

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Tomáš Miller

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Úloha radiologického asistenta při provádění stereotaktického ozáření lineárním
urychlovačem
Tomáš Miller

Bakalářská práce

2020

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tomáš Miller**
Osobní číslo: **Z17465**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Téma práce: **Úloha radiologického asistenta při provádění stereotaktického ozáření lineárním urychlovačem.**
Zadávající katedra: **Katedra klinických oborů**

Zásady pro vypracování

1. Studium literatury, sběr informací a popis současného stavu řešené problematiky.
2. Stanovení cílů a metodiky práce.
3. Příprava a realizace výzkumného šetření dle stanovené metodiky.
4. Analýza a interpretace získaných dat.
5. Zhodnocení výsledků práce.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. FELTL, David, Jakub CVEK a Lukáš KNYBEL, (2019). *Stereotaktická radioterapie*. Praha: Mladá fronta. ISBN 978-80-204-4959-7.
2. HYNKOVÁ, Ludmila a Pavel ŠLAMPÁ, (2012). *Základy radiační onkologie*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-6061-6.
3. LO, Simon S., (2012). *Stereotactic body radiation therapy*. 1. New York: Springer. Medical radiology. ISBN 978-3-642-25604-2.
4. ŠLAMPÁ, Pavel a Jiří PETERA, (2007). *Radiační onkologie*. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-469-0.
5. BURKOŇ, P. a kol. (2019). *Klinická onkologie: Extrakraniální stereotaktická radioterapie - přehled současných indikací*. Brno: Ambit Media. ISSN 0862-495X.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. MUDr. Jaroslav Vaňásek, CSc.**
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **7. května 2020**

L.S.

doc. Ing. Jana Holá, Ph.D.
děkanka

Mgr. Jan Pospíchal, Ph.D.
vedoucí katedry

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 9. 6. 2020

Podpis autora
Tomáš Miller

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce doc. MUDr. Jaroslavu Vaňáskovi, CSc. za jeho čas, ochotu a rady při tvorbě této bakalářské práce a Mgr. Anně Lierové za pomoc s úpravou a praktickou částí bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu po celou dobu mého studia.

ANOTACE

Tato bakalářská práce pojednává o stereotaktickém ozařování a využití stereotaktického ozařování lineárním urychlovačem při ozařování plicních nádorů. Teoretická část pojednává o základních informacích stereotaktického ozařování, používaných přístrojích, nejčastějších indikacích a úloze radiologického asistenta při stereotaktickém ozařování. Praktická část vychází z rešerší publikací vydaných v českém a anglickém jazyce a pojednává o používání stereotaktického ozařování u plicních nádorů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Stereotaktické ozařování, SBRT, plicní nádory

TITLE

The role of radiological assistant in performing stereotactic irradiation with a linear accelerator.

ANNOTATION

This bachelor thesis deals with stereotactic irradiation and the use of stereotactic irradiation with a linear accelerator in the irradiation of lung tumors. The theoretical part deals with the basic information of stereotactic irradiation, the devices used, the most common indications and the role of the radiological assistant in stereotactic irradiation. The practical part is based on a search of publications published in Czech and English and discuss the use of stereotactic irradiation in pulmonary tumors.

KEYWORDS

Stereotactic irradiation, SBRT, pulmonary tumor

OBSAH

Úvod.....	11
Cíl práce.....	12
1 Teoretická část	13
1.1 Stereotaktické radioterapie a radiochirurgie	13
1.1.1 Stereotaktická radiochirurgie.....	13
1.1.2 Stereotaktická radioterapie	13
1.2 Technické aspekty SBRT.....	15
1.2.1 Imobilizace pacienta a kontrola pohybu při dýchání	15
1.2.2 Fyzika a dozimetrie.....	16
1.3 Přístroje pro stereotaktické ozařování.....	18
1.3.1 Leksellův gama nůž	18
1.3.2 TomoTerapie.....	19
1.3.3 CyberKnife.....	19
1.3.4 Lineární urychlovač	22
1.4 Nejčastější indikace SBRT.....	25
1.4.1 Nádory hlavy a krku	25
1.4.2 Primární a sekundární nádory páteře	25
1.4.3 Nádory jater	26
1.4.4 Nádory prostaty.....	26
1.4.5 Nádory plic	26
1.5 Úloha radiologického asistenta	28
1.5.1 Imobilizace pacienta	28
1.5.2 Pořízení CT, MRI snímků.....	28
1.5.3 Ozařování pacienta	30
2 Praktická část	31
3 Diskuze	48

4	Závěr	50
5	Použitá literatura	51

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

4D	Čtyřrozměrné
4DRT	4D Konformní radioterapie
6D	Šestirozměrné
BED	Biologicky efektivní dávka
CBCT	Cone Beam CT
CT	Výpočetní tomografie
DRRS	Digitálně rekonstruované rentgenové snímky
HPV	Human Papilomavirus
IMRT	Intenzitou modulovaná radioterapie
ITV	Vnitřní cílový objem
MLC	Výcelamelový kolimátor
NSCLC	Nemalobuněčný karcinom plic
PSA	Prostatického Specifického Antigenu
PTV	Plánovaný objem léčby
RO	Rizikový orgán
SABR	Stereotaktická ablativní radioterapie
SBRT	Stereotaktická tělová radioterapie (Stereotactic body radiotherapy)
SRS	Stereotaktická radiochirurgie
SRT	Stereotaktická radioterapie
XLТ	Xight sledování plic (Xsight Lung tracking)

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: Konstrukce ITV založené na 4D CT.....	15
Obrázek 2 SBRT Izodózní plán pro neoperabilní nemalobuněčný karcinom plic.	16
Obrázek 3 IMRT plánování pro SBRT páteře.	17
Obrázek 4 Stereotaktický rám.....	18
Obrázek 5 Přístroj CyberKnife	20
Obrázek 6 Lineární urychlovač.....	23
Obrázek 7 Vícelamelový mikrokolimátor	24
Obrázek 8 Flow chart graf	35
Tabulka 1 Kritéria dle vzorce PICO	31
Tabulka 2 PICO Keywords.....	32
Tabulka 3 PICO Klíčová slova	33
Tabulka 4 Výsledky vyhledávání v databázi Pubmed	34
Tabulka 5 Výsledky vyhledávání v databázi Scopus.....	34
Tabulka 6 Seznam zahrnutých studií	36
Tabulka 7 Aoki 2007	38
Tabulka 8 Feddock 2013.....	40
Tabulka 9 Aoki 2016	42
Tabulka 10 Pokhrel 2016.....	44
Tabulka 11 Singh 2019	46
Tabulka 12 Souhrnné porovnání.....	47

ÚVOD

Extrakraniální stereotaktická radioterapie (Stereotaktická tělová radioterapie (SBRT)) nebo Stereotaktická ablativní radioterapie (SABR) je způsob léčby lokalizovaných nádorových lézí za použití aplikace vysokých dávek ionizujícího záření v malém počtu frakcí pomocí speciálně vybavených lineárních urychlovačů s použitím moderních imobilizačních pomůcek a zobrazovacích metod. Jedná se o speciální techniku moderní radioterapie (Burkoň, 2019).

Pro pacienty je podstatné, že jde o velmi dobře tolerovanou, neinvazivní, krátkodobou léčbu, která nepožaduje hospitalizaci ani žádnou složitou speciální přípravu. Na rozdíl od standardních radioterapeutických technik dokáže SBRT díky své přesnosti aplikovat zřetelně vyšší dávky záření, která způsobí nekrózu ozářeného ložiska. Stereotaktické systémy mohou mít různou podobu, ale tento princip je vždy stejný (Burkoň, 2019).

CÍL PRÁCE

V teoretické části probrat základní informace o technikách ozařování a přístrojů používaných při extrakraniálním stereotaktickém ozařování.

V teoretické části prozkoumat nejčastější indikace stereotaktické ozařování.

V teoretické části shrnout práci radiologického asistenta.

Pomocí rešerší dostupných publikací porovnat stereotaktické ozařování plicních nádorů se standartní radioterapií.

Pomocí rešerší dostupných publikací zjistit o kolik je stereotaktické ozařování lepší v porovnání celkového přežití oproti standartní radioterapii.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Stereotaktické radioterapie a radiochirurgie

Stereotaktická radioterapie či radiochirurgie používá přesnou prostorovou lokalizaci stanoveného objemu, popřípadě pomocí přesně definovaného trojrozměrného (3D) koordinačního systému z dané struktury v libovolné oblasti mozkové tkáně a odpovídající vyšetřovací metody (výpočetní tomografie (CT), pozitronové emisní tomografie (PET), magnetické rezonance (MR) nebo angiografie) bez další přímé vizuální kontroly. Správná stereotaktická lokalizace cílového objemu mimo oblast centrálního nervového systému (mozek, mícha) a do určitého rozsahu i pro oblast malé pánve (prostata), je velmi problematická, vzhledem k pohybu orgánů uvnitř dutiny hrudní a břišní v důsledku dýchání a pohybu srdce. Nicméně díky současnému technickému pokroku zaměřovacích a ozařovacích systémů můžeme provádět lokalizaci a ozáření pomocí obrazem navigované terapie (IGRT), která těsně před danou léčbou (ozářením), nebo dokonce během ní provádí pomocí vhodného zobrazovacího systému verifikaci lokalizace cílového objemu (Šlampa, 2007).

1.1.1 Stereotaktická radiochirurgie

Stereotaktická radiochirurgie (SRS) je léčba mozkových lézí pomocí zevního svazku ionizujícího záření. K zaměření cílového objemu je používána trojrozměrná zobrazovací metoda provedená stereotakticky, kdy se k hlavě pacienta připevní speciální systém značek (tzv. stereotaktický indikátor). Cíl stereotaktické radiochirurgie je aplikování dostatečně velké dávky ionizujícího záření do cílového objemu dané velikosti, lokalizace a tvaru za současného šetření zdravé mozkové tkáně v okolí daného objemu. V porovnání s externí frakcionovanou radioterapií je při stereotaktické radiochirurgii ozařován většinou menší cílový objem, zákrok se uskutečňuje v jediné frakci a účinná dávka, resp. referenční izodóza téměř dokonale zaujímá nepravidelný objem ozařované léze. Radiobiologické podmínky tolerance sousedící zdravé tkáně omezují velikost ozařovaného ložiska na maximální průměr 3 až 4 cm (Šlampa, 2007).

1.1.2 Stereotaktická radioterapie

Stereotaktická radioterapie (SRT) umožňuje překonat hranici omezujícího objemu a zohlednit radiobiologii některých nádorových procesů oproti SR. Při této metodě se využívá stejného principu lokalizace a následného ozáření cílového objemu jako u SRS, ale namísto jednorázového ozáření je zvolen optimální režim frakcionace, např. akcelerovaný 5krát 5,0 Gy nebo i standardní 5krát 2,0 Gy (Šlampa, 2007).

Stereotaktická tělová radioterapie (SBRT)

Národní pracovní skupiny z několika různých zemí oznámily jejich definice pro SBRT. Definice pro SBRT, poskytnuty od různých Amerických a Anglických asociací se shodují takto: SBRT je metoda používající externí zdroj radiačního záření, která s přesností dodává vysokou dávku radiačního záření v jedné frakci nebo v malém množství frakcí do extrakraniálního objemu (Guckenberger, 2014).

