



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Extrakraniální stereotaktická radioterapie v ČR a na Slovensku

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: **RADIOLOGICKÁ ASISTENCE**

Autor: Radek Míka

Vedoucí práce: Mgr. Eva Stýblová

České Budějovice 2025

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem „*Extrakraniální stereotaktická radioterapie v ČR a na Slovensku*“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 30. dubna 2025

.....

Míka Radek

Poděkování

Rád bych poděkoval Mgr. Evě Stýblové za laskavé a odborné vedení mé práce a za poskytování cenných rad. Dále bych chtěl poděkovat panu Peteru Zgolovi, dipl. r.a. za spolupráci s dotazníky a poskytnutí cenných informací do mé práce.

Extrakraniální stereotaktická radioterapie v ČR a na Slovensku

Má bakalářská práce na téma Extrakraniální stereotaktická radioterapie (SBRT) v ČR a na Slovensku se zabývá popisem samotného vyšetření, jejím průběhem a jak léčba působí na pacienty. SBRT představuje vysoce přesnou metodu radioterapie, která umožňuje aplikaci velmi vysokých dávek ionizujícího záření na přesně definovanou nádorovou lézi s minimálním poškozením okolních zdravých tkání. Tato práce se zaměřuje na komplexní přehled principů SBRT, její historický vývoj, technologické zázemí a klinické využití. V teoretické části je popsána historie stereotaktické chirurgie od počátků až po zavedení SBRT jako léčebné metody. Podrobně jsou rozebrány zobrazovací techniky, plánování léčby, frakcionace, technologie jako LINAC, CyberKnife či protonová terapie a jejich role v rámci SBRT.

Praktická část se věnuje indikacím SBRT pro různé typy nádorových onemocnění – od primárních a sekundárních nádorů plic, jater, slinivky až po metastatické postižení páteře, skeletu a lymfatických uzlin. Součástí práce je také srovnání SBRT s dalšími terapeutickými metodami (chirurgie, IMRT, brachyterapie) a analýza vedlejších účinků, včetně akutní a chronické toxicity. Nechybí ani kapitola věnovaná budoucím směrům vývoje SBRT, jako je využití umělé inteligence a pokročilých zobrazovacích technologií, a přehled současného stavu SBRT na Slovensku.

Metoda použitá ke zhotovení praktické části se skládala z dotazníkového šetření. Data 11 ze 13 dotazníků bylo získáno z Ústřední vojenské nemocnice v Praze (ÚVN) na oddělení Ústavu radiační terapie. Dotazníky se k respondentům dostaly skrze pana Petera Zgolu, dipl. r.a. Poslední 2 dotazníky byly získány od známých a kamarádů, kteří podstoupili ozařování.

Cílem práce je ukázat, že SBRT je efektivní, časově úsporná a šetrná metoda pro pacienty, která má své pevné místo v moderní onkologii a nabízí perspektivní možnosti do budoucna.

Klíčová slova

radioterapie; frakce; dávka; záření; stereotaxe; nádor; nežádoucí účinky

Extracranial stereotactic body radiotherapy in Czech Republic and Slovakia

My bachelor thesis on the topic *Extracranial Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) in the Czech Republic and Slovakia* focuses on describing the examination itself, the treatment process, and how the therapy affects patients. SBRT is a highly precise method of radiotherapy that enables the delivery of very high doses of ionizing radiation to a well-defined tumor lesion while minimizing damage to surrounding healthy tissues. This thesis provides a comprehensive overview of the principles of SBRT, its historical development, technological background, and clinical applications.

The theoretical part outlines the history of stereotactic surgery from its beginnings to the implementation of SBRT as a treatment method. It discusses in detail the imaging techniques, treatment planning, fractionation, and technologies such as LINAC, CyberKnife, and proton therapy, and their roles within SBRT.

The practical part addresses the indications of SBRT for various types of cancers – from primary and secondary tumors of the lungs, liver, and pancreas to metastatic involvement of the spine, skeleton, and lymph nodes. The thesis also includes a comparison of SBRT with other therapeutic methods (surgery, IMRT, brachytherapy) and an analysis of side effects, including acute and chronic toxicity. A chapter is also dedicated to future directions in SBRT, such as the use of artificial intelligence and advanced imaging technologies, as well as an overview of the current state of SBRT in Slovakia.

The practical part was carried out through a questionnaire survey. Data from 11 out of 13 questionnaires were collected from the Central Military Hospital in Prague (ÚVN), Department of Radiation Therapy, with the assistance of Mr. Peter Zgola, dipl. r.a. The remaining two questionnaires were obtained from acquaintances and friends who underwent radiotherapy.

The aim of the thesis is to demonstrate that SBRT is an effective, time-efficient, and patient-friendly method that holds a significant place in modern oncology and offers promising prospects for the future.

Key words

radiotherapy; fraction; dose; radiation; stereotaxis; tumor; side effects

Obsah

ÚVOD	8
1 TEORETICKÁ ČÁST	9
1.1 Historie	9
1.2 Frakcionace a příprava ozařovacího plánu	10
1.3 Technologie a zařízení	13
1.4 Indikace a kontraindikace a srovnání SBRT s dalšími léčebnými metodami	16
1.5 Výsledky a účinnost SBRT	21
1.6 Vedlejší účinky a komplikace SBRT	24
1.7 Vedlejší účinky nesterotaktické léčby SBRT	29
1.8 Budoucí směřování SBRT	30
1.9 SBRT na Slovensku	30
2 CÍL PRÁCE A VÝZKUMNÁ OTÁZKA	32
2.1 Cíl práce	32
2.2 Výzkumná otázka	32
3 METODIKA	33
4 VÝSLEDKY	34
5 DISKUZE	47
6 ZÁVĚR	49
7 SEZNAM LITERATURY	50
8 SEZNAM PŘÍLOH	58

ÚVOD

Extrakraniální stereotaktická tělesná radioterapie (SBRT) je termín označující metodu ozařování soustředěnou na přesné ozáření lokalizované nádorové léze velmi vysokou dávkou, a to mimo oblast hlavy. Při tomto ozařování jsou aplikovány velmi vysoké dávky ionizujícího záření za použití malého počtu frakcí (jedna až pět frakcí). Vysokými dávkami se usiluje o ablační účinek (odstranění) nádoru. Při použití takto vysoké dávky záření umožňuje malý počet frakcí regeneraci normální zdravé tkáně.

Stereotaktickou metodou jsou léčeny např. nádorové léze v hlavě a krku, v plicích, v játrech, ve slinivce, v prostatě, v ledvinách, v lymfatických uzlinách nebo nádorové léze páteře. Bezpečné podání velmi vysokých dávek na frakci může vyžadovat znehybnění pacienta, a to především vyžaduje přesnou lokalizaci a verifikaci cílového objemu před a v průběhu ozařování. Důležitou vlastností stereotaktického ozařování je schopnost vytvořit výrazný isodózní gradient mimo cílový objem (tedy velkou změnu v intenzitě mezi zdravou tkání a mezi oblastí cílového objemu). Tento gradient pak zaručí doručení vysoké dávky záření přímo do cílového objemu a zasažení okolní zdravé tkáně dávkou minimální.

Myšlenku stereotaktické chirurgie poprvé popsali a použili pánové Robert Henry Clarke, britský chirurg a neurochirurg Victor Horsley v roce 1906. Vyvinuli metodu lokalizace hluboko uložených mozkových lézí přiřazením souřadnic ve třech rovinách k neuroanatomickým strukturám na základě lebečních orientačních bodů. Myšlenku stereotaktické chirurgie doplnil stereotaktickou radiochirurgií, popsal a aplikoval Lars Leksell a to o mnoho let později. (Martin et al., 2010), (Burkoň et al., 2019), (Jensen et al., 1996)

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Historie

Metoda SBRT se poprvé objevila roku 1906 a zasloužila se o to dvojice Horsley a Clarke. Victor Horsley "*pioneer of neurological surgery*" britský vědec, sehrál jednu z klíčových rolí při formování neurochirurgické praxe a mezi jeho hlavní přínosy patří např. první lamiektomie pro odstranění nádorů páteře (zákrok na páteři, při kterém se odstraní obratlový oblouk s trnovým výběžkem v obratlích pro získání prostoru pro operaci míchy). Robert Henry Clarke, britský chirurg, zasluhující se o konstrukci přístroje, který umožnil Victoru Horsleymu vytvářet elektrolytické léze v jaderných oblastech mozečku. Společně tyto pánové vytvořili tzv. Horsley-Clarke rámec v roce 1906. Rámec byl používán k vytváření lézí CNS zvířat. Horsley-Clarke rámec byl použit poprvé na lidech Robertem Haynem a Fredericem Gibbem pro poskytnutí lokalizace pneumoencefalografie potvrzující polohu hloubkových elektrod. Tyto události vedli k vývoji stereotaktických rámců, které se používali na léčbu epilepsie a poruchy pohybu u lidí. (Martin et al., 2010), (Tan et al., 2002), (Compston, 2007)

V roce 1951 švédský neurochirurg Lars Leksell se stal prvním člověkem, který zavedl termín "radiochirurgie". Termín představuje spojení dvou oblastí, stereotaxe a radioterapie. Používal pevný kovový rám upevněn na lebce, kde malé nitrolební cíle byly lokalizovány k rámu a dostaly záření o vysokodávkové frakci. Původně se používalo rentgenové záření velikosti 250 kV. V roce 1967 byl vyvinut první prototyp gama nože využívající 179 zdrojů Co-60 přesně zaměřených na cílový objem. Gama nůž se stal vysoce používanou technikou pro stereotaktickou radiochirurgii s přesností v řádech submilimetrů. V roce 1995 Hamilton a spol. navrhli metodu, jak dodávat stereotaktickou radioterapii. Metoda se opírala o LINAC (lineární snímač) a byla zaměřena na míšní léze pomocí prototypu „extrakraniálního stereotaktického rámu“. Transkutánní upevnění rámu k trnovým výběžkům nad a pod cílovým objektem zajistilo jejich imobilizaci. Proces byl sice časově náročný a nepohodlný pro pacienta, ale s přesností léčby na 2 mm. (Heck et al., 2007), (Hamilton et al., 1995)

Zobrazovací technika v radioterapii vznikla společně s vývojem elektronického portálového zobrazovacího zařízení plus softwaru pomáhající při kvantitativních hodnocení nastavení pacienta. Za zmínku stojí i přechod z off-line k on-line zobrazení. Zavedení kovových fiduciálních značek se zlepšila identifikace nádorů. Značky představují objekty, vkládající se do nebo blízko nádoru, aby sloužily jako referenční body během zobrazování v radioterapii.

