavy pacienta pomocí čtyř šroubů, tak i neinvazivní fixace pomocí fixační masky z plastu, která je vytvořena pro každého pacienta zvlášť. I přesto, že je neinvazivní fixace méně přesná než invazivní, při SRT se využívá častěji. Důvodem je tolerance menší přesnosti,

jelikož je ozáření rozděleno do několika frakcí ve standardním intervalu 5-20 dní (Šlampa et al., 2007, s. 413-414). Co se týče terminologie, tak u jednotlivých dávek pod 8 Gy se používá termín stereotaktická radioterapie, u dávky 8 Gy a více na jednu frakci se používá název ablativní stereotaktická radioterapie (Feltl a Skácelíková, 2013, s. 290-294, [online]). U stereotaktické ablativní radioterapie bývá obvykle 2-5 frakcí a jednotlivá dávka se pohybuje v rozmezí 8-20 Gy. Celková dávka, kterou pacient dostane bývá v rozmezí 24-60 Gy. Častými indikacemi bývají nádory plic, jater a slinivky břišní. U stereotaktické radioterapie se aplikují jednotlivé dávky nižší, nejčastěji v rozmezí od 3 po 7,5 Gy, celkově pacient obdrží dávku 25 až 40 Gy v několika frakcích. Mezi nejčastější indikace patří nádory prostaty (Feltl et al., 2019, s. 14-15). Mezi výhody extrakraniální stereotaktické radioterapie (SBRT – stereotactic body radiotherapy), kromě aplikace vysoké dávky záření a rychlého spádu dávky do okolí, patří celková doba léčby, která se pohybuje okolo dvou týdnů, kdy se ještě nestihne projevit výrazná repopulace nádorových buněk (Šlampa et al., 2011, s. 271).

2 Přístroje pro stereotaktickou radioterapii a radiochirurgii

Koncem 60. let byl vyvinut **Leksellův gama nůž (LGN)** profesorem Larsem Leksellem. Je to přístroj, který se využívá k léčbě benigních i maligních intrakraniálních nádorů, a to jak ve stereotaktické radiochirurgii, tak i ve stereotaktické radioterapii (Deora et al., 2020, s. 290-291, [online]). Zdrojem gama záření je radionuklid ^{60}Co. Těchto zdrojů je v konstrukci umístěno víc jak 190. Každý ze zdrojů záření obsahuje válcové pelety ^{60}Co o průměru a délce 1 mm. Jsou zde umístěny kolimační systémy o průměru 4, 8 a 16 mm, díky kterým je usměrňováno emitované záření do společného ohniska, za cílem dosažení co nejlepší prostorové dávkové distribuce a šetření okolní zdravé tkáně, jelikož mimo ohnisko má dávka strmý pokles (Šimonová a Liščák, 2011, s. 78, [online]). U většiny gama nožů se využívá invazivní fixace hlavy v podobě stereotaktického rámu, který se pomocí šroubů připevní ke stolu a k lebce pacienta. Ale u nejnovějších verzí, jako jsou Icon a Perfection, není nutná invazivní fixace, jelikož tyhle přístroje obsahují cone beam CT (CBCT) a systém tak dokáže porovnat data z plánovacího MR vyšetření s daty z CBCT. Pokud se pacient vlivem pohybů dostane mimo předem nastavené ozařované pole, proces ozařování se automaticky zastaví (Feltl et al., 2019, s. 49-50). Pomocí gama nože se v radiochirurgii léčí nádory či jiné léze v oblasti hlavy nebo krční páteře. Často se tato metoda využívá jako alternativa klasické neurochirurgie. Pacientovi je aplikováno anestetikum, díky kterému necítí bolest, vnímá pouze tlak na hlavě. Mezi časté indikace patří například léčba metastáz do mozku, nádory mozku, nádory hypofýzy, arteriovenózní malformace, některé typy epilepsie, neuralgie trojklaného nervu, a také se používá jako adjuvantní léčba, která má za cíl zamezit vzniku recidivy (Stereotactic radiosurgery - Gamma Knife, 2018, [online]). Mezi výhody LGN patří především vysoká přesnost zacílení ozařovaného objemu a nejdelší zkušenosti s touto metodou ozařování, jelikož z historického hlediska se gama nůž začal používat jako první pro stereotaktickou radioterapii, a je i zároveň nejvíce rozšířený. Nevýhodou je, že lze ozařovat pouze oblast hlavy a krční páteře, a u většiny systémů je i nutná invazivní fixace hlavy pomocí stereotaktického rámu, což je pro pacienta nekomfortní (Reguli et al., 2018, s. 132, [online]).

K léčení nádorů i mimo oblast mozku se používá **CyberKnife**, robotický ozařovač. Na robotickém rameni je umístěný lineární urychlovač s energií 6 MV (Šlampa et al., 2007, s. 417). Díky pohyblivému robotickému rameni, na kterém je upevněn lineární urychlovač, je možné ozářit pacienta téměř ze všech stran. Svazek záření je tvarován pomocí 12 kruhových kolimátorů o průřezu 5–60 mm, nebo je možné tyto kolimátory nahradit automatickým Iris kolimátorem, který si sám upravuje ozařované pole. Poloha ozařovaného ložiska je kontrolována pomocí dvou rentgenových zdrojů, které jsou zavěšeny na stropu ozařovny. Detektory, na které dopadá svazek záření z rentgenových snímačů, jsou umístěny pod stolem, aby svazky záření prošly skrze celého pacienta. Tím lze určit, v jaké pozici se ozařované ložisko nachází. Jestli se pozice nádoru vychýlí, ozařování se přeruší a automaticky se opět zapne až poté, co robotické rameno upraví svoji polohu tak, aby se cílový objem nacházel ve svazku záření (Stieberová et al., 2016, s. 170-175, [online]). Mezi výhody CyberKnife patří neinvazivní fixace pacienta, kdy není nutné používat stereotaktické rámy, ale hlavu stačí upevnit pomocí masky, která je pro pacienta pohodlnější. Mezi další plusy patří to, že lze ozařovat patologie kdekoliv v těle s obrovskou přesností jako u gama nože, i přesto, že CyberKnife má zdroj záření pouze jeden, který je ovšem pohyblivý ve všech rovinách (Reguli et al., 2018, s. 132, [online]). CyberKnife využívá několik druhů systémů, které se používají na ozařování konkrétní cílové oblasti. Mezi tyto metody patří 6D Skull Tracking System, Xsight Spine Tracking System, Synchrony, Xsight Lung Tracking System, InTempo a CyberKnife M6.

6D Skull Tracking System je neinvazivní metoda, která se využívá při intrakraniálním ozařování. Systém automaticky opravuje posuny, které vznikly během léčby a k jejich sledování využívá kostní struktury lebky.

Xsight Spine Tracking System umožňuje provádět zákroky v oblasti páteře, od krční po křížovou, bez nutnosti implantace kontrastních markerů – zlatých zrn. Pro lokalizaci ložisek využívá páteřní kostěné struktury (Feltl et al., 2019, s. 44-46).

Synchrony Respiratory Tracking System je snímací systém, který kontroluje umístění nádoru podle toho, jak pacient dýchá, jelikož vlivem dýchacích pohybů se mění lokalizace nádoru. Na hrudníku pacienta jsou umístěny diody, které vyzařují světelný signál, a podle něj se během jednoho dýchacího cyklu vytvoří matematický model pohybu cílového ložiska. Poté se CyberKnife přizpůsobí pacientovi přesně podle toho, jak během ozařování dýchá (Stieberová et al., 2016, s. 170-175, [online]).

Xsight Lung Tracking System slouží ke sledování nádorů v plicní tkáni, kde ale není potřebná implantace zlatých zrn. Sledování probíhá na základě stupňů šedi, kde využívá rozdílné intenzity obrazu mezi nádorem a pozadím na rtg. Používá se v kombinaci se Synchrony systémem kvůli dýchacím pohybům.