SBRT může být provedena tradičním lineárním urychlovačem vybaveným vhodnou technologií pro obrazovou navigaci, urychlovačem adaptovaným konkrétně pro SBRT nebo specializovaným systémem pro dodání dávky radiačního záření. Navíc, principy SBRT platí jak pro fotonovou, tak pro částicovou terapii (Guckenberger, 2014).

Na zavedení SBRT do praxe je potřeba vysoké míry jistoty v přesnosti celého procesu až do dodání dávky. Toto záleží na integracích moderních zobrazovacích metod, simulaci, naplánování léčby a technologiích dodávající požadované dávky do ozařované oblasti, a tudíž se týká celého procesu od přípravy až po dodání dávky (Fehl, 2019).

SBRT nebo SABR – lze odlišit od konvenční terapie dle těchto parametrů:

- velká přesnost ozáření (chyba do 1mm),
- řízené dodání dávky do cíle dle obrazu,
- vysoce konformní distribuce dávky s prudkým dávkovým gradientem,
- veliké dávky na frakci (≥ 8 Gy),
- méně frakcí (typicky 1-5 frakcí),
- mezi frakciovou kontrolou pohybu cíle, je-li možná.

Mezi jiné charakteristiky SBRT rozlišující tuto léčbu od konvenční terapie patří obecně:

- nárůst množství ozařovacích polí stanovenou léčbu,
- častější využití nonkoplanárních svazků,
- použití malých polí, kde se díky menší penumbře dosahuje vyšších dávkových gradientů,
- využití nehomogenní dávkové distribuce.

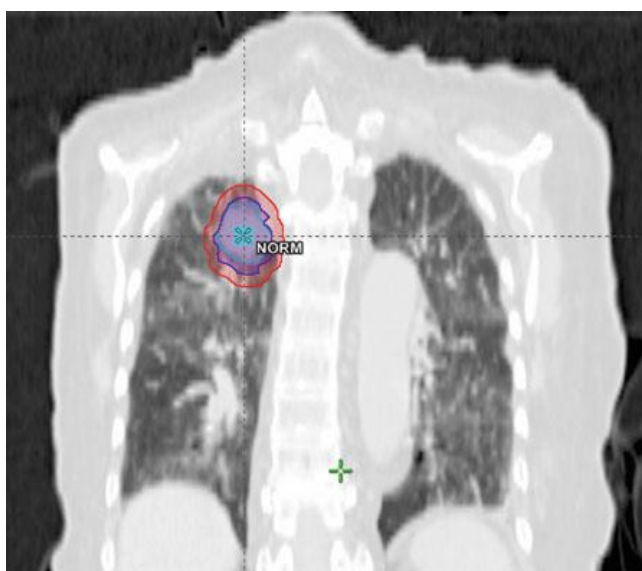
Díky těmto výše zmíněným charakteristikám můžeme využít vysoce konformní dávkovou distribuci, která vystihuje techniku SBRT (Fehl, 2019).

1.2 Technické aspekty SBRT

1.2.1 Imobilizace pacienta a kontrola pohybu při dýchání

Jelikož jsou ablativní dávky, kvůli minimalizování poškození okolních rizikových orgánů (RO) dodávány pomocí SBRT, není potřeba klást přílišný důraz na vymezený objem tkáně zahrnutý v zóně s vysokou dávkou. Rozsah expanze může být snížen, pokud je použita robustní imobilizace, a pokud může být kontrolován pohyb cílového objemu (Lo, 2012).

Několik imobilizačních zařízení je komerčně dostupných nebo vyrobených na zakázku. Správný výběr imobilizační pomůcky, záleží na druhu ozařovacím zařízení a na ozařované části těla. Některé imobilizační přístroje mají také vestavěné abdominální kompresní zařízení pro kontrolu pohybu při dýchání. Pokud se při SBRT použije CyberKnife, bude pro imobilizaci stačit tělová kolébka nebo vakuový pytel, jelikož robotické rameno umožňuje úpravu v reálném čase s vůlí 6° (Lo, 2012).



Obrázek 1: Konstrukce ITV založené na 4D CT.

Hrubý objem nádoru (GTV) a ITV vyznačený ve světle modrých a tmavě modrých odstínech; plánovaný objem léčby (PTV) vyznačený v červeném odstínu (Lo, 2012, str.4).

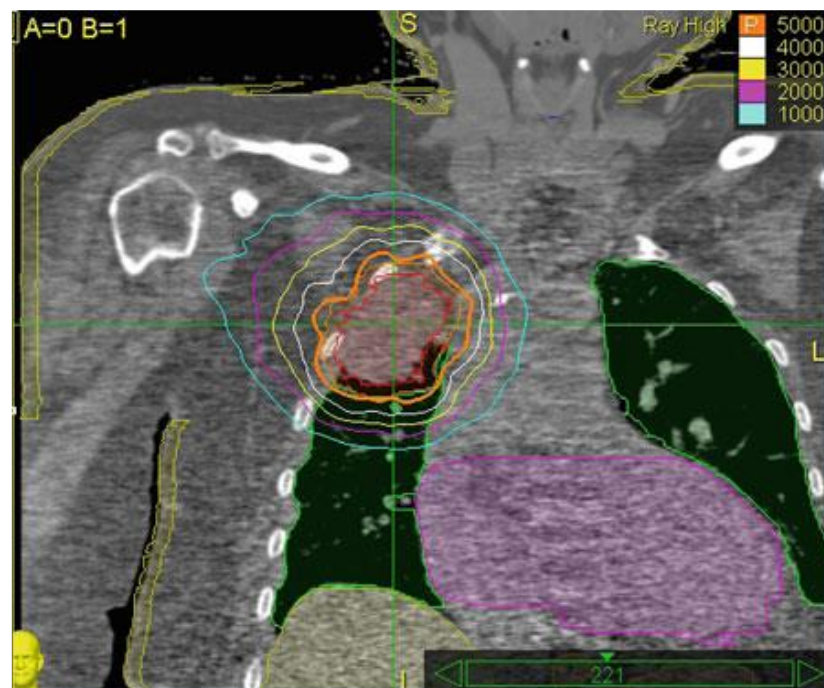
Pro orgány nebo cílené objemy, které se při dýchání pohybují, jsou nutná opatření k zohlednění pohybu při dýchání. Existují tři hlavní kategorie metod pro pohybovou kontrolu ty zahrnují tlumení, hradlování a sledování pohybu. Příklad tlumení pohybu zahrnuje abdominální kompresi a aktivní kontrolu dýchání. Pro hradlování a sledování pohybu se používá náhradní značení. Při hradlování pohybu je fixovaný paprsek radiačního záření aktivován pouze v určité části dýchacího cyklu. Při sledování pohybu, použito například u

zařízení CyberKnife, radiační paprsek sleduje nádor, do kterého bylo implantováno náhradní značení, jako jsou kontrastní markery (zlatá zrna), které se pohybují při dýchání (Lo, 2012).

Pokud žádná z metod uvedená v předešlém odstavci není dostupná, použije se čtyřrozměrná (4D) CT k vyhodnocení individuální mobility nádoru a může být využita k vygenerování vnitřního cílového objemu (ITV) pro plánování ozařování (Obr. 1). Pokud není možnost 4D CT, kombinace tří sad CT získaných při volném dýchání, velkém nádechu a velkém výdechu můžeme využít k vygenerování ITV (Lo, 2012).

1.2.2 Fyzika a dozimetrie

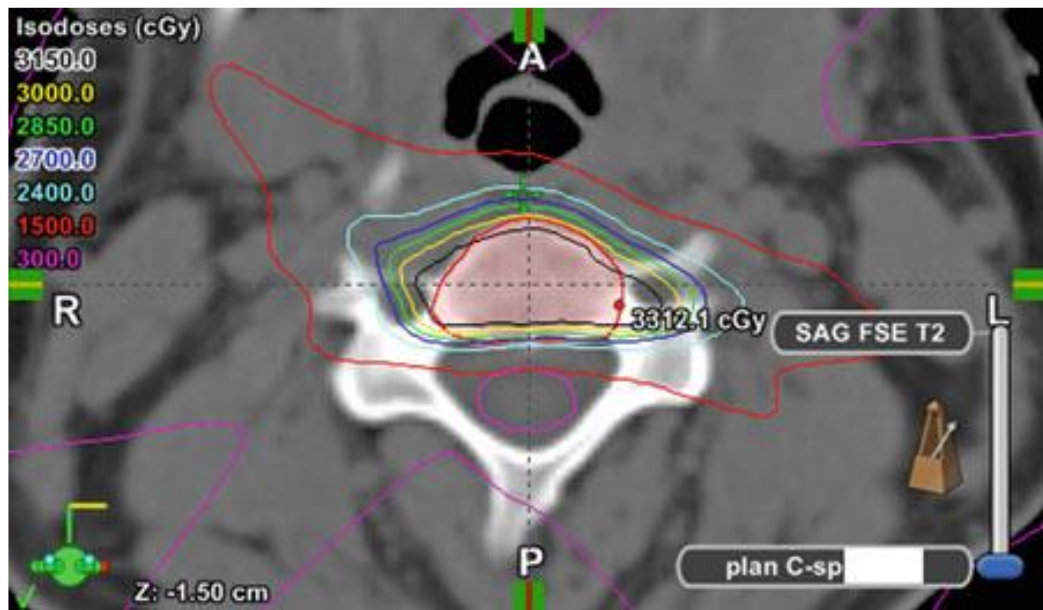
Existuje několik dozimetrických charakteristik SBRT. Zaprvé je potřeba velmi těsná konformita předepsané izodózní linie kolem plánovaného objemu léčby (PTV). Za druhé velmi strmý gradient dávky, který je žádoucí pro minimalizaci úniku radiační dávky do okolní zdravé tkáně nebo kritických orgánů a umožňuje rozšíření terapeutického okna. Obvykle se provádějí pokusy o dosažení rovnoměrného izotropního poklesu ve všech směrech, tudíž bude také zahrnuto rozšíření subklinického mikroskopického onemocnění (Obr. 2). V případě, kde kritický orgán nebo struktura, jako je mícha či jícen, bezprostředně sousedí s PTV, mělo by být vynaloženo úsilí, aby se dávka záření odvrátila od RO (Lo, 2012).



Obrázek 2 SBRT Izodózní plán pro neoperabilní nemalobuněčný karcinom plic.

Dávka 50 Gy v pěti frakcích; pokles záření byl izotropní (Lo, 2012, str.4).

V závislosti na klinickém scénáři se provede naplánování 3D konformní nebo terapie s modulovanou intenzitou svazku (IMRT). Plánovací CT umožňuje současné sledování anatomie pacienta a referenčního systému pro stereotaktické cílení. V situaci, kdy je PTV velmi blízko řadovému RO, jako je mícha, musí být dávka záření asymetricky řízena od RO, což vyžaduje použití plánování léčby IMRT (Obr. 3). Pokud se použije CyberKnife, může přidružený software provádět také inverzní plánování (Lo, 2012).



Obrázek 3 IMRT plánování pro SBRT páteře.