Perkutánní zavedení fiduciálních značek může být technicky náročné. Zejména v horní části břicha, kde může být nutné procházet dalšími orgány v důsledku dosažení na cílovou lézi. V plicích se objevily problémy ohledně komplikací spojených s perkutánní implantací fiduciálních značek. Takovým hlavním problémem je incidence pneumotoraxu. Pneumotorax vyžaduje drenáž v rozmezí 25–40 %. Techniky zavedení se pořád zlepšují, aby se zamezilo takovýmto problémům. Van der Voort van Zyp a spol. použili buď perkutánní, nebo vaskulární přístup v závislosti na pneumotoraxu. Pouze 4 ze 70 pacientů se prokázal pneumotorax. Ale pouze u jednoho z těchto případů byla nutná drenáž hrudníku. (Kupelian et al., 2007), (Collins et al., 2009), (van der Voort van Zyp et al., 2009)

1.2 Frakcionace a příprava ozářovacího plánu

SBRT se především zaměřuje na přesné ozáření malých cílových oblastí vysokými dávkami záření a to za použití menšího počtu frakcí (obvykle 1 až 5). Pro správné ozáření pacienta je důležitá jeho pevná fixace za pomoci fixačních pomůcek (např. termoplastické fixační masky, SBRT lůžka s vakuovanou fixační podložkou, Active Breathing Coordinator – ABC). Dále pak pro přesné určení objemu se používá ve 3D pomocí 3D/4D CT zobrazení, případně ve spojení s MRI či PET/CT zobrazením. Zajištění správné polohy pacienta před a během ozáření se používá obrazem řízená radioterapie (Image Guided Radiotherapy – IGRT). (Nové techniky radioterapie, 2017), (Protokol pro stereotaktickou radioterapii)

5 frakcí				
Sériové orgány	Objem	Max dávka v objemu [Gy]	Max. bodová dávka** [Gy]	Komplikace (≥ Grade 3)
Optické dráhy	< 0.2 cc	23.0 Gy (4.6Gy/fx)	25.0 Gy (5.0Gy/fx)	neuritis
Kochlea			25.0 Gy (5.0Gy/fx)	hearing loss
Mozkový kmen	< 0.5 cc	23.0 Gy (4.6Gy/fx)	31.0 Gy (6.2Gy/fx)	cranial neuropathy
Mícha a prodloužené mícha	< 0.35 cc < 1.2 cc	23.0 Gy (4.6Gy/fx) 14.5 Gy (2.9Gy/fx)	30.0 Gy (6.0Gy/fx)	myelitis
Kauda Equina / pl. sacralis	< 5 cc	30.0 Gy (6.0Gy/fx)	32.0 Gy (6.4Gy/fx)	neuritis
Sakrální Plexus	< 5 cc	30.0 Gy (6.0Gy/fx)	32.0 Gy (6.4Gy/fx)	neuropathy
Jícen*	< 5 cc	19.5 Gy (3.9Gy/fx)	35.0 Gy (7.0Gy/fx)	stenosis / fistula
Brachiální Plexus	< 3 cc	27.0 Gy (5.4Gy/fx)	30.5 Gy (6.1Gy/fx)	neuropathy
Srdce / Perikard	< 0.5 cc	27.0 Gy (5.4Gy/fx)	29.0 Gy (5.8Gy/fx)	pericarditis
Velké cévy	< 10 cc	47.0 Gy (9.4Gy/fx)	53.0Gy (10.6Gy/fx)	aneurysm
Trachea a velké bronchy*	< 0.5 cc < 4 cc	32.0 Gy (6.4Gy/fx) 16.5 Gy (3.3Gy/fx)	40.0 Gy (8.0Gy/fx)	stenosis / fistula
Malé bronchy	< 0.5 cc	21.0 Gy (4.2Gy/fx)	33.0 Gy (6.6Gy/fx)	stenosis with atelectasis
Žebro, hrudní stěna	< 0.5 cc < 1 cc	39.0 Gy (7.8Gy/fx) 35.0 Gy (7.0Gy/fx)	43.0 Gy (8.6Gy/fx)	pain or fracture
Kůže	< 10 cc	36.5 Gy (7.3Gy/fx)	39.5 Gy (7.9Gy/fx)	ulceration
Žaludek	< 1 cc < 5 cc	30.0 Gy (6.0Gy/fx) 25.0 Gy (5.0Gy/fx)	32.0 Gy (6.4Gy/fx)	ulceration / fistula
Duodenum*	< 1 cc < 5 cc < 10 cc	26.0 Gy (5.2Gy/fx) 18.0 Gy (3.6Gy/fx) 12.5 Gy (2.5Gy/fx)	32.0 Gy (6.4Gy/fx)	ulceration
Jejunum / Ileum*	< 1 cc < 5 cc	30.0 Gy (6Gy/fx) 19.5 Gy (3.9Gy/fx)	35.0 Gy (7.0Gy/fx)	enteritis /obstruction
Tračník, rektum	< 0.5 cc < 20 cc	32.0 Gy (6.4Gy/fx) 25.0 Gy (5.0Gy/fx)	38.0 Gy (7.6Gy/fx)	colitis / fistula
Společný žlučovod			50.0Gy (10.0Gy/fx)	proctitis / fistula
Stěna močového měchýře	< 15 cc	18.0 Gy (3.6Gy/fx)	38.0 Gy (7.6Gy/fx)	cystitis / fistula
Penilní bulbus	< 3 cc	30.0 Gy (6.0Gy/fx)	50.0Gy (10.0Gy/fx)	impotence
Hlavice femurů	< 10 cc	30.0 Gy (6.0Gy/fx)		necrosis
Hilus ledviny	< 2/3 volume	23.0 Gy (4.6Gy/fx)		malignant hypertension
Ureter	< 1 cc	40.0 Gy (8.0Gy/fx)		Stenosis, fistula
Paralelní orgány	Kritický objem [cc]	Max dávka [Gy] v kritickém objemu		Komplikace (≥ Grade 3)
Plíce (pravá + levá)	1500 cc 1000 cc	12.5 Gy (2.5 Gy/fx) 13.5 Gy (2.7 Gy/fx)		basic lung function pneumonitis
Játra	700 cc	21.0 Gy (4.2 Gy/fx)		basic liver function
Kůra ledvin	200 cc	17.5 Gy (3.5 Gy/fx)		basic renal function

Obrázek 1: Dávky na rizikové struktury; Protokol pro stereotaktickou radioterapii

Příprava ozařovacího plánu je jedna z nejdůležitějších částí samotné léčby. Ozařovací plán představuje počet ozařovaných polí, velikost svazku a intenzitu jednotlivých polí. Každý ozařovací plán se musí schválit skupinou kvalifikovaných lékařů a fyziků, kteří posuzují

kvalitu daného ozařovacího plánu. Jedna z mnoha částí ozařovacího plánu je plánovací CT, kde se dle umístění cílového objemu používají příslušné fixační pomůcky pro SBRT (např. termoplastické fixační masky, SBRT lůžka s vakuovanou fixační podložkou, ...). Pro skenování se používají protokoly dle lokality cílového objemu. Izocentrum je umístěno do středu cílového objemu s ohledem na možné kolize gantry urychlovače s pacientem nebo případně s fixačními pomůckami. Další částí je tzv. motion management neboli řízení pohybu. Používá se k minimalizaci vlivů pohybů pacienta nebo jeho vnitřních orgánů během procesu ozařování. Pohyb může být způsobem např. dýcháním, srdečním tepem nebo trávicími procesy. Může dojít k posunu cílové oblasti a dojít k ohrožení přesnosti a účinnosti léčby. Proto je také důležité poučit pacienta před začátkem vyšetření o správném dýchání a provést nácvik. U LINAC je motion management důležitým aspektem pro správné a přesné ozáření nádorů, které se pohybují vlivem dýchacích pohybů pacienta. Používají se určité metody k řízení pohybu:

1. Gating; gating zesynchronizuje záření s konkrétní fází dýchání pacienta
2. Tracking; díky trackingu sledujeme polohu nádoru pomocí zobrazovacích technik jako je CT scan
3. Kompenzace pohybu; během pohybu pacienta dochází k adaptivnímu řízení záření
4. Fixace pacienta; pacient se fixuje pomocí vakuovaných lůžek nebo dýchacích kontrolních systémů (Cammin, 2022)

Dále do ozařovacího plánu spadá contouring. Užívá se pro označení cílové oblasti, které mají být ozářeny a k určení citlivých okolních orgánů a tkání, které je třeba chránit před účinky záření. Je vhodné konvertovat cílové struktury do vysokého rozlišení (funkce Convert to High Resolution Segment). Jedná se o GTV (Gross Tumor Volume = nádorový objem), CTV (Clinical Target Volume = klinický cílový objem), PTV (Planning Target Volume = plánovací cílový objem) a některé OAR (Organs At Risk = rizikové orgány; např. optické nervy). Zakreslují se všechny fixační pomůcky, kterými prochází svazek záření (stůl, deska SBRT lůžka, vakuová podložka, apod.). Všechny fixační pomůcky musí mít v typu struktury uvedeno Support a musí mít přiřazenou odpovídající hodnotu HU (typicky deska SBRT lůžka: - 750 HU, vakuová podložka: - 900 HU). Zohledňují se respirační pohyby. Pro nádory plic se užívá 4D-CT zobrazování zachycující pohyb nádoru během dýchání. Zachytí se celý rozsah pohybu nádoru a definujeme ho pomocí ITV (Internal Target Volume = Vnitřní Cílový Orgán). K přesnému sladění anatomie pacienta s naplánovaným cílovým objemem (což dále

zvyšuje přesnost ozáření) se využívá radioterapie řízená obrazem tzv. IGRT (Image Guided Radiotherapy = Radioterapie naváděna obrazem). Při plánování je důležité brát ohledy na předpis dávky, který se liší oproti normofrakcionace. Dávka se předepisuje na izodózu (cca 60 až 90 %, typicky 80 %). Předepsaná izodóza musí být zaznamenána v ozařovacím protokolu. V plánovacím systému Eclipse se předpis provede na kartě Dose zadáním předepsané izodózy do pole Treatment Percentage (%). Výsledkem je nehomogenita v cílovém objemu cca 25% a prudký spád dávky mimo cílový objem. Při hodnocení ozařovacího plánu je potřeba, aby předepsaná izodóza dosahovala alespoň 98 % PTV a maximální dávka by měla být uvnitř CTV (resp. GTV). Povrchová dávka na kůži by měla být menší než 30 % předepsané dávky a při hodnocení je třeba vzít v potaz navýšení povrchové dávky ozařovacím stolem či fixačními pomůckami. (Protokol pro stereotaktickou radioterapii), (Nové techniky radioterapie, 2017), (Sacino et al., 2024), (Cammin, 2022), (Videtic et al., 2017)