InTempo je systém, který byl původně navržený pro léčbu prostaty, ale v dnešní době ho lze využít k léčbě lézí kdekoliv v těle. Slouží ke sledování a úpravě intrafrakčních pohybů cílového objemu pomocí snímkování. Jakmile je při ozařování zjištěný neadekvátní pohyb, nebo vychýlení ozařovaného objemu, snímkování se sníží do té doby, než se cílový objem upraví zpět do stabilní polohy. Jednoduše lze říct, že slouží ke kompenzaci pohybů ozařovaného objektu.

CyberKnife M6 je modernější přístroj, který k léčbě využívá MLC kolimátor – InCise. Díky němu je možné ozařovat i nepravidelně tvarované cílové objemy a doba ozáření je kratší (Feltl et al., 2019, s. 44-46).

Moderní a poměrně drahá verze přístroje pro radioterapii se nazývá **tomoterapie**. Využívá techniku radioterapie s modulovanou intenzitou svazku i radioterapii řízenou obrazem. K léčbě, namísto klasické rentgenky, využívá lineární urychlovač o výkonu až 6 MV (Murai et al., 2020, s. 129, [online]). V systému se nachází jak diagnostická, tak i terapeutická technologie, kdy produkované záření je využíváno jak pro kontrolní CT, tak i pro samotné ozáření. Díky rotaci urychlovače okolo pacienta je možné ozařovat i větší nádory, které dosahují délky až 135 cm, aniž bychom museli pacientem pohnout a změnit tak jeho polohu. Během otáčení urychlovače se i zároveň zasouvá posuvný stůl s pacientem (Feltl et al., 2019, s. 46-47). Před každým ozářením se provádí kontrolní CT, které se porovná s plánovacím CT, k dosažení co nejpřesnějšího nastavení pacienta. Pokud jsou zjištěny nějaké odchylky, automaticky se provede úprava pomocí nastavení stolu s pacientem. K modulaci terapeutického svazku slouží vícelamelový kolimátor umístěný v gantry, který se otáčí kolem pacienta společně s lineárním urychlovačem. V jednu dobu se tak zároveň pohybuje zdroj, kolimátor i pacient. Do cílového objemu je tedy aplikována dávka ve formě úzkého modulovaného svazku záření (Šlampa et al., 2007, s. 416-417).

V současné době je pro zevní radioterapii nejvíce využívaný **lineární urychlovač**, který poskytuje jak fotony – záření X, tak i elektrony. Fotonové záření X vzniká po dopadu urychlených elektronů na terčík vyrobený z wolframu. Elektrony jsou

urychlovány ve vlnovodu, ve kterém jsou elektrody připojené ke střídavému napětí. Svazek fotonového záření, který vychází z hlavice přístroje, o energii obvykle 6 MeV či 18 MeV, je usměrňován pomocí kolimátoru. Fotonové záření se využívá při ozařování nádorů uložených v hloubce těla, protože maximum dávky je 15–25 mm pod povrchem těla, což znamená, že fotony šetří kůži. K ozařování nádorů na povrchu těla a v podkoží se využívají urychlené elektrony o energiích v rozmezí 6 až 20 MeV. Díky tomu, že elektronový svazek záření má maximum dávky na kůži, dochází k šetření zdravé tkáně, která je uložena hlouběji pod ozařovaným objemem (Soumarová et al., 2019, s. 28-29). Elektronová terapie se využívá při ozařování hrudníku po mastektomii, kožních nádorů, uzlinových oblastí, které jsou uložené pod povrchem, a také v kombinaci s fotonovou terapií jako tzv. boost. Součástí lineárního urychlovače je polohovatelný stůl s plovoucí deskou, který lze dálkově ovládat. Centrální osa svazku směřuje vždy do jednoho bodu – izocentra, což umožňuje ozařovat pacienta z různých úhlů, aniž by se musela změnit poloha pacienta (Hynková et al., 2012, s. 103-104). Na hlavici lineárního urychlovače lze upevnit kolimační systémy využívané pro SRS a SRT. Používá se buď kolimátor s kruhovým průřezem o velikosti 5–40 mm, nebo vícelamelový mikrokolimátor s lamelami o velikosti 2–5 mm, který díky malé šířce lamel umožňuje lépe vytvarovat svazek okolo ozařovaného objemu. S použitím těchto kolimátorů se provádí základní technika ozáření cílového objemu v několika nonkoplanárních izocentrických kyvech, které vzniknou kombinací pohybu ramene lineárního urychlovače společně se změnou pozice ozařovacího stolu. Osoba, která lineární urychlovač obsluhuje nastaví velikost kolimátoru, počet nonkoplanárních kyvů, který se v praxi pohybuje od čtyř až po více jak deset, jejich úhel, umístění, začátek a konec. Pokud je nonkoplanární kyv správně nastaven, kritické struktury nejsou zářením X zasaženy. Mezi kritické struktury patří například mozkový kmen či optický nerv. Mezi další ozařovací techniku patří konformní statické izocentrické svazky. Takových svazků vstupuje do cílového objemu pět a více z různých úhlů, které se ale střetávají v jednom společném izocentru. Svazky jsou tvarovány podle tvaru cílového ložiska, aby se co nejvíce zabránilo ozáření okolní zdravé tkáně. Během ozařování je nutná fixace hlavy pacienta pomocí stereotaktického rámu ke stolu, na kterém leží pacient. Při ozařování prostaty, hypofýzy nebo ložisek v oblasti ethmoidálních dutin se uplatňuje kombinace dvou technik, stereotaktická technika a technika svazků s modulovanou intenzitou – IMRT.

Pacienta je nutné zafixovat. Lineární urychlovač se využívá i při extrakraniálním ozařování, akorát je doplněný o dva zdroje diagnostického rentgenova záření a dva detektory, které jsou umístěny na levé a pravé straně ozařovny. Slouží ke zjištění, jestli se ozařované ložisko nenachází mimo ozařované pole, z důvodu pohybů vnitřních orgánů. Před vlastním ozářením se provede kontrolní snímek, který se porovná s plánovacím snímkem a případné odchylky jsou pomocí stolu vyrovnány do správné polohy tak, aby se ozařované ložisko nacházelo přesně ve vymezeném poli. Teprve poté se může začít ozařovat (Šlampa et al., 2007, s. 415-417).

3 Nejčastější indikace stereotaktické radioterapie a radiochirurgie

Stereotaktickou radioterapií a radiochirurgií lze léčit nádory jak v oblasti mozku (intrakraniální), tak i v mimo mozkové oblasti (extrakraniální). Především díky extrakraniální stereotaxi je indikační spektrum velmi rozsáhlé. Pomocí stereotaxe se léčí nádory jak benigní, tak i maligní, dále také funkční poruchy CNS a arteriovenózní malformace. Pro všechny ložiska je typická jejich malá velikost (Feltl a Skácelíková, 2013, s. 290-294, [online]).

3.1 Intrakraniální indikace stereotaktické radiochirurgie a radioterapie

Mezi velmi časté intrakraniální indikace stereotaxe patří **meningiom**, který bývá ve většině případů benigní. Benigní meningiom má mírný klinický průběh, recidivuje pouze v 7-20 %. U žen se vyskytuje častěji benigní a u mužů maligní meningiom. V ČR se k léčbě meningiomu používá gama nůž nebo se mikrochirurgicky operuje. Benigní meningiom roste pomalu a příznaky jsou různorodé, odvíjí se od velikosti nádoru a jeho umístění. K jeho diagnóze slouží CT vyšetření s kontrastem a v některých případech je nutné ho doplnit o stereotaktickou biopsii. Pokud z CT vyšetření nelze vyčíst některé informace, jako je například vztah nádoru k cévním či kritickým strukturám, slouží k diagnóze MRI, na kterém je meningiom izodenzní, ale po podání KL je nasycen. MR má tu výhodu, že lépe rozlišuje bílou a šedou hmotu, a na obraze nejsou vidět artefakty z kostěných struktur (Liščák et al., 2009, s. 77-78). Cílem léčby je zastavit růst nádoru, nebo ho zmenšit. Dávka se liší podle toho, jak je nádor velký a kde se nachází. V případě větších meningiomů a nádorů, které se nachází v blízkosti mozkového kmene nebo optického traktu, je lepší dávku rozdělit do více frakcí, a to buď tři aplikace po 6-7 Gy, nebo pět aplikací po 5-6 Gy. V ostatních případech se podává jedna dávka 13-14 Gy (Stieberová et al., 2016, s. 170-175, [online]).