Dávka 30 Gy v pěti frakcích; bylo vynaloženo úsilí na odvádění dávky od míchy (Lo, 2012, str.5).

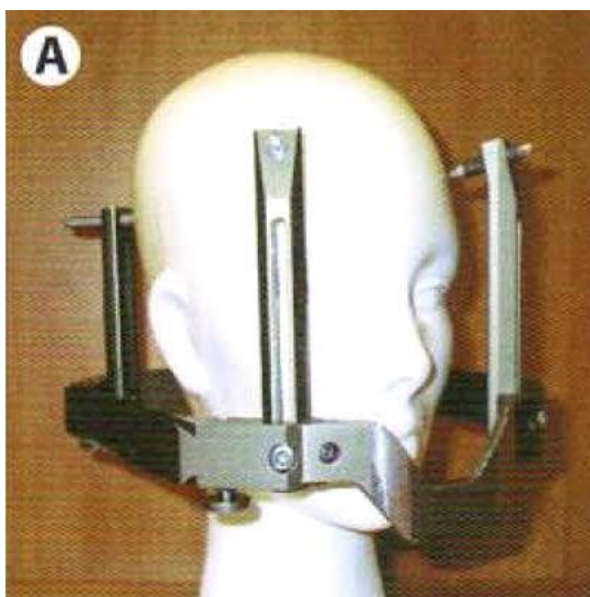
1.3 Přístroje pro stereotaktické ozařování

Intrakraniální SRS byla zavedena ve 20. století jako velmi přesná metoda. Pozitivní klinické zkušenosti a technologický růst konvenční radioterapie byl předpokladem k vzniku SBRT. Roku 1991 Bromgren a Lax uskutečnili v Karolinska Institute ve Švédsku SBRT v oblasti plic a jater, následování Uematsu, kteří tuto metodu uvedli klinicky v Japonsku roku 1994. Následně byla zavedena tato metoda na mnoha místech v Evropě, Japonsku a USA (Fetl, 2019).

Dnešní dostupné přístroje pro stereotaktické ozařování jsou schopné běžně provádět SBRT. Standardně by měl mít přístroj možnost řízení obrazem a plánovací systém tohoto přístroje by měl být schopen přesně spočítat sofistikované SBRT plány s možností převedení snímků z více modalit. Je potřeba brát v potaz to, že pencil-beam algoritmy se nedoporučují pro výpočet plánů pro SBRT plic (Fetl, 2019).

1.3.1 Leksellův gama nůž

Leksellův gama nůž je radiochirurgický přístroj, který byl vyvinut Larsem Leksellem. První prototyp byl vytvořen roku 1968. Tento přístroj je převážně používán k ozařování v oblasti hlavy. Nejnovější generace tohoto přístroje je schopna ozařovat i léze v krční páteři. Léčba se provádí v jedné frakci. Využití frakcionace je u tohoto přístroje možné, jeho nové typy, které dokáží pracovat bez invazivní fixace, vylepšují komfort pacienta právě díky použití frakcionované terapie (Fetl, 2019).



Obrázek 4 Stereotaktický rám.

Ukázka fixace hlavy pacienta při stereotaktickém ozařování Leksellovým gama nožem (Šlampa, 2007, str. 414).

Zdrojem záření u gama nože je kobalt (^{60}Co), jehož záření je kolimováno z několika zářičů na průměry 4,8 nebo 16 mm. Záření kolimované do úzkých kruhových svazků se kříží ve společném ohnisku a mimo dané ohnisko dávka strmě klesá. Kromě novějších verzí gama nože je nutno použít invazivní fixaci hlavy pacienta do stereotaktického rámu (Obr. 4). Fixace se provádí čtyřmi šrouby do pacientovy lebky. Při prvních lokalizačních vyšetřeních se využije speciální stereotaktický box pro stanovení souřadnicového systému v těle pacienta. V dnešní době lze nahradit invazivní systém fixace doplňkovým systémem Extend™. Poté se fixace zakládá na principu zakousnutí pacienta do speciálního zařízení zafixovaného v podložce (Fetl, 2019).

1.3.2 TomoTerapie

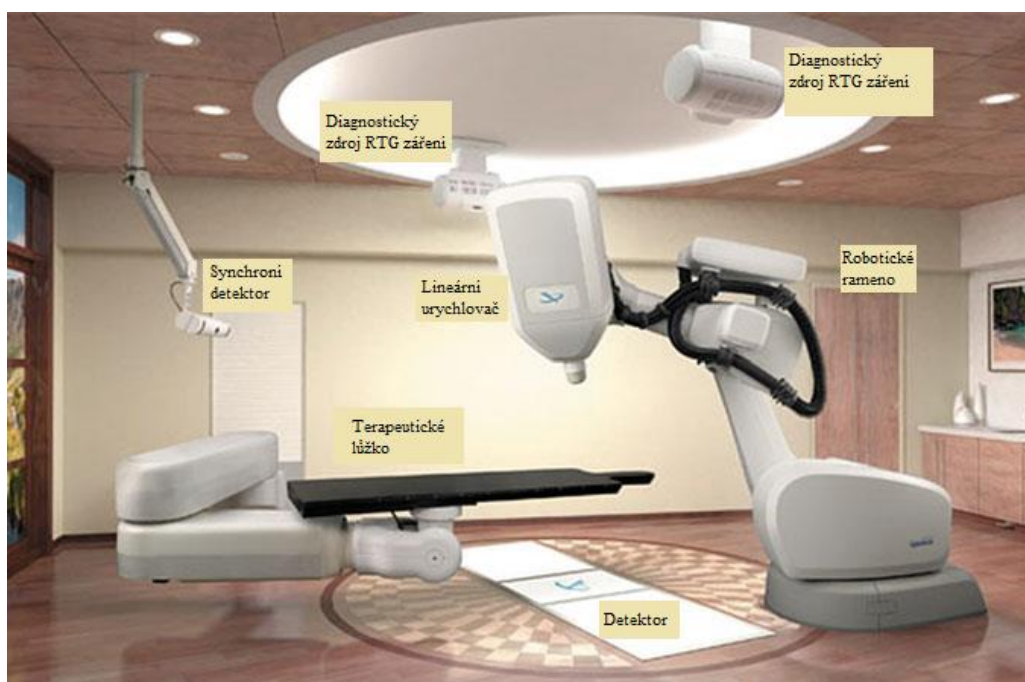
TomoTerapie je novodobá verze ozařovače pro radioterapii modulovanou CT obrazem. Terapie se uskutečňuje postupně v navazujících řezech. Do jednoho systému je integrovaná jak diagnostická, tak i terapeutická technologie (Fetl, 2019).

Při CT zobrazení se realizuje jako transmisní γ -CT, který používá speciální režim lineárního urychlovače (CTTrue™) namísto standartní rentgenky. Podobně jako u CT vyšetření, kdy se za stálé rotace rentgenky posouvá stůl s pacientem, zde rotuje jen urychlovač. Tento technologický aspekt umožňuje denně kontrolovat pozice pacienta ve 3D. Soustava používá binární MLC, jejíž odezva pro otevírání a zavírání je nejrychlejší. Díky rotační technologii je možné ozářit i objem o délce 135 cm bez potřeby měnit polohu pacienta (Fetl, 2019).

1.3.3 CyberKnife

CyberKnife (Obr. 5) je systém s robotickými komponenty, který má submilimetrovou přesnost při ozařování. Robotické rameno (manipulátor) má velice kompaktní lineární urychlovač, díky němuž je možné ozařovat z několika tisíců pozic neizocentricky, izocentricky i nonkoplanárně. Ozařovat je možné i bez fixačního rámu. Díky lineárnímu urychlovači připevněnému na robotickém rameni má CyberKnife možnost provádět tracking pohyblivých cílů a díky tomu eliminuje potřebu techniky gatingu. Intuitivním uživatelským rozhraním umožňujeme sledování všech interakcí mezi manipulátorem, zobrazovacím systémem a stolem pro pacienta. Software sám zpracovává během léčby pořízené snímky cílové oblasti v uživatelem definovaných intervalech, na základě referenčních počítačově rekonstruovaných rentgenogramů vyhodnocuje rozdíl v pozici sledované oblasti a přeposílá tyto data do manipulátoru, který na základě dat provádí automatickou kompenzaci. Snímky se pořizují dvěma zdroji rtg záření zavěšenými u stropu ozařovny. Cílová oblast se snímá z úhlu

45°. U tohoto přístroje má ozařovací pole vždy tvar kruhu. Uživatel může vybírat z 12 různých kruhových apertur v rozmezí od 5 mm do 6 cm. Je možnost volit z „fixních“ kolimátorů, které představují variabilní kolimátor Iris, jenž zvládne mechanicky vytvářet ozařovací pole ve stejném rozmezí 5 mm až 6 cm, nebo tubusy o příslušné apertuře. Výhoda kolimátoru Iris je značné zkrácení doby léčby díky změnám velikosti ozařovacího pole během ozařování bez potřeby střídání kolimátorů, jako tomu je u fixních kolimátorů (Felzl, 2019).



Obrázek 5 Přístroj CyberKnife

(Převzato a upraveno z: Lo, 2012, str. 38).

6D Skull tracking Systém

V případě intrakraniálních cílů poskytuje 6D Skull tracking systém sledování cíle a automatickou korekci paprsků záření bez potřeby stereotaktického rámu. Pacienti jsou umístěni na terapeutickém lůžku s termoplastickou maskou, která imobilizuje jejich hlavu, z důvodu zajištění reprodukovatelnosti polohování. Během léčby se získají rentgenové snímky pro stanovení polohy lebky vzhledem k poloze při plánování léčby. Toho je dosaženo porovnáním ortogonálních rentgenových snímků s řadou digitálně rekonstruovaných rentgenových snímků (DRRS) vypočítaných z plánovacího CT. 6D Skull tracking může být použit k léčbě všech intrakraniálních lézí i těch, které jsou lokalizovány jako nižší než C2 krční páteře. Tímto sledovacím systémem mohou být také ošetřeny léze hlavy a krku, za předpokladu, že jsou cíle považovány za pevně spojené se sledovanými kostními strukturami (Lo, 2012).

Spine tracking Systém

Pro cíle umístěné uvnitř páteře nebo v její blízkosti, za předpokladu pevného polohového vztahu se strukturou páteře, se používá sledovací systém Xsight Spine, který provádí vyrovnání polohy na základě kostěných struktur kostry páteře. Podkladové algoritmy zpracování a zarovnání obrazu jsou přizpůsobeny charakteristikám kosterních struktur na základě nesprávné registrace. Xsight Spine lze také použít ke sledování nádorů, které sousedí v pevném vztahu k jiným kostnatým strukturám, jako je hlava femuru, sakrální kost nebo rameno. Xsight Spine lze také použít jako součást léčby extrakraniálních lézí pacienta. U Xsight Spine tracking byla hlášena submillimetrová přesnost jak ve fantomových, tak v klinických studiích (Lo, 2012).