1.3 Technologie a zařízení

a) Lineární urychlovač (LINAC)

LINAC představuje jedno ze zásadních zařízení používané při stereotaktické tělové radioterapii (SBRT). Umožňuje přesné zaměření na nádory pomocí vysokých dávek záření. Technologie se často zaměřuje na menší nádory v plicích, játrech, slinivce, kostech, prostaty a dalších částech těla. Především tam, kde je důležité dosáhnout velké přesnosti a minimalizovat poškození okolních tkání. K tomu je potřeba velmi přesné zobrazování. Zobrazování určuje polohu nádoru a záření se vysílá v několika paprscích, aby se minimalizovalo poškození zdravé tkáně. U LINAC přístroje záření vychází z různých úhlů a zároveň se samotný přístroj pohybuje kolem pacienta. Technologie umožňuje bezpečné a účinné podání vysokých dávek záření v několika sezeních (obvykle mezi 1 až 5), což zkracuje celkovou dobu léčby na 1 až 2 týdny (tradiční radioterapie může trvat až 8 týdnů). Hlavní výhodou SBRT je její extrémní přesnost, díky níž lze efektivně léčit i nádory, které byly dříve obtížně přístupné, a to i u pacientů, kteří nemohou podstoupit chirurgický zákrok nebo kteří již absolvovali radioterapii. Princip LINAC spočívá v maximální přesnosti paprsků záření, které jsou přesně zaměřeny na nádor z různých úhlů, což zajišťuje, že většina záření dopadne na nádor. Princip zobrazování a plánování se využívá před začátkem každé léčby, kdy se používají zobrazovací techniky (CT nebo MRI) k přesnému zaměření cílové oblasti, což je u SBRT velmi zásadní. Systémy kontroly pohybu kompenzující dýchání nebo jiné pohyby pacienta v průběhu vyšetření a jsou obzvláště důležité při nádorech hrudníku a dutiny břišní.

SBRT umožňuje podání vysokých dávek záření v několika málo sezeních (1 až 5 sezení), což efektivně ničí nádorové buňky a zároveň šetří zdravé okolní tkáň. (Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT). Brigham and Women's hospital), (Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT). Kettering Health), (Stereotactic body radiotherapy. Mayo Clinic, 2019)

b) Protonová terapie

Protonová terapie (též známá jako proton beam therapy) představuje radioterapeutickou léčbu, která přesně doručí paprsek protonů k narušení a zničení nádorových buněk. V porovnání s tradiční radioterapeutickou léčbou, protony mají unikátní vlastnosti dovolující lépe zaměřit radiaci na velikost a tvar nádoru. Paprsky protonů zabijí nádorové buňky a šetří zdravé okolní tkáň. Protonová terapie je ve většině případů na léčbu rakovinotvorných buněk, především na nádory složené z různých typů buněk a lokalizovaných na různých místech v těle. Může být také použita i na léčbu nenádorových (benigních) nádorů, například to mohou být mozkové nádory (zahrnuty i ty přímo v lebce), nádory prsů, nádory plic (lymphoma), nádory jater, nádory slinivky, nádory rekta a prostaty, atd. Využívá se tzv. Bragg peak. Bragg peak přesně dodává záření do míst, kde se nachází nádorové buňky. Jedná se o alternativu nekonvekčním radioterapeutickým metodám typu rentgenových fotonů a elektronů. Tento peak je výrazný na Braggově křivce, kde vykresluje energetickou ztrátu ionizujícího záření během jeho cestování hmotou. U protonů nastává vrchol bezprostředně předtím, než se částice zastaví. Mezi výhody protonové terapie můžeme zahrnout kombinaci SBRT s protonovou terapií, což umožňuje dodání vysoké dávky v malém počtu frakcí do cílového objemu (výhodné pro agresivní nádory a zajišťuje kratší dobu léčby). Další výhodou je minimalizace poškození okolních tkání a je vhodná pro nádory blízko citlivých orgánů (např. nádory plic u pacientů s onemocněním srdce) a pomáhá se vyhnout větší radiaci do tkání, které v minulosti byly ozářeny v případě recidivy nádoru v blízkosti, nebo přímo v místě původní lokalizace. Nevýhody protonové terapie je její dostupnost a dlouhá doba léčby. Je málo protonových center a pacienti jsou nuceni cestovat kvůli léčbě, která bude trvat několik týdnů. Další nevýhodou je týdny dlouhé trvání přípravy plánu protonové terapie, kdy radiační onkolog může doporučit jinou léčbu, v případě, že je potřeba dříve. Vedlejší účinky protonové terapie se mohou postupně objevit po léčbě. Mezi vedlejší účinky můžou patřit ztráta vlasů, začervenalá kůže, unavenost a nízká energie, bolest hlavy nebo nechut'. (Wang et al., 2004), (Proton Therapy. John Hopkins Medicine)

Příprava ozařovacího plánu pro terapii pomocí protonů zahrnuje několik kroků:

1. Důležité je potvrzení lokace a velikosti samotného nádoru. Využívá se CT scan nebo MR zobrazení. Dále pomocí PC radiční onkolog lokalizuje nádor, jeho přesný tvar a velikost a také okolní tkáně a orgány.
2. Simulace samotné léčby, která nám pomůže při poloze pacienta. Na těle pacienta se zakreslí značky pro zamíření protonových paprsků (většina značek je malá a dočasná, ale některé mohou být i permanentní). Pokud je léčena oblast hlavy nebo krku, je vytvořena speciální maska tvarována přesně na pacienta z důvodu zamezení pohybu hlavy v průběhu léčby. Přes masku se dá dýchat i vidět.
3. Radiční onkolog určí přesnou dávku radiace, která bude doručena do cílového objemu. Jinými slovy, v jakém dávkování se budeme pohybovat. Používá se speciální počítačový program pro zjištění nejlepší cesty dodání dávky, v jaké pozici mají být paprsky a jak hluboko se paprsky protonů do těla dostanou. (Wang et al., 2004), (Proton Therapy. John Hopkins Medicine)

c) Gamma Knife

Gamma Knife se běžně nepoužívá v souvislosti se SBRT, protože je primárně navržen na intrakraniální neboli mozkovou léčbu. Znamená to, že není přímo použitelný v SBRT. Existují i případy, kdy se Gamma knife může použít i mimo mozek a to hlavně na oblast ozařování hlavy. Technologie Gamma nože jsou navrženy pro ozařování intracerebrálních cílů a jsou schopny doručit velmi vysoké dávky do cílového objemu s přesností na submilimetry. Mezi cílové objemy můžeme zahrnout mozkové metastázy, arteriovenózní malformace (AVM), akustické neurinomy nebo třeba meningiomy. Hlavní použití Gamma nože v mozku je na malé a dobře definované léze. Standardně se používá na léze velikosti kolem 3 až 4 cm a na cíle v blízkosti kritických struktur (např. zrakový nerv nebo mozkový kmen). Princip Gamma nože a SBRT mají vůči sobě určité podobnosti. Hlavně se jedná o přesnost a biologicky účinné dávky záření podané do cílového objemu. Co se týče ozařování v oblasti hlavy, tak Gamma nož je přesnější než LINAC při ozařování malých cílů. Výhody Gamma nože při ozařování hlavy v kontextu SRS/SBRT jsou jeho extrémní přesnost a díky jednorázové aplikaci se snižuje počet opakovaných návštěv a frakcí, takže zatížení okolních

tkání je minimální. (Gamma Knife Surgery, 2024), (Stereotactic Radiosurgery (SRS) and Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT). Stony Brook Cancer Center)

d) CyberKnife

CyberKnife je navržen pro použití v SRS a v SBRT. Dodává vysoce přesné záření na nádory z více úhlů a je velmi účinný při ozařování těžko přístupných nádorů nebo nádorů nacházejících se na pohyblivých místech (místa jako mozek, páteř, plíce, játra, slinivka, prostata, ...). Využívá robotické rameno a LINAC. V SBRT CyberKnife vyčnívá svojí přesností a flexibilitou, což ho dělá preferovanou volbou pro pacienty vyžadující pokročilou radiační terapii. Klíčové vlastnosti pro CyberKnife jsou jeho robotická přesnost díky robotickému ramenu. Umožňuje dodat záření z několika různých úhlů a maximalizuje se tím přesnost cílení na nádor a naopak se minimalizuje ozáření okolní zdravé tkáně. Synchronizace pohybu v reálném čase pomocí technologie Synchrony systém sleduje a přizpůsobuje se pohybu nádoru v reálném čase (např. při dýchacích pohybech). Synchrony eliminuje nepohodlné fixace nebo techniky pro zadržení dechu. Díky neinvazivnímu přístupu je průběh ozařování bez jakýchkoli řezů nebo invazivních technik, což snižuje dobu zotavení a vedlejší účinky. (What is the CyberKnife® System? CyberKnife), (CYBERKNIFE® SYSTEM Technology, 2024)