Arteriovenózní malformace (AVM) je cévní anomálie, jedná se o abnormálně propojené tepny a žíly, kde není vyvinutý kapilární systém a krev tak proudí přímo

do odvodných žil. Nejčastěji bývá náhodně diagnostikovaná při vyšetření mozku. AVM se může projevovat bolestí hlavy nebo záchvaty. Život ohrožující stav pro pacienta představuje prasknutí cévy a s tím spojené krvácení do mozku (Reynolds et al., 2019, s. 299, [online]). Nejčastěji vzniká intracerebrální hematom, ale krvácet může i subarachnoidálně nebo intraventrikulárně (Liščák et al., 2009, s. 178). AVM se vyskytuje především u mladších generací okolo věku 35 let. Jako primární léčebná metoda se využívá radiochirurgický výkon. Ozáření se plánuje pomocí dvou diagnostických metod. Zaprvé pomocí magnetické rezonance bez kontrastní látky, která zobrazuje vztah k okolním, zdravým kritickým strukturám a zadruhé pomocí digitální subtrakční angiografie, která dokáže lokalizovat nidus malformace, což je místo, ve kterém se spojuje tepna s žílou. Dávka záření se aplikuje podle toho, kde se cévní anomálie nachází a jakých dosahuje rozměrů. Nejčastěji se dávka pohybuje okolo 20-25 Gy a je aplikovaná jednorázově (Šlampa et al., 2007, s. 418-419). Radiochirurgie je téměř neinvazivní léčba AVM, u které je malé riziko výskytu komplikací. Komplikace se mohou vyskytnout akutně, subakutně nebo jako pozdní komplikace. Akutní komplikace se projevují buď už v průběhu léčby, anebo ihned po jejím ukončení. Nejčastěji se projevují bolestí hlavy, avšak během několika hodin by bolesti měly ustoupit. Během 6-24 měsíců se u 20 % pacientů objeví poradiační edém, což je projev subakutní komplikace. Často bývá bez přítomnosti dalších příznaků. Vzácně se mohou objevit i pozdní komplikace, které se projevují v řádu několika let od léčby. Nejčastěji jde o progredující hematom nebo poradiační cysty (Liščák, 2016, s. 640, [online]). Mezi nevýhodu této léčby patří dlouhá doba, než dojde k úplné obliteraci malformace, obvykle k ní dojde za 1-3 roky od léčby. S tím souvisí riziko krvácení, které se může opakovat i po léčbě, dokud není obliterace zcela kompletní. Alternativou radiochirurgické léčby je kompletní embolizace nebo mikrochirurgická léčba. Výhoda těchto dvou léčebných možností oproti radiochirurgii je, že nedochází k opakovanému krvácení. U embolizace je ovšem velké procento úmrtnosti, proto by se její užití mělo omezit a neměla by to být metoda první volby. Pokud nelze provést radikální mikrochirurgickou exstirpaci ani embolizaci, jako primární léčebná metoda zůstává radiochirurgická léčba. Pacient má právo tuhle léčebnou metodu upřednostnit před ostatními. Stereotaktická radiochirurgie se uplatňuje především u menších malformací do velikosti zhruba 3 cm, ale je-li malformace větší jak 3 cm a alternativní léčebnou metodu nelze provést, je možné

malformaci i přesto ozařovat, akorát po menších částech s odstupem několika měsíců (Liščák et al., 2009, s. 180-189).

Zhruba 10 % intrakraniálních novotvarů představuje **adenom hypofýzy**, což je benigní nádor mozku. Adenom hypofýzy se dělí na dva typy, afunkční adenom, který neprodukuje významné množství hormonů a funkční adenom se sekreční aktivitou, který produkuje značné množství hormonů (Forster et al., 2018, s. 335, [online]). Funkční adenom lze rozpoznat z klinického obrazu, který vykazuje hormonální nadprodukci. U žen se adenomy hypofýzy vyskytují dvakrát více než u mužů. Adenomy se zobrazují pomocí magnetické rezonance, která ukáže jejich velikost, vztah k okolním strukturám a směr růstu. Pokud nelze MR z nějakého důvodu provést, je nahrazena CT vyšetřením s kontrastní látkou. Důležité je také endokrinologické vyšetření, které ukáže, jestli adenohypofýza produkuje zvýšené či snížené množství hormonů a s tím související zdravotní problémy, jako jsou například nadváha, snížené libido, porucha menstruačního cyklu, suchost kůže apod. U adenomů hrozí postižení chiasma opticum, proto je nezbytné provést i oční vyšetření. Adenomy se léčí buď chirurgicky, anebo pomocí stereotaktického ozařování. Ve většině případů se k ozařování využívá Leksellův gama nůž, případně lineární urychlovač (Netuka et al., 2011, s. 240-253, [online]). U funkčních adenomů hypofýzy se aplikuje jednorázová dávka 25-35 Gy za účelem snížit nadprodukci hormonů, u afunkčních adenomů hypofýzy se aplikuje nižší jednorázová dávka okolo 16-20 Gy. Užití radiochirurgické léčby je výhodné v tom, že dochází k prudkému poklesu dávky do okolí, a díky tomu je šetřena jak optická dráha, tak i okolní zdravé struktury. Pokud pacienta nelze ozářit jednorázově kvůli velkým rozměrům nádoru nebo kontraindikacím k radiochirurgickému léčebnému výkonu, je možné pacienta ozářit frakcionovaně v běžném frakcionačním režimu 5 dávek za týden po 1,8-2,0 Gy (Šlampa et al., 2007, s. 419-420). Mezi cíle radiochirurgie patří zastavení růstu nádoru, zachování funkce hypofýzy a struktur v blízkosti tureckého sedla, především zrakového nervu. U adenomu se sekreční aktivitou je hlavním cílem zastavit nadprodukci hormonů. V radiochirurgii se namísto lineárního urychlovače, který je vhodnější pro radioterapii, používá Leksellův gama nůž. Kvůli okolním kritickým strukturám musí být aplikovaná dávka taková, aby nedošlo k jejich poškození a tím i postižení pacienta. Každá okolní struktura snese jinou jednorázovou dávku. Zrakový nerv je vysoce radiosenzitivní a jeho jednorázová dávka by neměla být vyšší

jak 8-10 Gy. Ostatní struktury jsou oproti zrakovému nervu radiorezistentnější a snesou tedy vyšší dávku. Jednotlivá dávka na mozkový kmen by neměla přesahovat 14 Gy a na hypofýzu 15 Gy. Kromě léčby pomocí stereotaxe lze adenomy hypofýzy léčit chirurgicky, kde se nejčastěji uplatňuje transsfenoidální operace, případně méně invazivní endoskopický přístup. Adenomy je možné léčit také farmakologicky, nejčastěji v kombinaci s ostatními léčebnými metodami (Liščák et al., 2009, s. 114-126).