Respiratory motion tracking Systém

Synchrony je sledovací systém používaný k léčbě nádorů, které se pohybují při dýchání. Při použití Synchrony paprsky záření nepřetržitě sledují pohyb cílového objemu v reálném čase. V Synchrony relaci léčby je poloha nádoru (na základě referenčních údajů nebo samotného nádoru) stanovena skiagrafiicky, zatímco pohyb při dýchání je současně určen optickým sledovacím systémem. Synchronizované údaje o poloze nádoru a pohybu při dýchání jsou korelovány za účelem vytvoření modelu predikce pohybu. Při dodávce svazku paprsků používá model data respiračního pohybu v reálném čase pro aktivní promítání polohy nádoru a následné synchronizaci robotického pohybu s pohybem nádoru v reálném čase. Systém je navržen s adaptivní funkcí tak, že model predikce pohybu se průběžně aktualizuje v průběhu léčby dle vývoje dechového vzoru pacienta. Při použití tohoto přístupu není dýchání pacienta během léčby žádným způsobem omezeno. Nicméně je pro vyšetření důležitá dechová koordinace, aby při dýchání nebylo rozpětí dechu moc velké (Lo, 2012).

Lung tracking Systém

CyberKnife také nabízí sledování pohybu plicního nádoru, aniž by bylo nutné implicitní implantaci pomocí Xsight Lung Tracking (XLT). Tím se eliminuje riziko pneumotoraxu a komplikací souvisejících s invazivním procedurálním implantačním postupem. Sledování skutečného objemu nádoru namísto sledování náhradního značení eliminuje chyby způsobené fiduciální migrací (Lo, 2012).

XLT se provádí ve dvou fázích. Nejprve se provede zarovnání těla pacienta včetně translace a rotace za použití páteřní kosterní struktury v blízkosti plicního nádoru k reprodukci polohy pacienta. Za druhé, lůžko posouvá střed těla pacienta k centru sledování nádoru. Stejně jako u jiných metod sledování nádoru jsou ortogonální rentgenové snímky v reálném čase registrovány do DRRS pro lokalizaci. V tomto případě se pro vyrovnání použije mapa intenzity obrazu viditelného nádoru. K určení umístění nádoru je nutné, aby byl rozeznatelný pro detekci v obou rentgenových snímcích. Z tohoto důvodu je XLT omezen na léčbu nádorů 1,5 cm nebo větších a na konkrétních místech, aby bylo zajištěno, že nádor není významně blokován žádnými významnými normálními strukturami, jako je srdce, obratle a bránice (Lo, 2012).

InTempo Systém

InTempo je funkce, která rozvrství zobrazovací frekvenci tak, aby odpovídala změně pohybu cíle v závislosti na čase. Bylo například ukázáno, že během léčby prostaty mohou nastat období rychlého pohybu cíle. Je tedy žádoucí, získat častější obrazy během těchto vyšetření než během vyšetření s omezeným pohybem. InTempo dynamicky upravuje frekvenci snímání obrazu během léčby, na základě množství pohybu prostaty detekovaného v posledních snímcích a uživatelem stanovených prahů pro maximální posunutí. Frekvence snímání obrazu se automaticky zvyšuje, když je detekován velký pohyb prostaty. Jakmile se pohyb prostaty ustálí, může se snížit zobrazovací frekvence. To optimalizuje zobrazovací rentgenovou expozici pro lepší přesnost cílení (Lo, 2012).

1.3.4 Lineární urychlovač

U lineárního urychlovače (Obr. 6) je na rozdíl od Leksellova gama nože pouze jeden zdroj brzdného záření X, který s rotací stolu a kyvem ramene lineárního urychlovače mění místo vstupu svazku do těla pacienta. Pro zaručení žádané přesnosti je potřeba, aby se tři hlavní mechanické osy (osa rotace stolu, na kterém je fixován pacient, osa, kolem které kýve rameno lineárního urychlovače a osa kolimátoru) křížily ve stejném bodě (izocentru), který setrvává při průběhu všech rotací stabilní. Pro kvalitní lineární urychlovače lze v současné době zajistit průnik výše zmíněných mechanických os v jednom bodě s přesností 1 mm (Šlampa, 2007).

Úspěšná SBRT vyžaduje malé okraje kolem cílového objemu. K dosažení tohoto cíle je nutné mít 3D řízení obrazu integrováno s léčbou a řídit pohyb cílového objemu. Dávky jsou obvykle předepisovány na 80-90 % izodózních linií, takže okraje cílového objemu jsou v oblasti gradientu vysoké dávky. Těsné okraje vyžadují vyšší mechanickou přesnost léčebného stroje a větší přesnost polohování pacienta než u konvenčních frakcionovaných ošetření (Lo, 2012).



Obrázek 6 Lineární urychlovač.

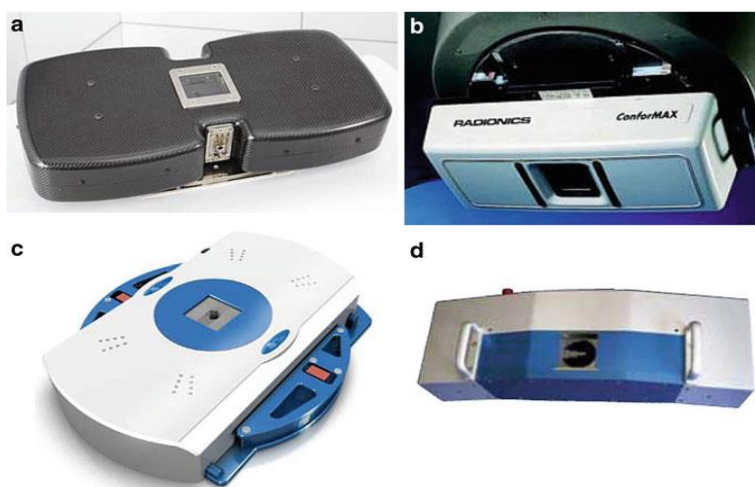
Ukázka lineárního urychlovače od výrobce Varian (Lo, 2012, str. 54).

Ozařování vysokou dávkou

Doba frakcí SBRT je obvykle mnohem delší než u konvenčních ošetření kvůli vyšší dávce a obvykle delšímu nastavení času pro vedení obrazu. Tyto delší doby léčby poskytují více příležitostí pro mezifrakční pohyb. Bylo zjištěno, že pacient při radiochirurgii páteře trvající 5 minut, se může pohnout až o 3 mm. Při srovnání ošetření nádorů jater, pomocí techniky oblouku s modulovanou intenzitou se uvádí, že doba ozařování byla snížena asi z 9 min u konvenčních paprsků na přibližně 2,3 min. Ozařování vysokou dávkou může také významně zkrátit dobu ozařování u technik, které mají nízkou účinnost paprsku, jako je hradlování a zadržování dechu (Lo, 2012).

Vícemelový kolimátor

U SRS a SRT je standardní kolimátorový systém lineárního urychlovače pro ozařování nevhodný, jelikož má svazky s poměrně velkým polostínem a clony kolimátoru nedovolují nastavení s dostačující přesností. Kvůli těmto důvodům je na kolimační systém lineárního urychlovače připojen nástavec, který dokáže fixovat vyměnitelné kolimátory s kruhovým průřezem (5-40 mm). Zvolení kruhového průřezu sekundárních kolimátorů je z důvodu dosažení prudšího dávkového gradientu, než je tomu v případě čtvercových polí. Dnes se již standardně používají vícemelové mikrokolimátory (multileaf microcolimator) (obr. 7) s malou velikostí lamel (2-5 mm) vyhrazené pro stereotaktické techniky (Šlampa, 2007).



Obrázek 7 Vícemelový mikrokolimátor

a MRC systems (dnes Siemens); b Radionics; c BrainLAB; d 3D Line (Lo, 2012, s. 20).

4D-konformní radioterapie (4DRT)

4DRT bere v potaz změny cílového objemu v reálném čase, které v průběhu léčby mohou nastat. Technika 4D radioterapie dokáže sladit záření s měnícím se nebo pohybujícím se cílovým objemem. 4D radioterapie se využívá například u léčby plicních ložisek, kdy je potřeba u 3D radioterapie zvolit větší bezpečnostní lem, který zajistí, že cílový objem bude v průběhu dýchacího cyklu vždy v ozařovacím poli. Jednou z modalit, které berou v úvahu dechové pohyby, je respiratory gating (radioterapie řízená dýchacím cyklem), kdy se provede ozáření jen v stanoveném úseku dýchacího cyklu a přeruší se ve chvíli, kdy je cílový objem mimo svazek záření. Jinou metodou je respiratory tracking, kdy svazek záření sleduje přímo respirační pohyb nádoru (Hynková, 2012).

Technika 4D radioterapie je možná díky přídatným zařízením v podobě zobrazovacích (IGRT) a detekčním systémům u lineárních urychlovačů. Díky 4DRT je možné šetřit zdravé tkáně (Hynková, 2012).

Terapie s modulovanou intenzitou svazku (IMRT)

IMRT je vylepšená forma 3D konformní radioterapie. IMRT se do klinické praxe dostalo v polovině 90. let minulého století. Při této technice je mimo přizpůsobení svazku záření tvaru cílového objemu i přizpůsobena intenzita (fluence) svazku. Modulace svazku může být prováděna různými technickými možnostmi. Nejvíce se v klinické praxi používají metody využívající výcelamelový kolimátor (MLC) v hlavici přístroje se speciálním SW systémem (Hynková, 2012).

1.4 Nejčastější indikace SBRT

1.4.1 Nádory hlavy a krku

Nádory hlavy a krku jsou rozmanité skupiny onemocnění, které vznikají ze sliznice aerodigestivního traktu a ze všech malignit tvoří 3 %. Etiologický faktor je ze 70 % kouření a nadměrné požívání alkoholu a ze 30 % se poté jedná o nádory asociované s HPV (human papilomavirus) infekcí. Základem léčby je radikální operace a/nebo radioterapie. Systémová léčba má poteciální účinek s vlivem na pětileté přežití 8 %. Neuspokojivé jsou zejména léčebné výsledky u pokročilých stádií. Základním problémem je zprostředkování lokální kontroly, kdy dochází ve více jak 30 % případu k inoperabilním lokálním recidivám. Uskutečnitelnost stereotaktické reiradiace byla testována zejména v rámci hyperfrakcionace, jedná se však buď o retrospektivní hodnocení, jež vypovídají o značné heterogenitě, nebo o studii fáze I, II s malými soubory (Feltl, 2019).

1.4.2 Primární a sekundární nádory páteře

Primární nádory páteře a míchy jsou ojedinělé a jsou ve více jak 90 % benigní, mezi časté nálezy patří však sekundární nádory a jsou důvodem výrazné morbiditity (neurologický deficit a bolest), jenž výrazně zhoršuje kvalitu života onkologických pacientů. V ČR je incidence metastatického postižení skeletu asi 6 500 ročně a se zřetelem na delší přežívání se jedná o značný medicínský problém, než je tomu v případě viscerálních metastáz. Nádory míchy se můžou dělit podle vztahu k ochranným obalům míchy (Feltl, 2019).