1.4 Indikace a kontraindikace a srovnání SBRT s dalšími léčebnými metodami

a) Primární a sekundární nádory plic

Jedná se o NSCLC (non-small cell lung cancer = nemalobuněčný karcinom plic) T1-2N0M0 při kontraindikaci nebo při odmítnutí chirurgického výkonu. Dalším typem je oligometastatické poškození plic (pokročilé stádium rakoviny). Velikost ozařované oblasti je ideálně menší než 5 cm (ozařující se maximálně 2 ložiska současně). Jedná se pouze o periferní (okrajová) ložiska vzdálena více než 2 cm od struktur mediastina (trachea, bronchy, aorta, dutá žíla, jícn, mícha, plexus brachialis, nervus phrenicus, nervus laryngem recurrens). (Protokol pro stereotaktickou radioterapii)

Pacient se nachází v poloze na zádech a má zafixované paže pomocí individuálně tvarované vakuované matrace (tzv. wingboard). Mezi cílové objemy patří GTV. Lze zakreslit buď ve všech nasnímaných fázích dechového cyklu (0-90) a provést simulaci do AIP (Average/mean

Intensity Projection = Projekce průměrné intenzity) z vybraných fází nebo lze zakreslit do MIP (Maximum Intensity Projection = Projekce maximální intenzity) z vybraných fází. Dávka a frakcionace se odvíjí od typu SBRT. Při radikální SBRT se používá denní frakcionace 5 x 10 až 11 Gy. Při paliativní SBRT se používá také denní frakcionace, ale 5 x 5 až 10 Gy. Techniky se používají VMAT (Volumetric Modulated Arc Therapy), kde se jedná o starší označení pro techniku IMAT (Intensity Modulated Arc Therapy). Za pomoci této techniky lze dosáhnout vysoce konformního prozáření cílového objemu (nátoru) a zároveň zajistit potřebný strmý spád dávky do okolí, aby bylo zajištěno maximální šetření zdravých tkání. Dále se zde objevuje technika IMRT (Intensity Modulated Radiotherapy) umožňující výrazné zvětšení dávky v cílovém objemu. Umožňuje to lepší efekt v šetření zdravých tkání. Ozařovací technika 3D konformní radioterapie využívající svazky o různé intenzitě. Dávka se předepisuje obvykle na 80% isodósu a verifikace nastavení je prováděna pomocí CBCT (Cone Beam CT) před každou frakcí. Při nastavení je přítomen lékař i fyzik. (Protokol pro stereotaktickou radioterapii)

b) Primární a sekundární nádory jater

Mezi nádory jater řadíme hepatocelulární karcinom při kontraindikaci resekce nebo TACE (TACE neboli Transarteriální chemoembolizace je minimálně invazivní metoda, která se používá k léčbě nádorů jater) či max. Child-Pough B a oligometastatické poškození jater neboli pokročilé stádium rakoviny. Velikost ozářeného ložiska je ideální pod 5 cm a ozařující se maximálně 2 ložiska naráz. (Protokol pro stereotaktickou radioterapii)

Proměnná	1 bod	2 body	3 body	jednotky
Bilirubin (celkový)	<34 (<2)	34-50 (2-3)	>50 (>3)	μmol/l (mg/dL)
Albumin	>35	28-35	<28	g/L
INR	<1.7	1.71-2.20	> 2.20	-
Ascites	Není	Potlačený léčbou	Refraktérní	-
Jaterní encefalopatie	Není	St. I-II (nebo potlačena léčbou)	St. III-IV (nebo refraktérní)	-

Child-Pugh: A (5 bodů)

Pro primární sklerozující cholangitidu (PSC) a primární biliární cirhózu (PBC) platí jiná kritéria: horní mez pro bilirubin pro 1 bod je 68 μmol/l (4 mg/dL), horní mez pro 2 body je 170 μmol/l (10 mg/dL).

Body	Child-Pugh	Přežití 1 rok	Přežití 2 roky
5-6	A	100%	85%
7-9	B	81%	57%
10-15	C	45%	35%

Obrázek 2: Child-Pugh hodnocení pacientů s chronickým jaterním onemocněním; Child-Pugh | Lékařské klasifikace • Online kalkulačky • Skóre • Tabulky • MKN (mudr.org)

Pacient se nachází v poloze na zádech a paže má fixované pomocí individuálně tvarované vakuované matrace (tzv. wingboard). Pro přesné zakreslení cílové oblasti lze využít registraci s MRI nebo PET/CT zobrazením. Před simulací je vhodné zavedení fiduciálních značek do jater pod UZ kontrolou. Cílové objemy jsou GTV (makroskopické viditelné ložisko), ITV = GTV ve všech vybraných dechových fázích a je zakresleno v MIP a PTV = ITV + 3 až 5 mm. Dávka je nastavena na 5 x 6 až 10 Gy při denní frakcionaci a dle velikosti PTV. U pacientů Child-Pough B je preferovaná dávka maximálně 5 x 8 Gy při denní frakcionaci. Techniky využívány u nádorů jater jsou VMAT (Volumetric Modulated Arc Therapy) a IMRT (Intensity Modulated Radiotherapy). Dávka se předepisuje obvykle na 80% isodósu a verifikace nastavení je prováděna pomocí CBCT před každou frakcí. Při nastavení je přítomen lékař i fyzik. (Protokol pro stereotaktickou radioterapii)

c) Inoperabilní nádory pankreatu

Jedná se buď o pokročilý karcinom pankreatu nebo inoperabilní či nevhodný k operaci. Pacient se nachází v poloze na zádech a paže má fixované pomocí individuálně tvarované vakuované matrace (tzv. wingboard). Pro přesné zakreslení cílové oblasti je vhodné využít registraci s MRI zobrazením. Pacient je lačný alespoň 2 hodiny před simulací a před každou SBRT frakcí. Cílové objemy jsou GTV, což představuje makroskopické viditelné ložisko a ITV = GTV ve všech vybraných dechových fázích a je zakresleno v MIP. Dávka při frakcionaci 1 x týdně je nastavena na 4 x 8 Gy. Při frakcionaci 5 x týdně je nastavena na 5 x 6,6 Gy. Techniky jsou VMAT a IMRT. Dávka se předepisuje obvykle na 80% isodósu a verifikace nastavení je prováděna pomocí CBCT před každou frakcí. Při nastavení je přítomen lékař i fyzik. (Protokol pro stereotaktickou radioterapii)

d) Oligometastatické onemocnění

Mezi oligometastatické onemocnění řadíme oligometastatické postižení skeletu mimo páteř, oligometastatické postižení páteře a oligometastatické postižení lymfatických uzlin. Velikost ozářeného ložiska je ideálně menší než 5 cm a ozařující se maximálně 2 ložiska v jednom orgánu současně. Pacient se nachází v poloze na zádech a paže má fixované pomocí individuálně tvarované vakuované matrace (tzv. wingboard). V případě postižení krční páteře

je použita fixace termoplastickou maskou. Pro přesné zakreslení cílové oblasti je vhodné využít registraci s MRI či PET/CT zobrazením. (Protokol pro stereotaktickou radioterapii)

Cílové obehmy u oligometastatických onemocnění:

1. GTV představuje makroskopicky viditelné ložisko skeletu či lymfadenopatie

2. CTV:

a) GTV + 1 cm u kostních ložisek (mimo páteř); CTV nikdy nepřesahuje kost

b) GTV + celé segmenty páteře dle doporučení ISRC

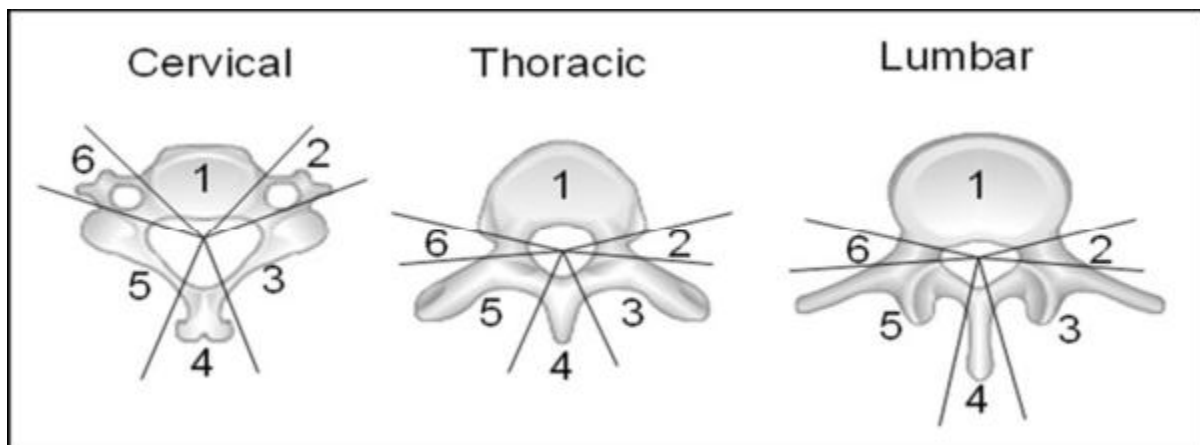
c) GTV v případě lymfadenopatie

3. PTV:

a) CTV + 3 až 5 mm u ložisek skeletu a lymfatických uzlin

b) CTV + 3 mm u ložisek páteře; PTV se vždy nachází mimo míchu

(Protokol pro stereotaktickou radioterapii)



Obrázek 3: Definice CTV pro SRT páteře podle doporučení International Spine Radiosurgery Consortium; Protokol pro stereotaktickou radioterapii

Dávka při denní frakcionaci (případně obden) je nastavena na 5 x 6 až 8 Gy. Techniky se využívají VMAT, IMAT a IMRT. Dávka se předepisuje obvykle na 80% isodósu a verifikace nastavení je prováděna pomocí CBCT před každou frakcí. Při nastavení je přítomen lékař i fyzik. (Protokol pro stereotaktickou radioterapii)

Srovnání SBRT s dalšími léčebnými metodami

1. SBRT vs chirurgie

Oproti chirurgii přináší SBRT méně invazivní postupy. Např. u pacientů s rakovinou prostaty bylo zjištěno, že SBRT vede k menšímu poklesu života tzv. QOL (QOL = Quality Of Life = Kvalita života) v porovnání s radikální prostatektomií hlavně v oblastech sexuální a močové trubice. (Moon et al., 2020)