Zhruba 8 % ze všech intrakraniálních nádorů tvoří **vestibulární schwannom**, neboli neurinom akustiku. Je to benigní nádor, který vyrůstá ze Schwannových buněk z nervus vestibulocochlearis, což je osmý hlavový nerv. Vestibulární schwannom se obecně objevuje více u žen, nejčastěji ve věku od 30 do 60 let. Jak nádor roste a zvětšuje se, tak nejprve způsobí rozšíření ústí vnitřního zvukovodu, a poté se začne rozpínat a zasahovat až do mostomozečkového koutu. Postupným růstem nádoru může dojít až ke stlačení mozkového kmene, mozečku a dalších hlavových nervů, nejčastěji dochází k utlačení sedmého a pátého hlavového nervu. Mezi prvotní příznaky patří tinnitus a poruchy sluchu. Většinu vestibulárních schwannomů lze odhalit pomocí výpočetní tomografie (Liščák et al., 2009, s. 93-96). Vestibulární schwannom lze léčit buď neurochirurgickou operací s cílem odstranit nádor, nebo pomocí stereotaxe. Menší nádory do průměru 2 cm se ozařují především na gama noži, který umožňuje přesné vymezení svazku záření, a díky tomu dochází k co nejmenšímu zatížení okolních kritických struktur, jako jsou mozkový kmen a lícní nerv (Šimonová a Liščák, 2011, s. 79-80, [online]). Pokud to velikost schwannomu dovolí, tak namísto mikrochirurgické operace, je pro pacienta výhodnější radiochirurgická léčba gama nožem. Zaprvé je radiochirurgická léčba miniinvazivní, dále je u ní menší riziko poškození lícního nervu a pacient je schopen se následující den po léčbě vrátit do běžného života (Liščák et al., 2009, s. 108). U léčby gama nožem se aplikuje dávka jednorázově a to minimálně 12-14 Gy. Pokud je aplikovaná dávka příliš vysoká, hrozí zvýšené riziko poškození sedmého a pátého hlavového nervu. Při volbě, jaká jednorázová dávka bude pacientovi aplikována, hraje roli také to, jestli pacient slyší nebo neslyší. U neslyšících pacientů není nutné brát v úvahu dávku na osmý hlavový nerv, kdežto u slyšících je důležité, aby aplikovaná dávka byla vzhledem k nervus vestibulocochlearis zohledněna. U nádorů, které dosahují větších rozměrů se uplatňuje stereotaktická radioterapie (Šlampa et al., 2007, s. 420). Ozařování probíhá

na lineárním urychlovači a dávka je rozdělena do několika frakcí. Kvůli menšímu počtu izocenter je ozařování na lineárním urychlovači méně přesné než u gama nože, kde se obvykle používá 10-30 izocenter (Liščák et al., 2009, s. 106).

Mezi nejčastější nádory v oblasti mozku patří **mozkové metastázy**, které se objevují až u 20-40 % pacientů se zhoubným nádorem. Nejčastěji do mozku metastazuje karcinom plic, melanomu, ledvin, prsu a také kolorektální karcinom. U více jak 50 % pacientů se mozkové metastázy vyskytují vícečetně, u méně jak 50 % pacientů solitárně (Reguli et al., 2018, s. 130, [online]). Vícečetné bývají mozkové metastázy nádorů prsu a plic, solitární bývají obvykle metastázy nádorů ledvin. Mozkové metastázy se vyskytují především u dospělých, nejčastěji ve věku 45-65 let. U dětí je výskyt vzácný. K diagnostice mozkových metastáz o velikosti zhruba 3 mm slouží zobrazování magnetickou rezonancí, metastázy jsou po podání kontrastu vysoce nasyceny. Větší ložiska okolo 10 mm lze zobrazit pomocí PET, kde dochází k akumulaci ^{18}F-FDG v dané lézi (Liščák et al., 2009, s. 151-152). Jako standardní léčebná metoda se uplatňuje stereotaktická radiochirurgie a stereotaktická radioterapie. Ozařování probíhá buď na Leksellově gama noži, robotickém ozařovači CyberKnife, nebo na lineárním urychlovači. Metastatická ložiska v mozku, která jsou větších rozměrů se ozařují frakcionovaně na kybernetickém noži, u kterého je výhodné neinvazivní upevnění hlavy pacienta pomocí masky (Reguli et al., 2018, s. 130-132, [online]). Radiochirurgická léčba se uplatňuje u mozkových metastáz do velikosti 3 mm. Výše jednorázové dávky záření, která se aplikuje na okraj nádoru, se pohybuje v rozmezí od 16 do 24 Gy. Velikost dávky, kterou pacient do daného ložiska dostane záleží na více faktorech, jedním z nich je histologický typ primárního nádoru, dále velikost metastázy a v jakém místě se v mozkové tkáni nachází, důležité je také zohlednit okolní struktury a jejich toleranční dávky (Liščák et al., 2009, s. 151-156). Kromě SRS a SRT se uplatňují i další léčebné metody jako jsou neurochirurgická resekce a radioterapie. Mozkové metastázy malobuněčného karcinomu plic se léčí ozářením celého mozku. Ozáření celého mozku lze také použít i v kombinaci se SRS nebo SRT. Mozkové metastázy jsou velmi závažné onemocnění a v případě, že by pacient nebyl léčen, v průměru by se dožil přibližně jednoho měsíce. Běžně se pacientovi podávají kortikoidy, které mají příznivý vliv na buněčné membrány, a díky nim dojde k pozitivnímu ovlivnění postradiační edémové reakce (Šlampa et al., 2007, s. 421-422).

U dětí se velmi často vyskytují **kraniofaryngeomy**, což jsou benigní pomalu rostoucí nádory, které vyrůstají z hypofýzy. Nejčastěji se objevují u dětí ve věku 5-14 let, ale mohou se vyskytnout i u dospělých nad 50 let. U dospělých jedinců se častěji vyskytuje papilární typ, který často zasahuje až do třetí komory (Chytka et al., 2008, s. 565-575, [online]). Pro stanovení diagnózy se uplatňuje klasické rentgenové vyšetření lebky, které zobrazí případné kalcifikace. Mezi další standardní zobrazovací metody patří CT a MRI vyšetření (Liščák et al., 2009, s. 139). Vzhledem k blízkému umístění nádoru k optické dráze je žádoucí provést i vyšetření perimetru. Mezi léčebné metody patří mikrochirurgická resekce, zevní frakcionovaná radioterapie, SRS na gama noži, anebo SRT za použití lineárního urychlovače. U cystické části nádoru je možné provést stereotaktickou punkci nebo intrakavitární brachyradioterapii s využitím radioizotopu ^{90}Y. Volba léčebného postupu závisí na velikosti nádoru, jeho umístění a vztahu k optické dráze. Při aplikaci dávky záření je důležité brát v úvahu okolní struktury, jako je zraková dráha, u které by jednotlivá dávka záření neměla převyšovat 10 Gy (Šlampa et al., 2007, s. 420).

Pomocí stereotaxe lze léčit i onemocnění očí. Vzhledem k tomu, že oko je velmi pohyblivý orgán, je nutné oční bulbus zafixovat. Fixaci a znecitlivění oka provádí oční lékař. Mezi nejčastěji se vyskytující primární maligní nádor oka patří **uveální melanom** (Liščák et al., 2009, s. 221-222). Vyskytuje se u dospělých ve věku 30-70 let. Lidé se světlou kůží a světlou rohovkou mají vyšší riziko výskytu melanomu uvey. V 93 % metastazuje krevní cestou do jater. Metastázy se ale mohou vyskytovat i v jiných částech těla, např. v plicích, kostech nebo v podkoží. Je-li nádor větší jak 10 mm hrozí zvýšené riziko úmrtnosti. V diagnostice se kromě standardních vyšetřovacích metod oka, jako je vyšetření zrakové ostrosti a nitroočního tlaku, uplatňují i další vyšetřovací metody. Patří mezi ně ultrazvukové vyšetření, transluminace, fluorescenční angiografie, výpočetní tomografie a nelze-li pomocí dostupných metod určit diagnózu, tak se uplatňuje i biopsie. Existuje více možností léčby, ale vždy je nutné zvolit tu, která je pro daný nádor nejvíce vhodná. Záleží na velikosti nádoru a jeho umístění, zrakové ostrosti oka, nitroočním tlaku, na věku pacienta a jeho psychickém stavu. V dnešní době se využívá stereotaktická radiochirurgie pomocí Leksellova gama nože nebo přístroje CyberKnife. U velkých nádorů, kde nelze uplatnit jinou léčebnou metodu, je vhodné nádor chirurgicky zcela odstranit (Glezgová, 2017, s. 34-36, [online]).

Léčit pomocí stereotaktické radiochirurgie na Leksellově gama noži lze i tzv. **funkční onemocnění.** Mezi takové nemoci patří například epilepsie, neuralgie trojklaného nervu, trigeminální autonomní bolesti hlavy, neuralgie nervus glossopharyngeus a další.