1.4.3 Nádory jater

Přístup k léčbě jaterních metastáz se v posledním desetiletí dramaticky změnil. Zjištění, že chirurgická resekce kolorektálních metastáz umožňuje dlouhodobé přežití, vedlo k tomu, že se součástí komplexní terapie stává lokální léčba. Běžné jsou metastázy do jater ze solidních karcinomů, jedná se nejčastěji, se zřetelem na cévní zásobení, o generalizaci karcinomů tlustého střeva a horních třetin konečníku a charakterizující se vysokou mortalitou i morbiditou. Kolorektální karcinom má v ČR velkou incidenci a přibližně 50 % pacientů s kolorektálním karcinomem se dožije vzniku jaterních metastáz. Pouze 10-20 % metastáz bývá resekabilních, lze očekávat jisté zlepšení operability od zařazení neadjuvantní systémové léčby, ale stereotaktická radioterapie možnosti lokální léčby značně rozšiřuje (Feltl, 2019).

1.4.4 Nádory prostaty

V ČR je karcinom prostaty nejčastějším zhoubným nádorem u mužů. Každý rok se diagnostikuje kolem 70 nových případů na 100 000 obyvatel. Skoro všichni nově diagnostikovaní pacienti jsou asymptomatictí nebo minimálně symptomatictí a k diagnóze vede zvýšení prostatického specifického antigenu (PSA). Brzká detekce karcinomu prostaty zdokonaluje prognózu onemocnění, ale vede k úkazu zvanému overdiagnosis, kdy pacienti staršího věku, s poměrně krátkou očekávanou dobou života, mají diagnostikované zhoubné onemocnění, které jim ovšem nezkrátí life-expectancy. Menší počet těchto pacientů je aktivně léčen, mnohdy s nezanedbatelnou toxicitou. Naopak, zříct se vyšetření prostaty i odběru PSA, by představovalo zvýšit mortalitu na tento zhoubný nádor, což je jasně nežádoucí. Momentálně se doporučuje snaha o zaměření na časnou detekci onemocnění věkové skupiny 55–69 let, kdy je potenciál k logickému využití aktivní léčby a snížení mortality nejvyšší (Feltl, 2019).

1.4.5 Nádory plic

Karcinom plic je jedno z nejvíce maligních onemocnění v onkologii a bývá představován jako nejčastější důvod úmrtí na zhoubný nádor v zemích západního světa. Necelých 20 % nemocných dosahuje pětiletého přežití, a to i přes pokrok léčby v posledním desetiletí. Časná diagnostika a účinná lokální léčba stále zůstává základem úspěchu, protože úspěchy protinádorové léčby u nemalobuněčného karcinomu plic jdou vesměs na vrub málo pokročilých stádií onemocnění (Feltl, 2019).

Periferní nemalobuněčná rakovina plic v časném stádiu u lékařsky inoperabilních pacientů je doporučenou indikací pro SBRT. Periferní léze však vykazují různou geometrii nádoru a průměr s rizikem ozáření RO, jako je hrudní stěna. Plánování léčby je náchylné ke změnám, což vede k rozporům v kvalitě léčebného plánu a provádění SBRT plic je náročné na zdroje. Byla navržena automatická řešení, která pomohou tyto problémy řešit včetně plánování založeného na znalostech (Delaney, 2017).

Radikální chirurgický zákrok je zlatý standart u I a II stádia. Stereotaktická radioterapie je indikovaná tehdy, pokud pacient z interních důvodů nemůže podstoupit operaci. Pokročilejší nálezy se musí vždy pečlivě vyšetřit z pohledu operability, jelikož pacienti s radikálně resekovaným, i když pokročilým nádorem, má vyšší šanci na vyléčení než inoperabilní pacienti. Adjuvantní chemoterapie se většinou indikuje po chirurgickém zákroku, hlavně u tzv. high-risk pacientů (špatně diferenciované histologie, invaze do viscerální pleury tumor nad 4 cm či nekompletní chirurgický výkon). Při prokázaném okraji resektátu nebo stadiu pN2 se doporučuje i adjuvantní radioterapie, nejlépe v konkomitantním podání s chemoterapií. Pacienti s inoperabilním nálezem a pozitivními lymfatickými uzlinami jsou indikováni na konkomitantní radiochemoterapii. Poslední roky je novinka udržovací léčba durvalumabem po radiochemoterapii (Fehl, 2019).

1.5 Úloha radiologického asistenta

1.5.1 Imobilizace pacienta

Vzhledem k větší délce každé léčebné frakce je třeba více zohlednit pohodlí pacienta, polohovou stabilitu a reprodukovatelnost nastavení. Doporučuje se, aby centra kvantifikovaly a sledovaly polohovou nejistotu spojenou s reprodukovatelností a stabilitou zvolené metody imobilizace (UK SABR Consortium, 2019).

Imobilizační zařízení musí minimálně zasahovat do výpočtu a dodání dávky. V ideálním případě bude veškeré imobilizační zařízení kompatibilní se zobrazovacími způsoby předběžného ošetření, které umožní skenování v léčebné poloze (UK SABR Consortium, 2019).

Centra mohou zvážit použití dalších značek na imobilizačním zařízení, které jsou viditelné při různých zobrazovacích modalitách (např. Olejových tobolkách), což může snížit riziko chybné registrace snímků pořízených s malým zorným polem (UK SABR Consortium, 2019).

Je třeba vzít v úvahu účinek imobilizačního zařízení na dávku do kůže, a to jak z hlediska zvýšení nárůstu povrchové dávky při kontaktu, tak zavedení nebo zhoršení kožních záhybů v léčebném poli (UK SABR Consortium, 2019).

1.5.2 Pořízení CT, MRI snímků

1.5.2.1 CT

Pacienti podstoupí plánované CT skenování v léčebné poloze ve vybraném imobilizačním zařízení. Rozsah skenování musí být dostatečný k tomu, aby zahrnoval všechny potenciální ohrožené orgány, zejména pokud se používají ne-koplanární paprsky. Pokud jsou omezení RO založena na dávce, kterou dostává celý orgán (např. plíce, játra, ledviny), měl by být celý orgán zahrnut do vyšetření (UK SABR Consortium, 2019).

Technické standardy CT

CT snímky by měly mít vysoké rozlišení; velikost voxelu v rovině by měla být ≤ 1 mm, i když je přijatelná $\leq 1,4$ mm, je-li vyžadováno větší zorné pole (v tomto případě by se mělo uvažovat o retrospektivní rekonstrukci CT v menším zorném poli jako společná registrace ke zlepšení) rozlišení v rovině). Tloušťka řezu by obecně měla být ≤ 3 mm, s přihlédnutím k vyšším rozlišením páteře (doporučeno ≤ 2 mm) a pokud se používají výchozí značky pro snížení nejistoty v jejich sup-inf poloze. Jemnější tloušťka řezu umožní přesnější konturování cílových objemů a lepší DRRS rozlišení, čímž se sníží nejistota, pokud se ověřuje poloha

pacienta vůči planárním obrazům (např. Exactrac, linac kV, Cyberknife), je však třeba věnovat pozornost poměru kontrastu k šumu, pokud je rekonstruovaná tloušťka CT řezu <2,5 mm. Při snižování tloušťky řezu pod 2-3 mm se zdá, že přesnost ověřovacího CBCT (Cone Beam CT) před léčbou není tak velký přínos (UK SABR Consortium, 2019).

CT s kontrastem

CT s kontrastem by se mělo používat pro játra (dynamické kontrastní CT při výdechu, zachycení žilní fáze zvýšení kontrastu) a nadledviny (při výdechu). Neexistuje žádné doporučení pro kontrast, který by se měl obecně používat pro plíce, páteř nebo prostatu, toto je na uvážení klinického lékaře. Centra by si měla být vědoma změny v Hounsfieldových jednotkách způsobené kontrastem a posoudit dopad, který to má na přesnost výpočtu dávky a nastavení pacienta, pokud se DRRS používají na základě datového souboru kontrastních CT (UK SABR Consortium, 2019).

4DCT

Pro klinická místa podléhající respiračnímu pohybu (např. Plíce, játra, nadledvinky, mediastinální uzliny atd.) je vysoce doporučeno použití 4DCT z důvodu zohlednění pohybu nádoru v celém rozsahu a pohybu okolních RO. Pokud je problém s délkou skenování 4D, může být nutné kombinovat 4DCT s 3D skenováním (UK SABR Consortium, 2019).

1.5.2.2 MRI

Použití MRI se doporučuje a v ideálním případě by měly být prováděny s pacientem v pozici léčby. Pokud to není možné, měla by se zvážit MRI pacienta pořízené v oblasti nádoru, aby se umožnila pevná registrace obrazu na použitelnou úroveň přesnosti (UK SABR Consortium, 2019).

MRI je důrazně doporučováno pro jaterní a nadledvinová místa, protože samotný CT se zvýšeným kontrastem často podceňuje objem nádoru v kolorektálních metastázách a dalších primárních místech (UK SABR Consortium, 2019).

Měly by být provedeny pokusy o snížení účinků pohybu po zdlouhavé doby získání MRI pro mobilní cíle. Toho lze dosáhnout různými prostředky v závislosti na skeneru a potenciálních sekvencích. Možnosti jsou: proaktivní respirační spouštění, retrospektivní binning nebo zadržení dechu (pokud je pacient schopen). Doporučuje se získat stejnou respirační fázi jako primární plánovaná fáze CT (UK SABR Consortium, 2019).

MRI poskytuje vyšší kontrast mezi lézemi a játry, umožňuje vynikající detekci i charakterizaci lézí. Použití MRI (prosté T1W nebo T2W sekvence) sloučené s CT k vymezení nádoru zvyšuje CTV, potenciálně včetně nádorových buněčných kongregací, které byly vynechány pomocí definice objemu na základě CT. Retrospektivně pozorované rozdíly ve středním objemu nádoru, jak jsou definovány na CT a MRI, jsou významně vyšší u pacientů vykazujících lokální selhání nádoru ($p = 0,002$). Z toho vyplývá, že MRI může vést k lepšímu vymezení nádoru, a tedy k lepší místní kontrole (UK SABR Consortium, 2019).

1.5.3 Ozařování pacienta

Povinnosti radiologických asistentů zahrnují dohled nad celkovým léčebným režimem, metodu uložení pacienta, doporučení k zohlednění potenciálního pohybu cílového objemu, dohled nad simulací, identifikaci cíle (včetně metod k řešení nejistoty pohybu) a normálních tkání, předepsání dávky záření cílovým objemům a ohroženým orgánům, účastnit se procesu léčby a dohlížet na něj (Lo, 2012).

2 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části své bakalářské práce jsem se zabýval stereotaktickým ozařováním plicních karcinomů, protože jsou nejčastější příčinou úmrtí na zhoubný nádor. Stereotaktické ozařování se sice indikuje pouze když je pacient z interních důvodů inoperabilní, ale je možné že do budoucna může být stereotaktické ozařování voleno častěji než do teď.

K sestavení přehledu a sepsání praktické části byla zvolena rešerše článků v odborných časopisech a publikovaných studií. Postupoval jsem podle přesně stanoveného postupu metodiky Joanna Briggs Institute (JBI), který je v současné době lídrem v tvorbě systematických přehledů.