2. SBRT vs brachyterapie

Srovnání SBRT s vysokodávkovou brachyterapií (HDR = High Dose Rate Brachytherapy = Vysokodávková brachyterapie) u rakoviny prostaty. SBRT na rozdíl od HDR nabízí flexibilitu při přesném a cíleném ozáření nádoru bez nutnosti invazivního zákroku. Toto může být vhodné pro pacienty, kteří nemohou nebo nechtějí jít chirurgickou cestou. (Moon et al., 2020)

3. SBRT vs IMRT (Intensity Modulated Radiotherapy = Radioterapie s modulovanou intenzitou)

IMRT se také používá k léčbě nádorů, ale ve srovnání s SBRT bývá méně efektivní při léčbě pohyblivých nádorů např. v plicích nebo v játrech. Je výhodnější pro širší oblasti nebo menší dávky záření. SBRT je na tom lépe díky své schopnosti sledovat pohyb a precizně zaměřit záření do cílové oblasti. (Moon et al., 2020)

4. SBRT vs VMAT (Volumetric Modulated Arc Therapy = Volumetrická modulovaná radioterapie)

SBRT je efektivní při ozařování malých a pohyblivých nádorů s vysokou přesností. Oproti tomu VMAT se používá v oblastech pro rozsáhlejší nádory a zajišťuje rovnoměrné rozložení dávky. (Moon et al., 2020)

Ve výsledku je SBRT vhodná pro pacienty co potřebují rychlou a přesnou efektivní léčbu s minimem poškození okolní zdravé tkáně. Je vhodná pro různé typy nádorů a zejména tam, kde je obtížný přístup chirurgickou cestou nebo se nacházejí v pohyblivých oblastech. (Moon et al., 2020)

1.5 Výsledky a účinnost SBRT

Hodnocení úspěšnosti léčby SBRT + dlouhodobé výsledky a přežití pacientů

1. Nádorové léze v hlavě a krku

Úspěšnost SBRT v léčbě nádorových lézí nacházející se v hlavě a krku závisí na klinickém scénáři. Otázkou je, zda se jedná o primární léčbu, reiradiaci (opakované ozáření) nebo léčbu oligometastatických lézí. Co se týče primární léčby, tak u pacientů s primárním karcinomem hlavy a krku vykazuje dobré výsledky s tolerovanými vedlejšími účinky. Klinické studie zaměřující se na nádorové léze v oblasti hlavy vypovídají o úplném vymizení nádoru na zobrazovacích metodách nebo klinicky potvrzena remise (návrat pacienta do stavu před vypuknutím nemoci). Při opakovaném ozáření (reiradiaci) u pacientů s recidivujícím karcinomem hlavy a krku může být dlouhodobé přežití po předchozím ozáření, což znamená úspěšnost léčby. Studie vykazují přežití v rozmezí 12 až 18 měsíců při nízkých nebo středních dávkách toxicity. Tato metoda je však velmi riziková a vyžaduje precizní plánování pro minimalizaci poškození zdravých okolních tkání. Léčba metodou SBRT vykazuje slibné dlouhodobé výsledky u nádorových lézí v těchto oblastech. Hlavně je to v případech malých a lokalizovaných nádorů. Přežití pacientů se odhaduje na 5 let, ale je to závislé na stádiu, ve kterém se onemocnění nachází a mnoha dalších faktorech jako je celkový zdravotní stav pacienta. (Amini et al., 2014), (Tham et al., 2024), (Mohamad et al., 2023), (Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT and Stereotactic Radiosurgery (SRS). Siteman cancer center)

2. Nádorové léze v plicích

SBRT je často využívána u pacientů s NSCLC v raných stádiích. Metoda SBRT je často srovnávána s chirurgií z hlediska lokální kontroly a přežití a to zejména u starších pacientů nebo u těch, kteří nemohou podstoupit operaci. U operabilních pacientů dosahuje SBRT podobných výsledky jako resekční chirurgie (chirurgický zákrok zaměřen na odstranění nádorové léze), ale s menší toxicitou a rizikem komplikací. Komplikace a nežádoucí účinky, jako je únava, kašel nebo bolest na hrudi, se vyskytují relativně vzácně. Závažnější komplikace, jako je pneumonitida, jsou hlášeny u méně jak 2 % pacientů. Ve výsledku studie ukazují, že SBRT je efektivní metodou pro léčbu nádorů plic, zejména těch lokalizovaných, neoperabilních nebo nádorů metastazujících. Dlouhodobé výsledky ukazují na dobré přežití po dobu 5 let. Je to samozřejmě závislé na typu nádoru, jeho stádiu a dalších faktorech. Výhoda je především v přesném cílení na nádor s vysokou dávkou záření, což vede k nízké toxicitě a lepší kvalitě života ve srovnání s konvenční terapií. (SBRT Effective for Inoperable

Early-Stage Lung Cancer, 2014), (Rosenzweig, 2017), (Yamamoto et al., 2017), (A new tool in the fight against lung cancer: SBRT, 2015)

3. Nádorové léze v játrech

SBRT je účinná u pacientů s hepatocelulárním karcinomem (HCC) nebo metastázami do jater. Výsledky vykazují vysokou míru lokální kontroly a slibné přežití. U HCC metoda SBRT dosahuje lokální míry přežití až 94 % během jednoho roku a přibližně 78 % během 5 let. Přežití pacientů se pohybuje přibližně mezi 2 – 6 lety. Samozřejmě to závisí na stavu pacienta a velikosti nádoru. Kombinace SBRT s imunoterapií zlepšuje přežití. K/ku příkladu 3leté přežití dosahuje až 64 % ve srovnání s 43 % při samotném použití SBRT. Co se týče jaterních metastáz, tak je SBRT neinvazivní alternativou chirurgického zákroku. Míra lokální kontroly se pohybuje někde mezi 70 – 90 % a medián se pohybuje mezi 2 – 3 roky života, přičemž lepší výsledky jsou spojeny s menším počtem lézí (jednou nebo dvěma). (Chiang et al., 2024), (Scorsetti et al., 2017)

4. Nádorové léze slinivky

SBRT se ukázalo jako slibná metoda při léčbě pokročilého karcinomu slinivky (LAPC). Hlavně u pacientů, kteří nemohou podstoupit chirurgický zákrok. Míra lokální kontroly se pohybuje mezi 78 – 80 %. Medián pro celkové přežití je mezi 11,6 – 16,7 měsíci v závislosti opět na stavu pacienta a na kombinaci SBRT s chemoterapií. Kombinace SBRT a chemoterapie zlepšuje výsledky léčby a zvyšuje celkové přežití pacientů. Frakcionovaná schémata v porovnání s jednorázovými dávkami snižují toxicitu. Kvalita života pacienta včetně ulevění od bolesti spojené s rakovinou slinivky, se po léčbě ve většině případů stabilizuje nebo zlepšuje. Pacienti, kteří postoupili SBRT v kombinaci s chemoterapií, se stali kandidáty na chirurgický zákrok. Toto je spojováno s lepším dlouhodobým přežitím. (Comito et al., 2023), (Dagoglu et al., 2016), (Jung et al., 2019)

5. Nádorové léze prostaty

SBRT prokázalo v léčbě lokalizovaného karcinomu slinivky vysokou účinnost. V jedné z rozsáhlých studií sledovaných pacientů po dobu přibližně 5 – 7 let, byla míra přežití bez znovuvzplanutí nemoci pro pacienty s nízkým rizikem 95,6 % a pro pacienty se středním rizikem 93,4 %. Studie ukázala, že SBRT může dosahovat podobných výsledků jako tradiční radioterapie, přičemž je značně časově úspornější, protože vyžaduje pouze 5 sezení, na rozdíl od standardní radioterapie, která může trvat několik týdnů. Kvalita života pacientů po léčbě

SBRT je dobrá, přičemž nejběžnějšími vedlejšími účinky jsou dočasné problémy s močovým ústrojím a střevní problémy, které se zlepšují postupem času. Dlouhodobé měření ukazuje, že SBRT je srovnatelná s jinými metodami jako je brachyterapie. Výhody jsou nízká toxicita a kratší doba léčby, což se odráží na vyšší kvalitě života pacientů. Dlouhodobé výsledky ukazují že SBRT je účinná i pro pacienty s nízkým a středním rizikem. (Mohan et al., 2023), (Chan, 2024)

6. Nádorové léze v ledvinách

Analýza 13 studií zahrnující přes 300 pacientů ukázala, že SBRT dosahuje 97% míry lokální kontroly ve 2 letech. Závažné vedlejší účinky byly vzácně a to pouze u 3 % pacientů a zahrnovaly únavu nebo bolesti břicha. Studie podporují použití SBRT u pacientů, kteří jsou nevhodní pro chirurgický zákrok, ačkoli přímé srovnání studie s operací zatím chybí. SBRT u pacientů s renálním buněčným karcinomem (RCC) se ukazuje jako slibná metoda. Hlavně u pacientů nevhodných pro chirurgický zákrok. Studie ukazují na vysokou účinnost SBRT. Například studie FASTRACK II (klinické hodnocení zkoumající použití stereotaktické ablativní tělové radioterapie (SABR)) u pacientů s rakovinou ledvin, zejména u těch, kteří nejsou kandidáty na chirurgii kvůli zdravotním problémům nebo jiným důvodům. Tato studie se zaměřuje především na primární renální buněčný karcinom (RCC). U pacientů s RCC ukázala výjimečné výsledky s mírou lokální kontroly až 100 %. Výsledek byl dosažen u pacientů s nádory průměrné velikosti 4,7 centimetrů. Po dobu 43 měsíčního sledování žádný pacient nezemřel na rakovinu. Průměrná doba přežití bez progresí je vysoká, ačkoli některé studie ukazují, že u větších nádorů (v průměru nad 4 centimetry) je prognóza o něco méně příznivá. (Yamamoto et al., 2021), (Suleja et al., 2024), (Chase, 2023), (Siva et al., 2024), (Rogacki, 2021)