3.2 Extrakraniální indikace stereotaktické radioterapie

Extrakraniální stereotaktická radioterapie (SBRT) je forma léčby nádorů, které jsou uloženy mimo mozek. Dávka ionizujícího záření je rozdělena do několika frakcí a ozařování probíhá na lineárním urychlovači, který je pro stereotaktickou radioterapii přizpůsoben. Důležitou součástí jsou imobilizační pomůcky, které slouží k tomu, aby se pacient během ozařování nehýbal. Výhodou téhle ozařovací metody je neinvazivní fixace pacienta a krátká doba léčby, která nevyžaduje žádnou speciální přípravu ani hospitalizaci. SBRT umožňuje aplikovat vysokou dávku záření do léze s co nejnižším poškozením okolních zdravých struktur. Cílem SBRT je tedy zničit nádorové ložisko aplikací ablativní dávky záření (Burkoň et al., 2019, s. 10-11, [online]).

Nemalobuněčný karcinom plic se řadí mezi nejčastěji se vyskytující nádory s obrovskou mírou úmrtnosti na celém světě. U časných stádií je standardní léčebnou metodou radikální chirurgické odstranění nádoru. Pokud nemůže být pacient operován, volí se léčba pomocí stereotaktické radioterapie (Feltl et al., 2019, s. 96). U některých pacientů je nutné léčbu doplnit o adjuvantní chemoterapii, za účelem odstranění mikrometastáz a celkového prodloužení života (Kolek, 2015, s. 116, [online]). Pro diagnostiku nádoru plic slouží CT hrudníku a bronchoskopie, při které lékař odebere vzorky. Není-li histologický nález zcela jasný provádí se PET/CT vyšetření. Na prvním místě se vždy volí chirurgická operace, ale pokud pacienti operaci nechtějí podstoupit nebo ji z medicínských důvodů podstoupit nemohou, tak v tomhle případě se uplatňuje stereotaktická radioterapie. Z důvodu vysoké pohyblivosti karcinomů plic je ozařování těchto nádorů velmi náročné na provedení. Více pohyblivější jsou nádory, které se vyskytují u plicní báze. Čím výše se nádor vyskytuje, tím více klesá jeho pohyblivost během ozařování. Ozáření pomocí stereotaktické radioterapie se plánuje na CT ve více fázích, a to v nádechu, ve výdechu a při volném dýchání, aby byl zaznamenám celý dýchací cyklus. Ze získaných snímků se vytvoří 4D rekonstrukce pro přesné definování cílového objemu. Přesné určení cílového objemu se odvíjí i podle toho, na jakém přístroji bude ozařování probíhat, jestli na přístroji, který umožňuje sledování cíle během ozařování v reálném čase, tedy na CyberKnife, nebo na stereotaktickém lineárním urychlovači, který real-time tracking systém nemá. U přístroje CyberKnife, který se umí přizpůsobit dýchacím pohybům se cílový objem určí jako nádorový objem a k němu se ještě přičte lem

3-5 mm. U lineárního urychlovače bez možnosti sledování v reálném čase je nutné cílový objem konturovat jako ITV, což je fúze všech fází dechového cyklu, ve kterém jsou zaznamenány všechny pohyby nádoru během dýchání, a ještě se k ITV přičte lem 5 mm. Výše dávky se aplikuje podle toho, kde se nádor vyskytuje a jakým přístrojem je ozařován. Centrální nádory, což jsou nádory vyskytující se do 2 cm od trachey a hlavních bronchů, jsou radiosenzitivnější, než nádory periferní, které jsou od trachey a bronchů uloženy vzdáleněji. Při ozařování na CyberKnife dostane pacient s periferním tumorem dávku 60 Gy, která je rozdělena do tří frakcí po 20 Gy. Pacient s centrálním nádorem je také ozářen dávkou 60 Gy, ale dávka je rozdělena do pěti frakcí po 12 Gy. U ozařování na lineárním urychlovači bez možnosti sledování nádoru v reálném čase dostane pacient s centrálním či periferním nádorem dávku nižší, obvykle 50 Gy, která je rozdělena do pěti frakcí po 10 Gy (Feltl et al., 2019, s. 96-100).

Pomocí stereotaktické radioterapie lze léčit i menší počet **plicních metastáz**. Často se k léčbě indikují maximálně tři plicní metastázy. Aby mohl být pacient léčen pomocí stereotaxe musí být celkově v dobrém stavu a jeho očekávaná délka přežití by měla být několik měsíců až let, ideálně šest a více měsíců (Stieberová et al., 2016, s. 170-175, [online]). Nejčastěji se do plic šíří nádory prsu, ledvin, hlavy a krku, kolorektální karcinom, sarkomy měkkých tkání a zhoubný melanom. Diagnóza se určuje pomocí CT a PET/CT vyšetření. Pokud se metastázy objeví s dlouhým časovým odstupem od primárního tumoru je dobré provést i biopsii. Plicní metastázy se ozařují stejně jako primární plicní nádory, s tím rozdílem, že jejich zacílení je mnohem složitější než u nádorů plic, kvůli tomu, že plicní metastázy jsou během dýchaní velmi pohyblivé. Je to dáno tím, že nádor plic vyrůstá uvnitř bronchu, kdežto plicní metastáza roste z cévy přímo do parenchymu plic, a až poté může sekundárně zasáhnout průdušky. Díky tomu se plicní metastázy během dýchání pohybují jinak, než primární nádory plic (Feltl et al., 2019, s. 107-109).

Mezi nejčastěji se vyskytující zhoubný nádor u mužů patří **karcinom prostaty**, který se běžně léčí pomocí zevní radioterapie v několika frakcích. Mezi moderní léčebné metody patří stereotaktická radioterapie a brachyterapie (Ma et al., 2020, [online]). Nejvyšší výskyt nádoru prostaty je v USA u černé rasy. Velké rizikové faktory pro vznik nádoru prostaty jsou špatná výživa a genetika. Z histologického hlediska se v drtivé většině jedná o adenokarcinom, který vyrůstá ze žlázového epitelu

(Soumarová et al., 2019, s. 156-158, [online]). Pacienti bývají obvykle bez příznaků a nádor prostaty bývá zjištěn z odběru prostatického specifického antigenu (PSA), jehož hodnota je výrazně zvýšená. Mezi standardní vyšetření k určení diagnózy patří kromě odběru PSA i biopsie. Aby mohl být pacient léčen pomocí stereotaktické radioterapie je nutné provést i MRI vyšetření v několika sekvencích, které zobrazí strukturu žlázy, umístění nádoru a některé kritické orgány (Feltl et al., 2019, s. 183-184). K dalším diagnostickým metodám patří ultrazvukové vyšetření, CT a vyšetření per rektum, protože nádory větších rozměrů mohou být skrze konečník dobře hmatatelné. K odhalení kostních metastáz slouží scintigrafie skeletu. V případě, že hodnota PSA je vyšší, ale pomocí zobrazovacích metod nebylo nic zjištěno, je možné provést PET/CT vyšetření s radiofarmakem cholinu (Soumarová et al., 2019, s. 157, [online]). Pacienta je možné léčit různými léčebnými metodami, výběr vhodné léčby záleží na velikosti nádoru, věku pacienta, stupni rizikovosti a toxicitě léčby. Léčba může být chirurgická, kdy se pacientovi odstraní celá prostata i se semennými váčky, dále konvenční radioterapie a stereotaktická radioterapie, brachyterapie, anebo je možné nádor pouze sledovat (Skácelíková et al., 2017, s. 122, [online]). Stereotaktická radioterapie je vhodná pro časná stádia nádoru prostaty. Jelikož je prostata vysoce pohyblivý orgán a nachází se v těsné blízkosti močového měchýře a rekta, je plánování a provedení stereotaxe poměrně náročný výkon. Ozařování probíhá buď na přístroji CyberKnife, nebo na stereotaktickém lineárním urychlovači. Před ozařováním na kybernetickém noži je nutné zavést čtyři zlatá zrna do prostatické tkáně, jelikož samotná prostata nejde během ozařování vidět. Díky sledování cíle v reálném čase během ozařování je možné snížit velikost lemu okolo cílového objemu. Jestliže dojde k vychýlení polohy kontrastních markerů, přístroj tyhle pohybové změny dokáže zachytit, vyrovná svoji polohu, a poté pokračuje v ozařování. Při ozařování na lineárním urychlovači, který nemá možnost sledování cíle v reálném čase během ozařování je nutné velikost lemu okolo cílového objemu zvětšit, obvykle na 6-10 mm. Nejčastěji se k léčbě používá tzv. stanfordská frakcionace. Pacient je ozářen v 5 frakcích po 7,25 Gy každý druhý den, celkově je tedy ozářen dávkou 36,25 Gy během 10 dnů (Feltl et al., 2019, s. 185-187).