Před samotným vyhledáváním studií bylo nutné vymezit si téma, stanovit si kritéria pro výběr. Sestavil jsem proto zodpověditelnou otázku dle vzorce PICO, tj. (P) – pacient/populace, (I) -typ použité intervence, (C) – porovnání s jiným typem intervence, (O) – výstupy. Pokud jsem tedy chtěl zjistit, jaká je efektivita stereotaktického ozařování lineárním urychlovačem oproti standartní radioterapii pro přežití a kontrolu nádoru při ozařování plicních lézí, bylo třeba si vymezit a zkonkretizovat jednotlivé pojmy (viz. Tabulka 1).

Tabulka 1 Kritéria dle vzorce PICO

Populace	Dospělí (18 let a více), diagnostikovaný s karcinomem plic a je z interních důvodů inoperabilní.
Intervence	Pacient byl ozařován stereotakticky lineárním urychlovačem.
Porovnání	Pacient byl ozařován standartní technikou lineárním urychlovačem.
Výsledky	Kontrola nádoru a přežití pacientů po ozařování.

Všichni pacienti, kteří byli sledováni museli být dospělí, tedy starší 18 let, s inoperabilním karcinomem plic, u kterého je vyžadováno ozařování lineárním urychlovačem. K ozařování byla využita stereotaktická technika ozařování a standartní radioterapie. Hodnotil jsem procento přežití pacientů a kontrolu nádoru po ozařování.

K iniciálnímu vyhledávání publikací jsem využil vědecké databáze Pubmed, Scopus a Medvik, kde na základě mnou zadaných klíčových slov (viz. Tabulka 2 a 3), systém vygeneroval určitý počet článků a studií. Vyhledával jsem studie publikované v českém a anglickém jazyce. Na české databázi Medvik jsem nenalezl žádné studie, které by splňovaly má kritéria.

Review otázka

Jak je efektivní stereotaktické ozařování lineárním urychlovačem oproti standartní radioterapii lineárním urychlovačem pro přežití pacienta a kontroly nádoru?

Tabulka 2 PICO Keywords

Population	Adult, Lung cancer, inoperable tumor
Intervention	Stereotactic irradiation with linear akcelerátor
Comparation	Standard radiotherapy with linear akcelerátor
Outcome	Survival, tumor control

Tabulka 3 PICO Klíčová slova

Populace	Dospělí, karcinom plic, inoperabilní nádor
Intervence	Stereotaktické ozařování lineárním urychlovačem
Porovnání	Standartní ozařování lineárním urychlovačem
Výsledky	Kontrola nádoru, přežití

Do obou databází jsem zadával jednotlivá slova. Výsledky vyhledávání v databázi PubMed a Scopus pro jednotlivá klíčová slova a varianty s použitím Booleánských operátorů AND a OR jsou zobrazeny v tabulce 4 a 5.

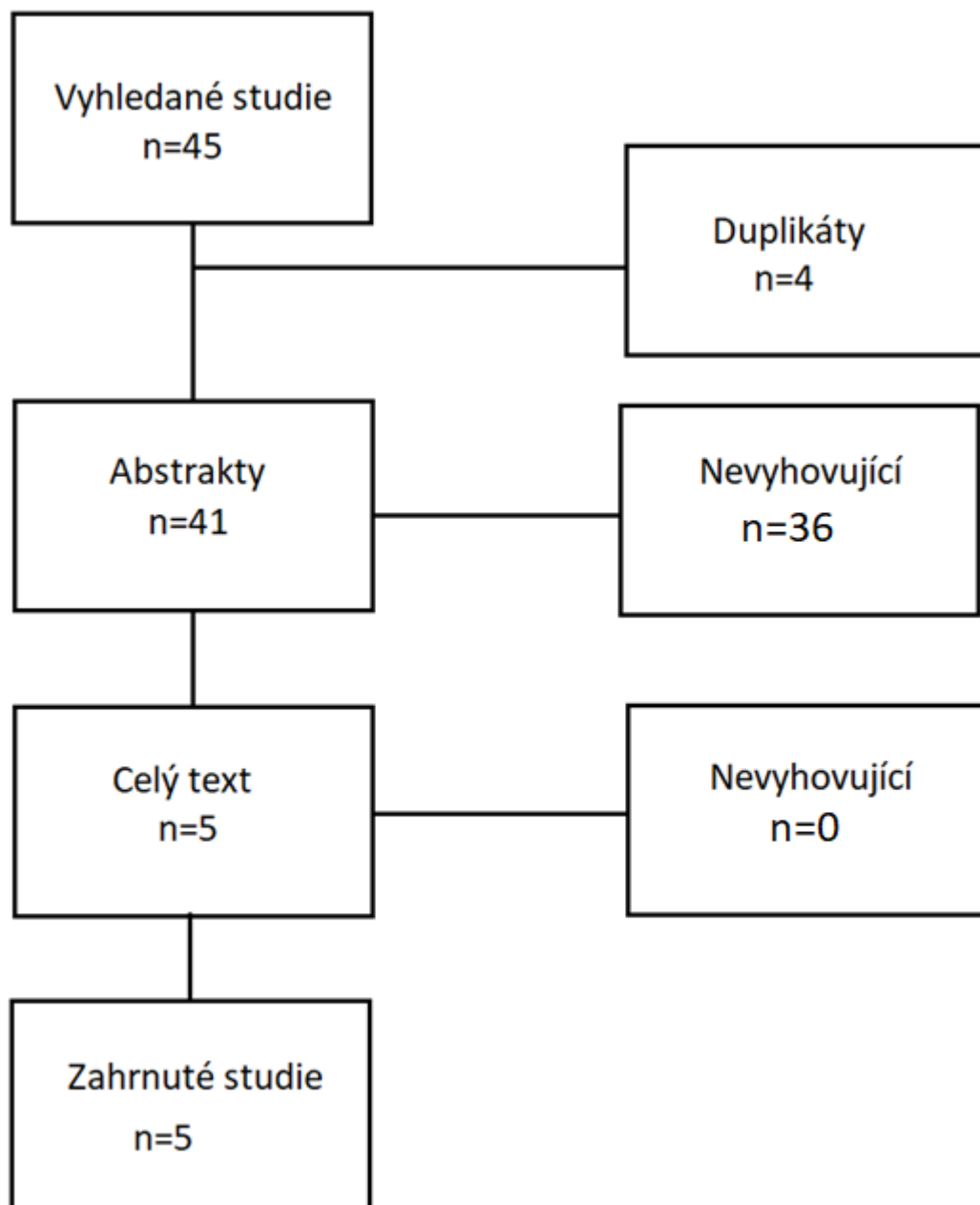
Tabulka 4 Výsledky vyhledávání v databázi Pubmed

Výsledky vyhledávání v databázi Pubmed		
Číslo	Klíčové slovo	Počet výsledků
1.	Adult	7.774.659
2.	Lung cancer	364.042
3.	Inoperable tumor	10.503
4.	1. OR 2. OR 3.	7.975.530
5.	Stereotactic irradiation with linear accelerator	1.243
6.	Standard radiotherapy with linear accelerator	1.442
7.	Survival	2.081.343
8.	Tumor control	590.169
9.	7. OR 8.	2.538.989
10.	4. AND 5. AND 6. AND 9.	31

Tabulka 5 Výsledky vyhledávání v databázi Scopus

Výsledky vyhledávání v databázi Scopus		
Číslo	Klíčové slovo	Počet výsledků
1.	Adult	8.092.439
2.	Lung cancer	417.080
3.	Inoperable tumor	11.189
4.	1. OR 2. OR 3.	8.365.798
5.	Stereotactic irradiation with linear accelerator	443
6.	Standard radiotherapy with linear accelerator	1.258
7.	Survival	1.677.045
8.	Tumor control	400.927
9.	7. OR 8.	1.992.364
10.	4. AND 5. AND 6. AND 9.	14

Při vyhledávání bylo nalezeno celkem 45 studií ze kterých jsem vyloučil 4 duplikáty, které byly nalezeny v obou databázích. Na základě názvu a abstraktu jsem vyloučil 36 studií, jelikož byli z hlediska stanovených kritérií nevyhovující. Po přečtení zbylých 5 celých textů jsem uvážil že jsou všechny vhodné. Postup je zobrazen v diagramu zahrnutých studií, tzv. flow chart graf (viz. obrázek 8)



Obrázek 8 Flow chart graf

Celkem jsem tedy do svého literárního přehledu zahrnul 5 studií (viz. tabulka 6)

Tabulka 6 Seznam zahrnutých studií

Číslo	Autor a rok vydání	Typ studie
1.	Aoki 2007	Randomizovaná
2.	Feddock 2013	Randomizovaná
3.	Aoki 2016	Randomizovaná
4.	Pokhrel 2016	Randomizovaná
5.	Singh 2019	Randomizovaná

1. Clinical outcome of stereotactic body radiotherapy of 54 Gy in nine fractions for patients with localized lung tumor using a custom-made immobilization system.

Studie provedena autory Masahiko Aoki a kol. publikována v roce 2007 měla za cíl prostudovat klinické výsledky SBRT za dodání 54 Gy v devíti frakcích u pacientů s lokalizovaným plicním nádorem pomocí imobilizačního systému vyrobeného na míru.

Metody: Subjektem bylo 19 pacientů, kteří měli lokalizovaný plicní nádor (11 primárních, 8 metastáz) v období od května 2003 do října 2005. Léčba byla prováděna na 19 plicních nádorech fixními vícenásobnými ne-koplanárními konformními paprsky se standardním lineárním urychlovačem. Izocentrická dávka byla 54 Gy v devíti frakcích. Medián celkové doby léčby byl 15 dní (rozmezí 11–22 dní). Během léčby byli všichni pacienti imobilizováni termopláštěm a opěrkou hlavy vyrobenou na míru.

Výsledky: Míra hrubé lokální kontroly nádoru byla 95 % během sledování 9,4–39,5 (střední 17,7) měsíců. Lokální recidiva byla zaznamenána pouze u jednoho pacienta při posledním sledování. Celková míra ve 2 letech byla 89,5 %. U 12 z 19 pacientů byla pozorována pneumonie a fibróza 1. stupně z ozáření. V této sérii nebyly pozorovány závažné včasné a pozdní komplikace související s léčbou.

Závěr: Stereotaktická tělová radioterapie 54 Gy v devíti frakcích dosáhla přijatelné kontroly nádoru bez závažných komplikací. Výsledky naznačují, že SBRT může být jednou z alternativ pro pacienty s lokalizovanými nádory plic.

Tabulka 7 Aoki 2007

	Kritéria	Ano	Ne	Nejasné	Neaplikovatelné	Komentář
1.	Je studie založena na náhodném, nebo pseudonáhodném vzorku?	X				
2.	Jsou kritéria pro zahrnutí do výzkumu jasně definována?	X				Nádory pacientů museli splňovat 5 kritérií
3.	Jsou zavádějící faktory identifikované a jsou stanovené strategie, jak s nimi naložit?		X			Není uvedeno
4.	Jsou výsledky hodnoceny za použití objektivních kritérií?	X				
5.	Jestliže je provedeno srovnání, je tu dostatečný popis skupin?		X			Není uveden věk ani průměrný věk pacientů
6.	Je sledování participantů prováděno dostatečně dlouhou dobu?	X				Pacienti byli sledováni 2 roky po ukončení ozařování
7.	Jsou výstupy participantů, kteří nedokončili, popsány a zahrnuty do analýzy?		X			Jsou zahrnuty pouze výstupy zahrnutých pacientů
8.	Jsou výsledky měřeny reliabilním způsobem?	X				
9.	Je použita vhodná statistická analýza?			X		

2. Stereotactic Body Radiation Therapy Can Be Used Safely to Boost Residual Disease in Locally Advanced Non-Small Cell Lung Cancer: A Prospective Study

Studie vytvořená autory Jonathan Feddock, a kol. z roku 2013 vyhodnocuje výsledky prospektivní, jednorázové studie hodnotící proveditelnost konvenční chemoradiace (CRT), po které následuje SBRT jako prostředek zvyšování dávky u pacientů se stádiem II-III nemalobuněčného karcinomu plic (NSCLC) s reziduálním onemocněním.