7. Nádorové léze v lymfatických uzlinách

SBRT je hlavně využívána pro léčbu oligometastáz lymfatických uzlin (např. retroperitoneálních). Studie vykazují vysokou míru lokální kontroly a to 95 % po jednom roce. Po dvou letech při použití vysokých dávek záření se hodnoty pohybují na 76 %. Hodnocení léčby nádorových lézí v lymfatických uzlinách pomocí SBRT vykazuje pozitivní výsledky a to zejména u pacientů s oligometastázami (několik málo lézí). V retrospektivní studii zahrnující 90 pacientů s metastázami lymfatických uzlin, byla míra 1letého celkového přežití 85,2 %. 2letého pak dosahovala 48,7 %. Míra lokální kontroly dosáhla 93,1 % po 6 měsících, po 2 letech to bylo 79,9 %. Další studie zaměřující se na gynekologické nádory

ukázala medián přežití pacientů po léčbě SBRT 22 měsíců, přičemž 2leté přežití bylo 48,7 %. Dlouhodobé výsledky a přežití pacientů s nádorovými lézemi v lymfatických uzlinách, které podstupují stereotaktickou tělovou radioterapii (SBRT), ukazují pozitivní trend v kontrolování nádorů a zlepšení přežití. Studie ukazují, že SBRT je účinná pro zlepšení lokální kontroly a přežití pacientů s oligometastatickými lézemi, včetně metastáz do lymfatických uzlin, s nízkou mírou toxicity. (Burkon et al., 2021), (Caivano et al., 2023), (Facondo et al., 2023)

8. Nádorové léze v lézích páteře

Vhodnost SBRT se nabízí tam, kde není nutný chirurgický zákrok u pacientů s metastázami do páteře. Zejména pro ty s omezenými metastázami. Míra lokální kontroly u páteřních metastáz se pohybuje mezi 80 – 90 %. Celkové přežití se zlepšuje zejména při nižších počtech lézí. Studie vykazují, že SBRT poskytuje rychlou úlevu od bolesti, což se významně odráží na kvalitě života pacientů. Úspěšnost léčby je závislá na několika faktorech, jako je například velikost lézí a jejich umístění. Dlouhodobé výsledky SBRT pro metastázy v páteři ukazují pozitivní účinky. Hlavně na kontrolu bolesti a zlepšení kvality života. Studie ukazují, že lokální kontrola po 1 roce může dosáhnout až 94 %. Studie se zaměřují na pacienty s metastázami různých typů rakoviny, a u pacientů se stabilním onemocněním je dlouhodobé přežití dosaženo v rozmezí 40–60 % po 2 letech, s poměrně nízkou mírou toxicity. (Sacino et al., 2024)

1.6 Vedlejší účinky a komplikace SBRT

Akutní vedlejší účinky SBRT a riziko poškození zdravých tkání

1. Oblasti hlavy a krku

První z mnoha akutních vedlejších účinků je mukozitida objevující se v dutině ústní a hltanu. Představuje zánět a bolestivost sliznice dutiny ústní a hltanu a v mnoha případech je doprovázena pálením a obtížemi při polykání. Dále xerostomie neboli sucho v ústech. Objevuje se při poškození slinných žláz a může dojít ke snížené produkci slin. Změny chuti nebo až ztráta chuti (dysgeuzie) v důsledku podráždění chuťových receptorů. Někdy se může objevit i kovová pachůť. Obtížné polykání (dysfagie) zapříčiněno zánětem sliznice v oblasti krku. Pacienti pocítují chrapot z důvodu podráždění a otoku hlasivek, který je doprovázen bolestí v krku (odynofagie) s polykacími obtížemi. Na kůži se objevuje kožní reakce jako je zarudnutí, svědění nebo mírný otok v místě ozáření. U některých pacientů

může nastat případné lokální vypadávání vlasů, pokud se pohybujeme v oblasti hlavy. Co se týče ozáření mozku a nervového systému, tak u pacientů se vyzorovala celková únava vlivem zánětu a reakcí těla na léčbu. Bolest hlavy vlivem otoku v místě ozáření oblasti nebo podráždění nervů. Nauzea a zvracení pokud je ozářená oblast poblíž hypotalamu nebo mozkových center pro kontrolu nevolnosti. Někdy se mohou objevit přechodné příznaky, mezi které patří např. dočasné zhoršení koordinace, paměti nebo koncentrace. Ozáření cév a nervů v této oblasti se projevuje lokální bolestí nervových struktur v oblasti hlavy a krku. (Mohamad et al., 2023), (Vargo et al.,)

2. Plíce

Nejčastěji se objevuje u pacientů kašel a dušnost. Tyto příznaky mohou být způsobeny zánětem plicní tkáně vznikající v důsledku ozáření. Symptomy se mohou objevit až týdny po ukončení léčby. Bolesti v hrudní stěně nebo v oblasti žeber jsou způsobeny zánětem nervových zakončení v této oblasti. Intenzita bolesti závisí na lokalizaci ozáření a na velikosti ozáření oblasti. Únava je běžným akutním vedlejším účinkem SBRT. Obvykle odezní během několika týdnů po ukončení léčby. V ozařované oblasti můžeme pozorovat kožní reakce jako je zarudnutí nebo změnu barvy kůže. Případně ztráta ochlupení. Zánět jícnu (ezofagitida) se projevuje bolestí při polykání. (Misher, 2023)

3. Játra

Nevolnost a průjem jsou hlavními vedlejšími účinky a mohou být způsobeny ozářením sousedních orgánů, jako je žaludek a střeva. Většinou jsou tyto příznaky zvládnutelné úpravou stravy a vhodnou medikací. Bolesti břicha a diskomfort vznikají při ozáření oblasti jater a okolních struktur a dočasně ustupují během několika týdnů. K poškození jaterní tkáně dochází méně často kvůli výborné přesnosti SBRT, ale může dojít k přechodné zánětlivé reakci jaterní tkáně. Kožní reakce se projevuje mírným zarudnutím, svěděním nebo otokem v místě ozáření. Jsou méně časté, protože kůže není typicky hlavním cílem léčby. Posledním vedlejším účinkem je celková únava. (Misher, 2023)

4. Slinivka

Někdy se u pacientů objeví nevolnost, zvracení nebo bolesti břicha především pokud je oblast ozáření v blízkosti žaludku či střev. V místě ozáření mohou vzniknout drobné kožní změny, jako je zarudnutí nebo svědění. V poslední řadě se pozoruje u pacientů celková únava. (Misher, 2023), (Carter, 2018)

5. Prostata

Močové obtíže se projevují zvýšenou frekvencí močení a urgentní potřebou se močit. Někdy bývá občasná pálení při močení. Někdy se může u pacientů objevit snížený proud moči nebo pocit neúplného vyprázdnění močového měchýře. Průjem, řídká stolice nebo nepříjemné pocity v oblasti konečníku (tenesmus = pocit nutkání na stolici). V ojedinělých případech může dojít k zarudnutí kůže v oblasti ozařování, které jsou ale méně časté. (Misher, 2023), (Reshko, 2020)

6. Ledviny

V některých případech byla zaznamenána bolest v oblasti hrudníku a břicha a nevolnost u pacientů. Až u 11 % pacientů dochází k zhoršení renální funkce. (SBRT Emerging as an Important Treatment for Early-Stage Kidney Cancer, 2023)

7. Lymfatické uzliny

Zarudnutí, svědění nebo podráždění kůže v místě ozáření. Lokální bolest se může objevit v důsledku podráždění nebo otoku tkáně v blízkosti ozářené oblasti. Například při ozařování lymfatických uzlin v oblasti hrudníku je možné riziko bolesti v hrudní stěně. Zánět okolních struktur jako je například u uzlin v blízkosti trávicího traktu může dojít k podráždění jícnu nebo žaludku (s dysfagií a nevolností). V místě léčby je dočasný otok, který obvykle ustupuje spontánně. Únava a celková bolest. (Misher, 2023), (Burkon et al., 2021)

8. Léze v páteři

Dočasné zvýšení bolesti v ozařované oblasti. Běžné u léčby metastáz, tzv. bolestivé vzplanutí (pain flare). Velmi vzácné se objevují neurologické komplikace. Šance na tyto komplikace je při nadměrném ozáření míchy, kdy hrozí riziko radiační myelitidy. U malého počtu pacientů může dojít k oslabení stability páteře, např. ke kompresi obratle. (Targeted Radiation Reduces Pain from Cancer Metastases in the Spine, 2020)

Chronické vedlejší účinky SBRT a riziko poškození zdravých tkání

1. Oblasti hlavy a krku

Po ozařování se může snížit produkce slin, což vede k suchosti v ústech. Dále se můžou objevit problémy s polykáním a zvýšené riziko zubních kazů. Tento problém může být zvládnutelný pomocí náhražek slin, častého příjmu tekutin nebo užívání bonbonů. Chronické účinky mohou zahrnovat jizvy v hrtanu nebo jícnu, což může vést k problémům s polykáním. Může se objevit osteoradionekróza, což je stav kdy se nehojí drobné zlomeniny v oblasti čelisti. Problém zejména po zubních zákrocích. Radiační zánět může způsobit ztuhlost svalů vedoucí k bolestem a omezené pohyblivosti v oblasti ozařované oblasti. V některých případech to může ovlivnit držení hlavy. Poškození nervů díky ozáření může způsobit slabost a bolest v místě ozáření. (Misher, 2023), (Brook, 2020)

2. Plíce

Plicní fibróza může vést k dlouhodobému problému s dýcháním. Chronická dušnost nebo snížená funkce plic jsou dalšími chronickými vedlejšími příznaky. U některých pacientů se může objevit trvalé nepohodlí nebo bolest na hrudi, což je obvykle spojeno s poškozením nervů nebo zánětem po ozáření. Dalším příznakem po ozáření je suchý kašel a celková únava. (Misher, 2023), (Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) Side Effects and More, 2024)

3. Játra

Po ozáření může dojít k dlouhodobému poškození jaterních funkcí k tzv. jaterní toxicitě. Jedná se o zvýšení jaterních enzymů nebo v extrémních případech až o jaterní selhání. Můžeme pozorovat fibrotické změny jako je chronická jaterní cirhóza (jizvení, ztučnění jater). V některých případech léčba SBRT může způsobit přetrvávající bolest v oblasti léčby v důsledku poškození okolních struktur. (Misher, 2023), (Stereotactic body radiotherapy. Mayo Clinic, 2019)