Celosvětově se často vyskytuje **hepatocelulární karcinom**, který zároveň patří mezi čtvrtou nejčastější příčinu úmrtí na zhoubný nádor. Pouze malé procento pacientů může podstoupit chirurgické odstranění tohoto nádoru nebo transplantaci

jater, proto je SBRT vhodnou alternativní léčebnou metodou, především pro malé nádory jater (Pérez-Romasanta et al., 2021, [online]). Dávkování závisí na tom, jak je jaterní léze rozsáhlá, kde je umístěná a jaká je velikost zdravého parenchymu jater. Omezující jsou také dávkové limity okolních orgánů, jako jsou žaludek, jícen, duodenum, tenké střevo, příčný tračník a žebra. Obvykle jsou ložiska větší jak 3 cm, u kterých je běžná dávka 50-60 Gy rozdělená do 3-5 frakcí (Feltl et al., 2019, s. 170-171). Pomocí stereotaktické radioterapie lze léčit i malý počet **jaterních metastáz**, které nejčastěji vznikají z kolorektálního karcinomu (Stieberová et al., 2016, s. 170-175, [online]).

Zhoubný **nádor slinivky břišní** patří mezi špatně léčitelné nádory, často s krátkou dobou přežití. Pouze zhruba 20 % nádorů pankreatu je možné léčit chirurgickou resekcí. U inoperabilních pacientů je nádor slinivky břišní nevyléčitelné onemocnění, většinou je celková doba přežití přibližně jeden rok. V takovém případě je cílem léčby zlepšit kvalitu života, zmírnit symptomy a co nejvíce omezit nežádoucí účinky léčby (Stieberová et al., 2016, s. 170-175, [online]). Jako neoadjuvantní léčebná metoda se uplatňuje chemoterapie, radioterapie, nebo kombinace obou metod. Po chirurgickém odstranění ložiska standardně následuje chemoterapie. Běžně se v diagnostice nádoru pankreatu dělá CT břicha s kontrastní látkou, u pacientů, kteří jsou na KL alergičtí, je možné provést MRI. Mezi další diagnostické metody patří PET/CT a endoskopická ultrasonografie, která umožňuje odebrat vzorek tkáně pro histologické vyšetření. V paliativní léčbě nese stereotaktická radioterapie výhodu v tom, že umožňuje dodat do cílového ložiska dávku s vysokou přesností a nízkou toxicitou. Stereotaktická radioterapie se plánuje na CT, a jelikož je slinivka břišní vysoce pohyblivý orgán, dělají se tři sady snímků, a to v nádechu, ve výdechu a při volném dýchání. Při ozařování na přístroji, který umožňuje sledování cílového objemu v reálném čase je nutné před samotným plánovaním zavést kontrastní značky do blízkosti nádoru, díky kterým lze nádor sledovat (Feltl et al., 2019, s. 159-162). Velikost dávky je limitována okolními orgány. Hlavními limitujícími orgány jsou duodenum a žaludek. Ve frakcionačním schématu se upřednostňuje ablativní radioterapie ve třech frakcích po 8-10 Gy. Druhou možností je radiochirurgie, kdy je pacient ozářen jednorázovou dávkou 20-25 Gy, ale z důvodu vysoké toxicity se radiochirurgie moc nedoporučuje (Stieberová et al., 2016, s. 170-175, [online]).

Kromě plicních metastáz lze pomocí stereotaktické radioterapie léčit i další **oligometastatická onemocnění**. K léčbě se indikují pacienti s nanejvýš třemi metastázami v těle a předpokládaná doba přežití pacientů je minimálně šest měsíců. Oproti chirurgickému odstranění metastáz má SBRT výhodu v tom, že je to neinvazivní metoda a nemá žádné anatomické omezení, takže je možné ozařovat metastázy na více místech. Mezi základní diagnostické metody patří CT, MRI a PET/CT vyšetření, ale obecně lze říct, že neexistuje jedna správná diagnostická metoda, jelikož metastázy bývají obvykle zjištěny až po léčbě primárního nádoru. To znamená, že jakou zobrazovací metodou je primární nádor po terapii sledován, tak tou samou metodou bývají metastázy diagnostikovány (Feltl et al., 2019, s. 197-198). Mezi nejčastější indikace patří oligometastázy jater, obratlů, nadledvin, lymfatických uzlin a již zmiňované metastázy plic. Při ozařování metastáz obratlů je limitujícím faktorem mícha a cauda equina. U ozařování nadledvin je nutné dávku zohlednit vůči tenkému střevu, žaludku, duodenu a ledvinám. Jestliže jsou dávkové limity dodrženy, tak je toxicita velmi nízká (Burkoň et al., 2019, s. 18-19, [online]). Frakcionace SBRT je různorodá, odvíjí se podle počtu a velikosti metastáz, v jakém místě se nacházejí, jaký je věk a celkový stav pacienta, a jaké kritické orgány jsou v bezprostřední blízkosti, aby nedošlo k jejich poškození. Obecně platí, že u SBRT je ideální co nejmenší počet frakcí a vysoká jednotlivá dávka, která by ideálně měla být 8 a více Gy. Například ložiska do 1 cm lze ozařovat ve 3 frakcích po 8 Gy, u větších ložisek je možné ozařovat ve 4-5 frakcích po 8 Gy. Hodně malá ložiska lze eventuálně ozařovat i jednorázově dávkou 10-12 Gy (Feltl et al., 2019, s. 198-199).

4 Plánování stereotaktického ozařování u intrakraniálních ložisek

Plánování léčby se provádí za účelem stanovení optimálního rozložení dávky, aby ložisko bylo ozářeno maximální dávkou, a naopak okolní zdravé struktury a kritické orgány co nejnižší dávkou. Na plánování léčby se podílí multidisciplinární tým, jehož součástí je neurochirurg, radiační onkolog a lékařský fyzik. Lékař zodpovídá za správné určení cílového objemu, za samotný léčebný postup, a také za aplikovanou dávku záření. Úkolem lékařského fyzika je správně vypočítat ozařovací čas a určit technické provedení plánu. Nedílnou součástí je i radiologický asistent, který nese zodpovědnost za praktickou část ozáření (Liščák et al., 2009, s. 35-37). U intrakraniálních ložisek se jako standardní diagnostická metoda používá magnetická rezonance, jelikož dokáže nejlépe zobrazit mozkovou tkáň a patologie v oblasti mozku. U arteriovenózních malformací je nutné přidat i angiografické vyšetření pro zobrazení cév. Pro rekonstrukci obrazu se obvykle upřednostňuje transverzální rovina, ale obrazy je možné vytvořit i v rovině sagitální nebo koronální. Novější plánovací systémy mohou souběžně spolupracovat i s dalšími zobrazovacími metodami, jako je například CT, angiografie nebo pozitronová emisní tomografie. Následně lze provést fúzi obrazu, díky které lze ložisko přesněji lokalizovat. Velikost dávky na okraj ložiska se odvíjí podle toho, jak je ložisko velké, kde je umístěné, jakého je histologického typu, a také jestli už nějaká léčba proběhla (Šlampa et al., 2007, s. 417-418). Rozložení dávky v ložisku a jeho okolí je vypočítáno pomocí algoritmu ve výpočetní matrici složené z voxelů. Velikost matrice odpovídá objemu patologického ložiska. Výsledný ozařovací protokol by měl zahrnovat základní údaje o pacientovi, jako je jméno, příjmení, identifikační číslo a rodné číslo. Dále stanovenou diagnózu, informace o všech onkologických léčbách, které buď proběhly nebo právě probíhají, stanovený cílový objem, jakou technikou bude pacient ozařován, počet izocenter, celkovou dávku, jednotlivou dávku, počet frakcí a dávky pro kritické struktury (Liščák et al., 2009, s. 35-37).