Metody: Pacienti bez metastatického onemocnění a s radiologickým důkazem omezeného reziduálního onemocnění (≤ 5 cm) v místě primárního nádoru a dobré nebo úplné uzlové odpovědi po standardní CRT na cílovou dávku 60 Gy byli považováni za způsobilí. Posílení SBRT bylo provedeno pro dosažení celkové kombinované dávky biologického ekvivalentu dávky > 100 Gy k reziduálnímu primárnímu nádoru, který se skládal z frakcí 10 Gy \times 2 (celkem 20 Gy) pro periferní nádory a frakcí 6,5 Gy \times 3 (celkem 19,5 Gy) pro mediální nádory pomocí definic protokolu 0813 radiační terapie onkologické skupiny. Primárním cílovým bodem byl vývoj radiační pneumonitidy (RP) stupně ≥ 3 .

Výsledky: Po průměrném sledování 13 měsíců se u 4 pacientů vyvinul akutní stupeň 3 RP a u 1 (2,9 %) se vyvinul pozdní a přetrvávající stupeň 3 RP. U žádného pacienta se nevyvinul stupeň 4 nebo 5 RP. Průměrná hodnota plicní dávky, V2,5, V5, V10 a V20 byla vypočtena pro zvýšení SBRT a žádná z nich nebyla významně predikována pro RP. Pouze vývoj věku ($P = 0,0147$), předchozí stav kouření ($P = 0,505$) a vysoká průměrná dávka plic CRT ($P = 0,0295$) byly významně spojeny s vývojem RP. V době analýzy byla pravděpodobnost lokální kontroly v místě primárního nádoru 82,9 %, přičemž pouze 6 pacientů vykazovalo recidivu.

Závěr: SBRT na bázi lineárního urychlovače pro zvyšování dávky omezeného zbytkového NSCLC po definitivní CRT bylo proveditelné a nezvyšovalo riziko toxicity nad riziko standardní radiační terapie.

Tabulka 8 Feddock 2013

	Kritéria	Ano	Ne	Nejasné	Neaplikovatelné	Komentář
1.	Je studie založena na náhodném, nebo pseudonáhodném vzorku?	X				
2.	Jsou kritéria pro zahrnutí do výzkumu jasně definována?	X				Pacienti museli splňovat určitá kritéria
3.	Jsou zavádějící faktory identifikované a jsou stanovené strategie, jak s nimi naložit?		X			Není uvedeno
4.	Jsou výsledky hodnoceny za použití objektivních kritérií?	X				
5.	Jestliže je provedeno srovnání, je tu dostatečný popis skupin?	X				
6.	Je sledování participantů prováděno dostatečně dlouhou dobu?	X				Pozorování každé 3 měsíce 1 rok po ozáření
7.	Jsou výstupy participantů, kteří nedokončili, popsány a zahrnuty do analýzy?		X			Jsou zahrnuty pouze výstupy zahrnutých pacientů
8.	Jsou výsledky měřeny reliabilním způsobem?	X				
9.	Je použita vhodná statistická analýza?	X				

3. Clinical outcome of stereotactic body radiotherapy for primary and oligometastatic lung tumors: a single institutional study with almost uniform dose with different five treatment schedules

Studie provedena autory Masahiko Aoki, Yoshiomi Hatayama, Hideo Kawaguchi, Katsumi Hirose, a další vypracované v roce 2016 vyhodnocuje klinické výsledky SBRT pro lokalizované primární a oligometastatické nádory plic pomocí hodnocení účinnosti a bezpečnosti 5 režimů s různou velikostí a počtem frakcí.

Metody: Zahrnuto bylo sto pacientů s primárním karcinomem plic ($n = 69$) nebo oligometastatickými nádory plic ($n = 31$), kteří podstoupili SBRT v období od května 2003 do srpna 2010. Medián věku byl 75 let (rozmezí 45–88). Z nich 98 bylo považováno za nemoc s lékařsky neoperabilním onemocněním, zejména kvůli chronickému onemocnění nebo pokročilému věku. SBRT byl prováděn s použitím 3 koplanárních a 3 ne-koplanárních pevných paprsků se standardním lineárním urychlovačem. Velikost frakcí byla zvýšena o 1 Gy a počet podaných frakcí byl snížen o 1 na každých 20 zahrnutých pacientů. Celkové cílové dávky byly mezi 50 a 56 Gy, podávány jako frakce 5–9. Předepsaná dávka byla definována v isocentru a střední celková délka léčby byla 10 dní (rozmezí 5–22).

Výsledky: Medián doby sledování pro přeživší byla 51,1 měsíců. Tříletá lokální recidiva u primárního karcinomu plic byla 6% a oligometastáz 3%. Tříletá míra lokální recidivy pro velikosti nádorů <3 cm a > 3 cm byla 3%, respektive 14% ($p = 0,124$). Kromě toho další faktory (velikost frakce, celková cílová dávka a BED₁₀) nebyly významnými prediktory místní kontroly. Radiační pneumonie (≥ 2 . stupeň) byla pozorována u 2 pacientů. Radiačně indukované zlomeniny žeber byly pozorovány u 22 pacientů. Jiné pozdní nežádoucí účinky vyšší než 2 nebyly pozorovány.

Závěr: V rámci tohoto datového souboru jsme nepozorovali reakci na dávku v hodnotách BED₁₀ mezi 86,4 a 102,6 Gy. SBRT s dávkami mezi 50 a 56 Gy, podávané v 5–9 frakcích, dosáhlo přijatelné kontroly nádoru bez závažných komplikací.

Tabulka 9 Aoki 2016

	Kritéria	Ano	Ne	Nejasné	Neaplikovatelné	Komentář
1.	Je studie založena na náhodném, nebo pseudonáhodném vzorku?	X				
2.	Jsou kritéria pro zahrnutí do výzkumu jasně definována?	X				Nádory pacientů museli splňovat 4 kritéria
3.	Jsou zavádějící faktory identifikované a jsou stanovené strategie, jak s nimi naložit?		X			Není uvedeno
4.	Jsou výsledky hodnoceny za použití objektivních kritérií?	X				
5.	Jestliže je provedeno srovnání, je tu dostatečný popis skupin?		X			Pouze druhy nádorů
6.	Je sledování participantů prováděno dostatečně dlouhou dobu?	X				Minimálně 6 měsíců
7.	Jsou výstupy participantů, kteří nedokončili, popsány a zahrnuty do analýzy?		X			Zahrnuty jsou pouze výstupy zahrnutých pacientů
8.	Jsou výsledky měřeny reliabilním způsobem?	X				
9.	Je použita vhodná statistická analýza?	X				

4. Assessment of Monte Carlo Algorithm for Compliance With RTOG 0915 Dosimetric Criteria in Peripheral Lung Cancer Patients Treated With Stereotactic Body Radiotherapy

Studie vytvořena autory Damodar Pokhrel a kol. z roku 2016 se zabývá zhodnocením dávkové distribuce Monte Carlo pomocí algoritmu X-ray Voxel Monte Carlo (XVMC) při léčbě pacientů s periferním plicním karcinomem pomocí SBRT s neprotokolovanou normalizací objemu a objemu a posoudit výsledky plánu s využitím dozimetrických kritérií shody RTOG 0915.

Metody: Klinicky optimální léčebné plány MC SBRT byly vytvořeny kombinací 3D nekoplanárních konformních oblouků a nepohybujících se statických paprsků pro lineární urychlovač Novalis-TX (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA) se systémem Brainlab (Brainlab iPlan) sestávajícím z více defenzivních multileafů kolimátory (HD-MLCs: šířka listu 2,5 mm v isocentru) a 6 paprsků MV-SRS (1000MU / min). Na okrajích bloků MLC za PTV nebyla aplikována žádná další rezerva pro nahromadění dávky. Všechny léčebné plány byly vypočteny na MeanIP obrazech pomocí algoritmu XVMC pro korekce heterogenity s velikostmi mřížky dávky $2,0 \times 2,0 \times 2,0 \text{ mm}^3$, rozptylem 2% (relativní standardní odchylka průměru), dávkou na médium a přesností optimalizovanou pro modelování MLC, zatímco MLC je modelováno s plným jazykem a drážkou.

Výsledky: Deset z dvaceti pacientů mělo malé odchylky v R100%. Průměrná hodnota R100% byla $1,25 \pm 0,09$, což vedlo ke standardní odchylce (STDEV) asi 7% od střední hodnoty. Nebylo však pozorováno žádné závažné porušení. Menší odchylky v R100% byly lékaři klinicky akceptovány a nemocní byli léčeni. Odchylky mohou být primárně způsobeny základními charakteristickými vlastnostmi algoritmu XVMC pro predikci distribuce dávky. Základní charakteristiky by mohly být vysvětleny přesnějším modelováním a) sekundárních rozptylových fotonů a b) laterální elektronové rovnováhy, konkrétně na rozhraní plic a tumoru při použití algoritmu XVMC.

Závěr: Předběžné dozimetrické výsledky pro naše výpočty dávky iPlan XVMC s normalizací DVH naznačují, že ne všechna kritéria dozimetrické shody RTOG 0915 byla splněna v našich analýzách u 20 pacientů podstupujících SBRT pro rakovinu plic, ačkoli nedošlo k významným odchylkám. Avšak u většiny pacientů (tj. 75% populace pacientů) byly pozorovány menší odchylky v R100%, R50% a D 2cm, a to tak či onak.

Tabulka 10 Pokhrel 2016

	Kritéria	Ano	Ne	Nejasné	Neaplikovatelné	Komentář
1.	Je studie založena na náhodném, nebo pseudonáhodném vzorku?	X				
2.	Jsou kritéria pro zahrnutí do výzkumu jasně definována?	X				NSCLC I. A II. Stupně
3.	Jsou zavádějící faktory identifikované a jsou stanovené strategie, jak s nimi naložit?		X			Není uvedeno
4.	Jsou výsledky hodnoceny za použití objektivních kritérií?	X				
5.	Jestliže je provedeno srovnání, je tu dostatečný popis skupin?		X			Je pouze uvedena diagnóza
6.	Je sledování participantů prováděno dostatečně dlouhou dobu?			X		Není uvedena doba sledování
7.	Jsou výstupy participantů, kteří nedokončili, popsány a zahrnuty do analýzy?		X			Zahrnuty jsou pouze výstupy zahrnutých pacientů
8.	Jsou výsledky měřeny reliabilním způsobem?	X				
9.	Je použita vhodná statistická analýza?			X		

5. Inoperable Pulmonary Carcinoid Tumors: Local Control Rates With Stereotactic Body Radiotherapy/Hypofractionated RT With Image-Guided Radiotherapy

Tato studie od autorů Deepinder Singh, Yuhchyan Chen, Michael A. Cummings a Michael T. Milano byla vytvořena roku 2019. Operace je standardem při péči o plicní karcinoidní nádory. Možnosti pacientů, kteří jsou však z interních důvodů inoperabilní je málo. Uvádějí se zde výsledky inoperabilních pacientů s karcinomem plic léčených SBRT.