4. Slinivka

Mnoha pacientů může mít dlouhodobé problémy s trávením, včetně nevolností, zvracení, průjmů nebo ztráty chuti k jídlu. Může to vést až k úbytku hmotnosti. I po léčbě je šance na přetrvání zánětu v ozařovaných oblastech a možné zjizvení tkání, což může způsobit chronické bolesti, záněty nebo změny ve tkáních některých. Únava a celková slabost. (Misher, 2023), (Carter, 2018)

5. Prostata

Mohou se objevit močové obtíže jako je časté močení nebo bolest při močení. Méně časté jsou gastrointestinální potíže, které mají za vinu mírné poškození střev s přetrvávajícími příznaky. U některých pacientů se můžou zachovat dlouhodobé změny v sexuální funkci, včetně erektilní dysfunkce. (Patients in PACE-A study report fewer urinary and sexual side effects after SBRT for prostate cancer, 2023)

6. Ledviny

Může dojít k poškození ledvinového parenchymu a to může mít negativní dopad na dlouhodobou funkci ledvin. Projevy zejména u pacientů s již existujícím poškozením ledvin. Vznik jizev a ztuhnutí tkáně v oblasti ozáření. Tento účinek ale bývá mírný. (Misher, 2023)

7. Lymfatické uzliny

Pokud byla ozařovaná oblast v oblasti plic nebo mediastina (oblast mezi plícemi), může dojít k chronickému kašli nebo dušnosti, k tzv. respiračním problémům. V místě ozáření může dojít k zjizvení tkáně. Má to vliv na funkci orgánů nebo struktur, které se nacházejí v blízkosti. U některých pacientů, kteří podstoupili SBRT na lymfatických uzlinách v oblasti hrudníku nebo páteře, může nastat oslabení kostí. Oslabení kostí může vést ke zlomeninám nebo vertebrálním frakturám. (Misher, 2023), (Burkon et al., 2021), (Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) Side Effects and More, 2024)

8. Léze v páteři

Dlouhodobě může docházet k oslabení nebo poškození kostních struktur, což může vést ke zvýšené náchylnosti k zlomeninám hlavně v oblasti páteře. U některých pacientů může způsobit problémy s nervovými kořeny nebo míchou, což vede k bolesti, ztrátě citlivosti nebo motorickým problémům, jako je ztuhlost nebo slabost v končetinách. U některých pacientů může SBRT způsobit změny v okolních tkáních, které mohou zvyšovat riziko opětovného rozvoje rakoviny (tzv. recidivy) nebo metastáz. Chronické záněty mohou poškodit okolní měkké tkáně. Projevy jsou přetrvávající bolest nebo problémy s pohybem. (Misher, 2023), (Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) Side Effects and More, 2024)

Preventivní opatření ke snížení toxicity SBRT

Prevence toxicity při ozařování, včetně SBRT, je klíčová pro minimalizaci vedlejších účinků a zajištění nejlepšího možného výsledku pro pacienta. Mezi preventivní opatření ke snížení toxicity patří přesné plánování léčby. Pro přesné ozáření při plánování léčby nám pomáhají moderní technologie (jako je 3D konformní radioterapie nebo IMRT). Umožňují přesně zaměřit nádor, což minimalizuje dávku na okolní zdravé tkáně. Používají se ochranné bloky a techniky, jako například "*breathing hold*" (metoda používána při ozařování oblastí, které jsou citlivé na pohyb, jako jsou plíce nebo srdeční tkáně). Technika je postavena na tom, aby pacient zadržel dech během určité fáze ozařování, čímž se minimalizuje pohyb nádorové oblasti a zároveň se sníží riziko poškození okolních zdravých tkání při ozařování plic, který pomáhá snížit vystavení zdravých okolních tkání vysokým dávkám záření. K preventivním opatřením ke snížení toxicity poslouží i některé léky, například kortikosteroidy mohou být použity k prevenci zánětů. Preventivní opatření, která se zaměřují na ozařování a minimalizaci poškození zdravých tkání, jsou klíčem k úspěchu SBRT a snižování toxicity pro pacienty. (Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) Side Effects and More, 2024)

1.7 Vedlejší účinky nesterotaktické léčby SBRT

1. Obecné vedlejší účinky

Kožní reakce se projevují zčervenáním, podrážděním nebo svěděním v ozářené oblasti na povrchu kůže. Někdy se může objevit i suchost kůže nebo samotné odlupování pokožky. Bolest a pocit nepohodlí v oblasti ozařované oblasti. Jedná se hlavně o oblasti plic, páteře nebo třeba jater. Únava je běžným vedlejším účinkem. (Nežádoucí účinky radioterapie), (Burkoň et al., 2013), (Stereotactic body radiotherapy Mayo Clinic, 2019)

2. Specifické vedlejší účinky

Specifickým vedlejším účinkem při ozařování v oblasti plic je tzv. radiační pneumonitida (zánětlivá reakce plicní tkáně), která může způsobit kašel, dušnost a horečku. Chronické vedlejší účinky zahrnují fibrotizaci plicní tkáně, která může vést až k dlouhodobému snížení kapacity plic. U jater může dojít k poškození jaterní tkáně, což může způsobit únavu, nevolnost nebo abnormality jaterních funkcí (radiační hepatitida). Vedlejší účinky na páteři a strukturách v oblasti míchy se projevují bolestí v ozářené oblasti a velmi vzácně se můžou

objevit neurologické komplikace, pokud by byla poškozena mícha. Ozařujeme-li v oblasti břicha, může se objevit nevolnost, průjem nebo křeče. Zvýšená frekvence močení, potíže při močení nebo pálení při močení, mohou nastat při ozáření prostaty. Také může dojít k zánětu konečníku, což se projevuje jako nepohodlí při stolici. (Nežádoucí účinky radioterapie), (Burkoň et al., 2013), (Stereotactic body radiotherapy Mayo Clinic, 2019)

1.8 Budoucí směřování SBRT

Mezi hlavní budoucí směřování léčebné techniky SBRT spadá využití pokročilých zobrazovacích technologií. Jednu z nich představuje MRI-guided radiotherapy (MRgRT), kombinace magnetické rezonance s radioterapií umožňující přesné zacílení nádoru díky lepší kvalitě měkkotkáňového statusu. Je to především důležité pro nádory nacházející se v blízkosti životně důležitých orgánů, jako jsou srdce nebo plíce. Další zobrazovací technologií je 4D CT a PET/CT. Zařazení časového faktoru do zobrazování umožňuje zohlednit pohyb nádoru zapříčiněno dýcháním nebo jinými fyziologickými procesy. Jedním z dalších budoucích směřování je využití umělé inteligence (AI), která pomáhá optimalizovat léčebné plány, předvídat odpovědi pacientů a analyzovat data z obrazové diagnostiky. SBRT setrvává při používání hypofrakcionace neboli dodání vysokých dávek během několika málo frakcí a zkrácení celkové doby léčby. Rozvíjet se nadále budou moderní fixační systémy zvyšující pohodlí pacienta při zachování přesného ozáření do cílové oblasti. (Landry et al., 2023), (Dona Lemus et al., 2024), (Liu et al., 2023)

1.9 SBRT na Slovensku

Extrakraniální stereotaktická radioterapie (SBRT) na Slovensku má obdobné zastoupení ozařovací techniky jako v ČR. Používány jsou techniky jako jsou lineární urychlovač (LINAC), CyberKnife nebo třeba Gamma knife. Konstrukce a výpočet ozařovacího plánu a veškeré další postupy spojeny s přípravou pacienta na ozařování se nijak neliší od postupů aplikovaných v ČR. Na území Slovenska se nachází několik ozařovacích center praktikujících stereotaktické ozařování. Jedním z nich je Východoslovenský onkologický ústav (VOÚ) v Košicích. Dalšími jsou Národní onkologický ústav (NOÚ) v Bratislavě, Univerzitní nemocnice Martin a nemocnice Bory v Bratislavě. V poslední zmíněné nemocnici Bory je využíván specializovaný stereotaktický lineární urychlovač CyberKnife S7 SI. Uvedená nemocniční zařízení poskytují stereotaktické ozáření všech obvykle indikovaných diagnóz

(pľíce, slinivka, prostata, játra, kostní a uzlinov  metastázy, ...). (Oddelenie radiačnej onkologie), (N rodn  onkologick   stav), (Univerzitn  nemocnica Martin), (PentaHospitals Nemocnica Bory)

2 CÍL PRÁCE A VÝZKUMNÁ OTÁZKA

2.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce bylo zpracovat shrnutí problematiky extrakraniální stereotaktické radioterapie v ČR a na Slovensku. Na základě práce s literaturou byly popsány principy a metody této léčby, její indikace a kontraindikace. Dalším cílem bakalářské práce bylo popsat dostupná SBRT zařízení nacházející se v ČR a na Slovensku. Oba popsané cíle práce byly naplněny zpracováním teoretické části práce.

2.2 Výzkumná otázka

1. Liší se nějakým způsobem časné a pozdní nežádoucí účinky léčby SBRT v porovnání s aplikací nesterotaktických metod u vybraných diagnóz?
2. V jakých hodnotách se obvykle pohybují dávky na kritické orgány u vybraných diagnóz léčených SBRT?

3 METODIKA

Pro potřeby zodpovězení první výzkumné otázky bylo provedeno dotazníkové šetření. Připravený dotazník se skládal z celkem 12 otázek a je součástí přílohy bakalářské práce. Otázky cílily především na výskyt konkrétních nežádoucích účinků u pacientů ozařovaných stereotaktickou radioterapií.

Otázky číslo 2, 3, 4 a 12 byly otevřené a respondenti odpovídali dle svého uvážení. Možnost výběru jedné a více odpovědí byla u otázek číslo 5, 7, 8 a 11. U zbývajících otázek bylo možno zaškrtnout pouze 1 odpověď.