5 Imobilizace pacienta při stereotaktické radioterapii a radiochirurgii

Před plánováním léčby je důležité pacienta nastavit do vhodné polohy, která zamezuje pohybu pacienta během ozařování. Poloha by měla být lehce reprodukovatelná i pro další terapii. Imobilizace by pro pacienta měla být komfortní, aby léčba byla co nejpřesnější a nejefektivnější. Stabilizace pacienta by měla zároveň předejít ozáření zdravých částí těla kromě cílového objemu. Není tedy možné, aby měl pacient například při ozařování pánve či břicha položené ruce na břiše (Soumarová et al., 2019, s. 39, [online]).

U extrakraniální stereotaktické radioterapie se k imobilizaci pacienta nejvíce používají stereotaktické tělové rámy společně s matracemi, které mají vysátý vzduch a dobře tak zafixují požadovaný tvar. U frakcionované radioterapie se zároveň nejvíce uplatňuje termoplastická fixace. Jde o masky vyrobené z termoplastického materiálu. Tento materiál v teplé vodě změkne, a díky tomu je možné přesně vytvarovat požadovaný tvar podle obrysů pacienta. Hotová maska se potom připne ke karbonové podložce, která je připevněna k ozařovacímu stolu. Termoplastická maska je výhodná v tom, že je relativně pevná a stabilní, pro pacienta je docela pohodlná, a díky tomu lze stejnou polohu pacienta reprodukovat i při dalším ozařování. Použitím termoplastické masky u přístroje CyberKnife, který umí sledovat cílový objem v reálném čase a upravit případné pohybové odchylky, se dosáhne obrovské přesnosti při ozařování. Kromě termoplastické masky se k imobilizaci pacienta používají i různé polštáře, klíny a měkké podložky. Kromě již zmiňovaných slouží k imobilizaci i vakuová fixace. Jde o podložky naplněné vzduchem, ze kterých se postupně vzduch odsává, a díky tomu se podložka vytvaruje přesně podle obrysů těla pacienta. Nejčastěji se vakuové podložky využívají při ozařování břicha, pánve a dolních končetin (Feltl et al., 2019, s. 54-56).

Při ozařování intrakraniálních nádorů na Leksellově gama noži se hlava pacienta fixuje pomocí stereotaktického rámu, který je invazivně připevněn k lebečním kostem pacienta. Díky stereotaktickému rámu je hlava pacienta stabilní a je možné provést všechny potřebné diagnostické metody i samotné stereotaktické ozařování s obrovskou přesností. Stereotaktický rám je vyroben z nemagnetických slitin titanu

a hliníku, a k lebce pacienta je připevněn prostřednictvím čtyř šroubů. Umístění rámu určí neurochirurg podle toho, kde se patologické ložisko nachází. U dospělých se rám nasazuje v lokální anestezii, u dětí nebo dospělých, kteří nespolupracují se rám připevňuje v celkové anestezii za přítomnosti anesteziologa. Lokální anestetikum se aplikuje do místa, kam se bude upevňovat fixační šroub, ale ještě před samotnou aplikací anestetika se místo vpichu řádně zdezinfikuje. Vzhledem k tomu, že je nutné, aby byl rám k lebce fixován velmi pevně, není reálné tento rám používat u dětí do 2 let, jelikož nemají plně zkostnatělou lebku (Liščák et al., 2009, s. 32-33).

6 Psychologická péče o pacienty léčené na Leksellově gama noži

U většiny pacientů, kteří musí být hospitalizováni představuje tato hospitalizace psychologický dopad. Pacienti mají často narušenou psychiku jak ze samotného onemocnění, tak i z případné hospitalizace, která jim narušuje jejich obvyklý způsob života. Psychologický dopad je velice individuální, záleží na povaze pacienta, typu a rozsahu onemocnění, jestli pacient již dříve absolvoval nějaký zákrok a jakou důvěru má ve zdravotnický personál. Onkologičtí pacienti léčeni pomocí Leksellova gama nože mají často strach ze samotného průběhu léčby i vlastního onemocnění. Radiochirurgie na Leksellově gama noži se účastní celý multidisciplinární tým, jehož součástí je kromě radiačního onkologa, neurochirurga, rentgenologa a radiačního fyzika i neuropsycholog, který se zaměřuje na psychologickou stránku pacienta. Psycholog by měl být pro pacienta oporou, měl by mu pomoct odstranit obavy a strachy z léčby, z radioaktivního záření, ze stísněných prostor v magnetické rezonanci a v gama noži. Psycholog by se měl umět vcítit do situace pacienta a dodat mu odvahu.

Aby pacient věděl, co léčba na gama noži obnáší, osvědčilo se ukázat pacientovi instruktážní video a slovy mu popsat, jak bude terapie probíhat. Cílem je seznámit pacienta s celým léčebným výkonem, jak dlouho bude terapie probíhat, a co má očekávat před a v průběhu léčebného výkonu. U pacientů léčených na gama noži je dobré věnovat pozornost i neverbální komunikaci, která v pacientovi vyvolává příjemné pocity a uznání jeho osobnosti. Mezi důležité neverbální prostředky patří oční kontakt, úsměv, dát pacientovi prostor na otázky, pohotově a srozumitelně mu odpovídat a v neposlední řadě mu věnovat pozornost, aby to v něm vyvolávalo pocity pochopení a respektu.

Podle studií bylo zjištěno, že psychologická péče má na léčbu a pacienty velmi pozitivní vliv. Pacienti před i po výkonu pociťovali méně strachu i obav a se samotnou terapií byli více spokojeni. Po léčebném výkonu pociťovali méně bolestí a jejich uzdravování bylo mnohem rychlejší a téměř bez komplikací (Liščák et al., 2009, s. 73-75).

Závěr

Pro zpracování přehledové bakalářské práce jsem si vybrala téma stereotaktická radioterapie a radiochirurgie. Je to efektivní forma léčby s minimální toxicitou, která se v posledních letech velice rozvinula a dle mého názoru se v budoucnosti bude ještě více rozvíjet a zdokonalovat. Jelikož bych ráda v budoucnosti pracovala na onkologické klinice, chtěla jsem se dozvědět více informací o stereotaxi, jaké přístroje se k léčbě používají a jaká onemocnění lze pomocí stereotaxe léčit.

Principem stereotaxe je aplikace vysoké dávky záření do malého cílového ložiska za současného šetření okolní zdravé tkáně. Dle prostudovaných článků jsem zjistila, že pomocí stereotaktické radiochirurgie se léčí převážně intrakraniální nádory pomocí Leksellova gama nože, který zajišťuje vysokou přesnost léčby. Jediná nevýhoda u gama nože je invazivní fixace hlavy pomocí stereotaktického rámu, která je pro pacienty nekomfortní a často mají z léčby strach. Proto jsem i poslední kapitolu věnovala psychologické péči, která by se dle mého názoru neměla zanedbávat a měla by být součástí každé onkologické léčby. Pacienti, kteří podstupovali terapii s psychologem snášeli léčbu mnohem lépe, pociťovali méně bolesti a jejich rekonvalescence byla rychlejší.

Dle dohledaných poznatků jsem zjistila, že pomocí stereotaktické radiochirurgie se nejčastěji léčí mozkové metastázy. Pomocí extrakraniální stereotaktické radioterapie se často léčí nádor prostaty a nemalobuněčný karcinom plic u inoperabilních pacientů. Nejčastěji se k extrakraniální stereotaktické radioterapii používá lineární urychlovač nebo CyberKnife, u kterých není nutná invazivní fixace, stačí pacienta stabilizovat pomocí termoplastické masky nebo vakuových podložek.

Dohledané informace a jejich sumarizace by mohly být užitečné pro všechny, kteří se chtějí o dané problematice dozvědět více. Mně samotné se stereotaxe velice zamlouvá a věřím v budoucnost této léčby.