Metody: Z institucionální databáze byli retrospektivně identifikováni pacienti léčení SBRT pro plicní karcinoidní nádory od roku 2007 do roku 2017. Dalšími kritérii zařazení byla předchozí histopatologická diagnóza, věk starší 18 let a Karnofsky výkonnostní stav ≥ 70 .

Výsledky: Deset pacientů bylo léčeno pro 12 plicních karcinoidních lézí 5 až 10 frakcemi SBRT. Jejich střední věk byl 66,5 let (rozmezí 40–83 let) a nejvíce se projevovaly nespecifickými příznaky kašle, dušnosti nebo hemoptýzy. Patologie odhalila typický karcinoid pro 9 pacientů, 10. s atypickou histologií. Střední předepsaná dávka pro všechny pacienty byla 50 Gy v 5 až 10 frakcích (rozmezí 40-60 Gy) s SBRT / hypofractionovaným zářením s denní radioterapií řízenou obrazem (IGRT) dodávanou pomocí lineárního urychlovače s monitorováním dýchání. Čtyři pacienti dostali 10 frakční hypofrakční záření s denním IGRT a 6 dalších dostalo 5 frakční SBRT. Sledování po SBRT / hypofractionované IGRT se pohybovalo od 6 do 56 měsíců (medián, 25 měsíců). Čtyři pacienti byli při posledním sledování naživu se stabilním onemocněním. Dva pacienti zemřeli na progresi onemocnění v mediastinálních lymfatických uzlinách i v plicích. Oba se rozhodli pro paliativní léčbu. Ostatní 4 pacienti zemřeli na komorbidní onemocnění, ale při posledním sledování měli stabilní onemocnění. Střední celkové přežití bylo 27,1 měsíce (rozmezí 5,5-56 měsíců).

Závěr: Plicní karcinoidní nádory léčené SBRT mají slibnou míru kontroly nádorů a přežití.

Tabulka 11 Singh 2019

	Kritéria	Ano	Ne	Nejasné	Neaplikovatelné	Komentář
1.	Je studie založena na náhodném, nebo pseudonáhodném vzorku?	X				
2.	Jsou kritéria pro zahrnutí do výzkumu jasně definována?	X				Histologické potvrzení karcinoidního nádoru
3.	Jsou zavádějící faktory identifikované a jsou stanovené strategie, jak s nimi naložit?		X			Není uvedeno
4.	Jsou výsledky hodnoceny za použití objektivních kritérií?	X				
5.	Jestliže je provedeno srovnání, je tu dostatečný popis skupin?		X			Pouze rozdělení dle nádoru
6.	Je sledování participantů prováděno dostatečně dlouhou dobu?	X				6 až 56 měsíců
7.	Jsou výstupy participantů, kteří nedokončili, popsány a zahrnuty do analýzy?		X			Zahrnuty jsou pouze výstupy zahrnutých pacientů
8.	Jsou výsledky měřeny reliabilním způsobem?	X				
9.	Je použita vhodná statistická analýza?			X		

Tabulka 12 Souhrnné porovnání

	Kritéria	Aoki 2007	Feddock 2013	Aoki 2016	Pokhrel 2016	Singh 2019
1.	Je studie založena na náhodném, nebo pseudonáhodném vzorku?	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
2.	Jsou kritéria pro zahrnutí do výzkumu jasně definována?	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
3.	Jsou zavádějící faktory identifikované a jsou stanovené strategie, jak s nimi naložit?	NE	NE	NE	NE	NE
4.	Jsou výsledky hodnoceny za použití objektivních kritérií?	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
5.	Jestliže je provedeno srovnání, je tu dostatečný popis skupin?	NE	ANO	NE	NEJASNÉ	NE
6.	Je sledování participantů prováděno dostatečně dlouhou dobu?	ANO	ANO	ANO	NE	ANO
7.	Jsou výstupy participantů, kteří nedokončili, popsány a zahrnuty do analýzy?	NE	NE	NE	NE	NE
8.	Jsou výsledky měřeny reliabilním způsobem?	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
9.	Je použita vhodná statistická analýza?	NEJASNÉ	ANO	ANO	NEJASNÉ	NEJASNÉ

3 DISKUZE

Cílem mé bakalářské práce bylo představit stereotaktické ozařování a zhodnotit efektivitu stereotaktického ozařování lineárním urychlovačem za pomoci rešerší publikací a literárního přehledu. Při diagnostikovaném karcinomu plic má pacient na výběr, jestli chce podstoupit operaci nebo ne. U některých pacientů je možné že jsou z nějakého důvodu inoperabilní, jako například pokročilý věk, problémy s dýcháním. Pokud pacient nechce podstoupit operaci nebo je z nějakého důvodu inoperabilní má na výběr z několika málo možností léčby, např. chemoterapie, radioterapie, kombinovaná chemoterapie s radioterapií nebo stereotaktická radioterapie. Některé nádory jsou však radiorezistentní (např. nemalobuněčný karcinom plic (NSCLC)) a proto je potřeba u radioterapie překonat rezistenci nádorových buněk za použití vysokých dávek záření.

Studie Feddock a kol. (2013) představuje hlavně přínos SBRT jako boost po použití jiných terapií jako je chemoterapie a radioterapie s chemoterapií u pokročilejších stádií NSCLC (IIA, IIB, IIIA) při použití biologické efektivní dávky (BED) >100 Gy. Výsledky této studie ukazují že lokální kontrola nádoru se po třech letech sledování od konce ozařování pohybuje u pacientů od 80 % do 95 % a celkové přežití je 70,8 %. Standartní radioterapii, která má celkové přežití 30 % je tedy na nižší úrovni než SBRT. Oproti tomu studie Aoki 2016 popisuje výsledky pouze SBRT ozařování pacientů s NSCLC nižšího stupně (IA, IB). Výsledky této studie prokazují, že kontrola nádoru s BED <100 Gy kolem 90 % a s BED >100 Gy vykazuje kontrolu nádoru až 95 % po třech letech. Celkové přežití do pěti let je v tomto případě 68,5 % oproti standartní radioterapii s 45 %. Studie Aoki 2007, Singh 2019 a Pokhrel 2016 používají SBRT pro ozařování plicních nádorů i metastáz kdy používají BED <100 Gy a kontrola nádorů se pohybuje v rozmezí 90-95 % a celkové přežití se pohybuje v rozmezí 80-90 %.

Ve všech studiích se objevila zmínka o pacientech s postradiační reakcí v podobě radiační pneumonitidy nebo fraktury žeber. Fraktury žeber byly ojedinělé a nepředstavovali vážnější riziko pro pacienta. Radiační pneumonitida se objevila nejhůře ve třetím stupni u přibližně 11 % pacientů se zlepšením po šesti měsících.

Postradiační reakce se objevují hlavně díky tomu, že při ozařování plic lineárním urychlovačem nejsme schopni dodat 100 % záření pouze do objemu nádoru. Způsobuje to zejména pohyb nádoru při dýchání, kde nejsme schopni sledovat přesné umístění v reálném čase. Můžeme sice sledovat pohyb nádoru pomocí 4DCT ale pouze při plánování kdy se

vymezí úsek dýchacího cyklu ve kterém se ozařujeme. Tento problém se dá lépe zvládnout se CyberKnife systémem Synchrony[®], Xsight Lung Tracking Systém nebo CyberKnife M6, které dokážou sledovat a přizpůsobit se pohybu nádoru v reálném čase.

4 ZÁVĚR

Stereotaktická radioterapie je, co se týče lokální kontroly nádoru a celkové přežití do pěti let, na vyšší úrovni než standartní radioterapie. Díky vynikající lokální kontrole a celkovému přežití je stereotaktické ozařování řazeno mezi standartní metody léčby pro inoperabilní NSCLC. Nicméně první volbou onkologických lékařů zůstává nadále chirurgická resekce.

5 POUŽITÁ LITERATURA

- BURKOŇ, Petr, Marek SLÁVIK, Tomáš KAZDA, Petr POSPÍŠIL, Tomáš PROCHÁZKA, Miloš VRZAL a Pavel ŠLAMPA, 2019. Stereotactic Body Radiotherapy – Current Indications. *Klinická Onkologie* [online]. **32**(1) [cit. 2020-05-21]. DOI: 10.14735/amko201910. ISSN 0862495X. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/files/klinicka-onkologie/449/5458.pdf>
- DELANEY, Alexander R., Max DAHELE, Jim P. TOL, Ben J. SLOTMAN a Wilko F. A. R. VERBAKEL, 2017. Knowledge-based planning for stereotactic radiotherapy of peripheral early-stage lung cancer. *Acta Oncologica* [online]. 56(3), 490-495 [cit. 2020-02-29]. DOI: 10.1080/0284186X.2016.1273544. ISSN 0284-186X. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0284186X.2016.1273544>
- FELTL, David, Jakub CVEK a Lukáš KNYBEL, 2019. Stereotaktická radioterapie. Praha: Mladá fronta. Edice postgraduální medicíny. ISBN 978-80-204-4959-7.
- GUCKENBERGER, M., N. ANDRATSCHKE, H. ALHEIT, R. HOLY, C. MOUSTAKIS, U. NESTLE a O. SAUER, 2014. Definition of stereotactic body radiotherapy. *Strahlentherapie und Onkologie* [online]. 190(1), 26-33 [cit. 2020-02-29]. DOI: 10.1007/s00066-013-0450-y. ISSN 0179-7158. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00066-013-0450-y>
- HYNKOVÁ, Ludmila a Pavel ŠLAMPA, 2012. Základy radiační onkologie. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-6061-6.
- LO, Simon S., 2012. Stereotactic body radiation therapy. 1. New York: Springer. Medical radiology. ISBN 978-3-642-25604-2.
- LOCKWOOD, C., K. PORRITT, Z. MUNN, L. RITTENMEYER, S. SALMOND, M. BJERRUM, H. LOVEDAY, J. CARRIER, D. STANARD Chapter 2: Systematic reviews of qualitative evidence. *Joanna Briggs Institute Reviewer's Manual*. [online] The Joanna Briggs Institute, 2017. [cit. 2020-02-29] Dostupné z: <https://wiki.joannabriggs.org/display/MANUAL/Chapter+2%3A+Systematic+reviews+of+qualitative+evidence>
- ŠLAMPA, Pavel a Jiří PETERA, 2007. Radiační onkologie. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-469-0.
- UK SABR Consortium. *Stereotactic Ablative Radiation Therapy (SABR) v6.1* [online]. January, 2019 [cit. 2020-05-15] Dostupné z: <https://www.sabr.org.uk/wp-content/uploads/2019/04/SABRconsortium-guidelines-2019-v6.1.0.pdf>