Referenční seznam

BURKOŇ, Petr et al., 2019. Extrakraniální stereotaktická radioterapie – přehled současných indikací. Klinická onkologie [online]. 32(1), 10-24 [cit. 2021-03-05]. ISSN 1802-5307. Dostupné z: https://www.linkos.cz/files/klinicka-onkologie/449/5458.pdf

BURKOŇ, Petr et al., 2019. Stereotactic Body Radiotherapy - Current Indications. Klinická onkologie: Časopis České a Slovenské onkologické společnosti [online]. 32(1), 10-24 [cit. 2021-01-25]. ISSN 18025307. Dostupné z: http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=30894002&lang=cs&site=ehost-live

DEORA, Harsh et al., 2020. Role of Gamma Knife Radiosurgery in the Management of Intracranial Gliomas. Neurology India [online]. 68(2), 290-298 [cit.2020-11-28]. Dostupné z: http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=32415008&lang=cs&site=ehost-live

DOLEŽELOVÁ, Hana et al., 2013. Stereotaktická radioterapie a radiochirurgie primárních tumorů mozku. Onkologie [online]. 7(6), 281-285 [cit. 2020-11-22]. ISSN 1803-5345. Dostupné z: https://solen.cz/pdfs/xon/2013/06/03.pdf

FELTL, David a Eva SKÁCELÍKOVÁ, 2013. Stereotaktická radioterapie. Postgraduální medicína [online]. 15(3), 290-294 [cit. 2020-11-24]. ISSN 1212-4184. Dostupné z: https://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/stereotakticka-radioterapie-469561

FELTL, David et al, 2019. Stereotaktická radioterapie. Praha: Mladá fronta. Edice postgraduální medicíny. ISBN 978-80-204-4959-7.

FORSTER, Neil et al., 2018. Debulking surgery of pituitary adenoma as a strategy to facilitate definitive stereotactic radiosurgery. Journal of Neuro-Oncology [online]. 138(2), 335-340 [cit. 2021-02-03]. ISSN 15737373. Dostupné z: http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=29450811&lang=cs&site=ehost-live

GLEZGOVÁ, Johana, 2017. Uveální melanom. Onkologie [online]. Praha, 11(1), 34-37 [cit. 2021-03-05]. ISSN 1803-5345. Dostupné z: https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2017/01/08.pdf

HYNKOVÁ, Ludmila et al., 2012. Základy radiační onkologie. Brno: Masarykova univerzita, 247 s. ISBN 978-80-210-6061-6.

CHYTKA, Tomáš et al., 2008. Radiochirurgická léčba kraniofaryngeomů v kombinaci s ostatními stereotaktickými metodami. Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie [online]. Praha, 71/104(5), 565-575 [cit. 2021-03-05]. ISSN 1802-4041. Dostupné z: https://www.csnn.eu/casopisy/ceska-slovenska-neurologie/2008-5/radiochirurgicka-lecba-kraniofaryngeomu-v-kombinaci-s-ostatnimi-stereotaktickymi-metodami-49658

KOLEK, Vítězslav, 2015. Význam adjuvantní chemoterapie u nemalobuněčného karcinomu plic. Klinická onkologie [online]. 28(1) [cit. 2021-03-06]. ISSN 1802-5307. Dostupné z: https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinarni-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/vyznam-adjuvantni-chemoterapie-u-nemalobunecneho-karcinomu-plic/

LIŠČÁK, Roman et al., 2009. Radiochirurgie gama nožem: principy a neurochirurgické aplikace. Praha: Grada, 240 s. ISBN 978-80-247-2350-1.

LIŠČÁK, Roman, 2016. Radiochirurgická léčba arteriovenózní malformace mozku. Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie. Praha, 79(6), 640. ISSN 1802-4041. Dostupné z: https://www.csnn.eu/casopisy/ceska-slovenska-neurologie/2016-6-4/radiochirurgicka-lecba-arteriovenozni-malformace-mozku-59456

MA, Ting Martin et al., 2020. Ablative Radiotherapy in Prostate Cancer: Stereotactic Body Radiotherapy and High Dose Rate Brachytherapy. Cancers [online]. 12(12) [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33276562/

MURAI, Taro et al., 2020. Clinical Evaluation of Onrad, A New Low-cost Version of TomoTherapy that Uses Only Static Beams. Kurume Medical Journal [online]. 65(4), 129-136 [cit. 2020-12-10]. Dostupné z: https://www.jstage.jst.go.jp/article/kurumemedj/65/4/65_MS654004/_pdf/-char/en

NETUKA, David et al., 2011. Léčba adenomů hypofýzy. Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie [online]. 74(3), 240-253 [cit. 2021-02-03]. ISSN 1802-4041. Dostupné z: http://www.csnn.eu/

PÉREZ-ROMASANTA, Luis A. et al., 2021. Stereotactic Radiotherapy for Hepatocellular Carcinoma, Radiosensitization Strategies and Radiation-Immunotherapy Combination. Cancers [online]. 13(2) [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7825787/

REGULI, Štefan et al., 2018. CyberKnife v léčbě metastáz mozku. Onkologie [online]. 12(3), 130-138 [cit. 2020-12-08]. ISSN 1803-5345. Dostupné z: https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2018/03/07.pdf

REYNOLDS, Alexandra S. et al., 2019. Effect of A Randomized trial of Unruptured Brain Arteriovenous Malformation on Interventional Treatment Rates for Unruptured Arteriovenous Malformations. Cerebrovascular Diseases (Basel, Switzerland) [online]. 47(5-6), 299-302 [cit. 2021-01-27]. ISSN 14219786. Dostupné z: http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=31434094&lang=cs&site=ehost-live

SKÁCELÍKOVÁ, Eva et al., 2017. Stereotaktická radioterapie karcinomu prostaty – efektivita a toxicita. Klinická onkologie [online]. 30(2), 121-127 [cit. 2021-03-08]. ISSN 1802-5307. Dostupné z: https://www.linkos.cz/files/klinicka-onkologie/212/5146.pdf

SOUMAROVÁ, Renata et al., 2019. Onkologie: Učební texty pro studenty 3. lékařské fakulty UK. 2. vyd. Praha, Radioterapeutická a onkologická klinika 3. LF a FNKV, 208 s. ISBN 978-80-87878-37-8.

Stereotactic radiosurgery - Gamma Knife. 2018. Smart Engage. Surgeries &Procedures; Johns Creek: Ebix Inc. [online]. United States, Johns Creek, 1-5 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: file:///C:/Users/Uzivatel/Downloads/ProQuestDocuments-2020-12-08.pdf

STIEBEROVÁ, Natálie et al, 2016. Zkušenosti a výsledky extrakraniální stereotaktické radioterapie přístrojem CyberKnife. Postgraduální medicína [online]. 18(2), 170-175 [cit. 2020-12-09]. ISSN 1212-4184. Dostupné z: https://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/zkusenosti-a-vysledky-extrakranialni-stereotakticke-radioterapie-pristrojem-cyberknife-481954

ŠIMONOVÁ, Gabriela a Roman LIŠČÁK, 2011. Stereotaktická radiochirurgie a radioterapie gama nožem. Onkologie [online]. Praha, 5(2), 77-82 [cit. 2020-11-21]. ISSN 1803-5345. Dostupné z: https://www.solen.cz/pdfs/xon/2011/02/05.pdf

ŠLAMPA, Pavel et al., 2011. Radiační onkologie v praxi. 3. Brno: Masarykův onkologický ústav. ISBN 978-80-86793-19-1.

ŠLAMPA, Pavel et al., c2007. Radiační onkologie. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-469-0.

Seznam zkratek

Gy	Gray
LGN	Leksellův gama nůž
SRS	Stereotactic radiosurgery (stereotaktická radiochirurgie)
SRT	Stereotactic radiotherapy (stereotaktická radioterapie)
AVM	Arteriovenózní malformace
MRI	Zobrazování magnetickou rezonancí
CT	Výpočetní tomografie
^{18}F-FDG	^{18}F-fluorodeoxyglukóza
SBRT	Stereotactic body radiation therapy (extrakraniální stereotaktická radioterapie)
PET	Pozitronová emisní tomografie
PSA	Prostatický specifický antigen