Sběr dat probíhal v Ústřední vojenské nemocnici v Praze (ÚVN) na oddělení Ústavu radiační terapie, konkrétně na pracovišti CyberKnife. Distribuce dotazníků a veškeré další činnosti proběhly ve spolupráci s vedoucím radiologické asistence panem Peterem Zgolou, dipl. r.a..

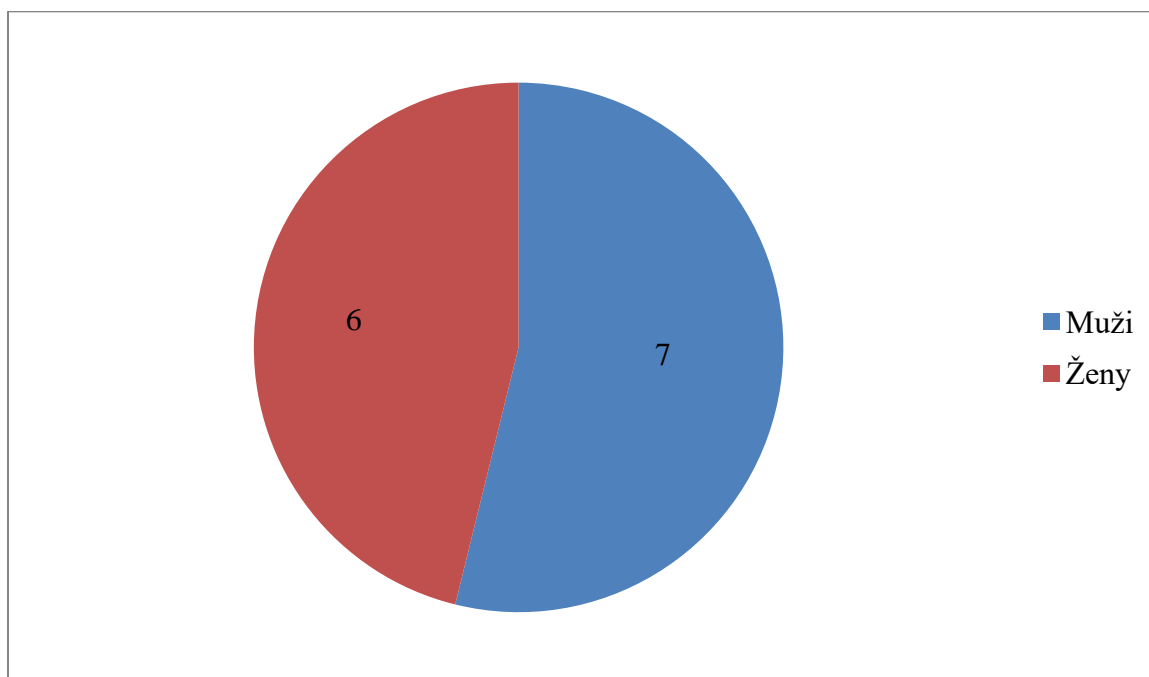
Výsledky z dotazníků byly následně zpracovány do grafů za pomoci nástrojů MS Excel se stručnými popisy. I přes zdůrazňovanou anonymizaci dat, se aktivně dotazníkového šetření zúčastnilo pouze 13 respondentů. Ve výsledku 11 dotazníků pochází z ÚVN z oddělení Ústavu radiační terapie. Zbývajících data do posledních 2 dotazníků jsem získal od mých známých a kamarádů, kteří ozařováním prošli.

Původním metodickým postupem bylo pro zodpovězení druhé výzkumné otázky stanoveno, že dávky budou zjištěny z ozařovacích plánů pacientů ozařovaných na definovaném pracovišti. Bohužel k realizaci postupu nakonec nedošlo, vedení oddělení si nepřálo konkrétní výše dávek na kritické orgány v bakalářské práci zveřejnit. Byly ale poskytnuty k nahlédnutí dávkové optimalizační meze (dose constraints), se kterými je při přípravě ozařovacího plánu počítáno, a jsou součástí přílohy.

4 VÝSLEDKY

Otázka č. 1 - Jaké je vaše pohlaví?

- a) Muž
- b) Žena



Graf 1: Rozdělení celkového počtu pacientů na muže a ženy

Zdroj: vlastní

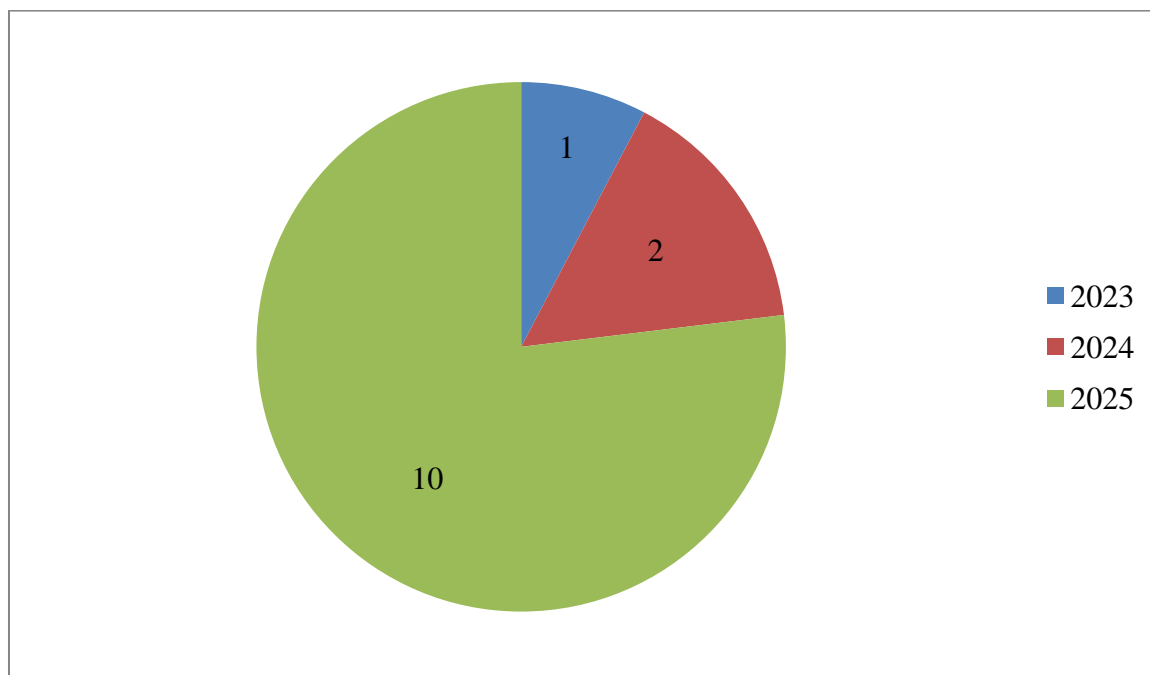
Otázka č. 2 - Kolik vám je let?

Tabulka 1: Věk pacientů

Pohlaví a věk	
<i>Muži</i>	<i>Ženy</i>
44	28
73	77
78	43
76	72
58	45
72	15
78	—

Zdroj: vlastní

Otázka č. 3 - Kdy jste ozařování podstoupil/a?

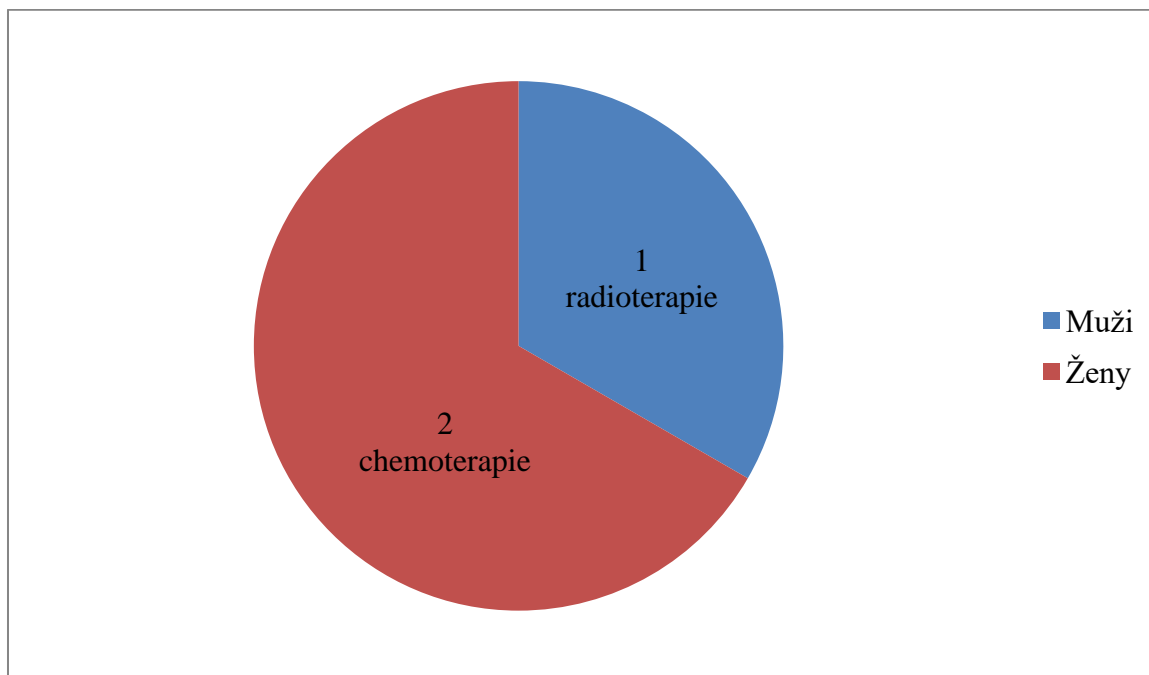


Graf 2: V jakém roce pacienti podstoupili ozařování

Zdroj: vlastní

Graf č. 2 nám znázorňuje, v jakém roce pacienti podstoupili ozařování. 76,9 % pacientů (konkrétně 10) podstoupila ozařování v roce 2025. V roce 2024 podstoupili 2 pacienti ozařování, tedy 15,4 %. 1 pacient v roce 2023 (7,7 %).

Otázka č. 4 - Absolvoval/a jste současně s ozařováním ještě jinou onkologickou léčbu? (např. chemoterapie, biologická léčba, hormonální terapie)



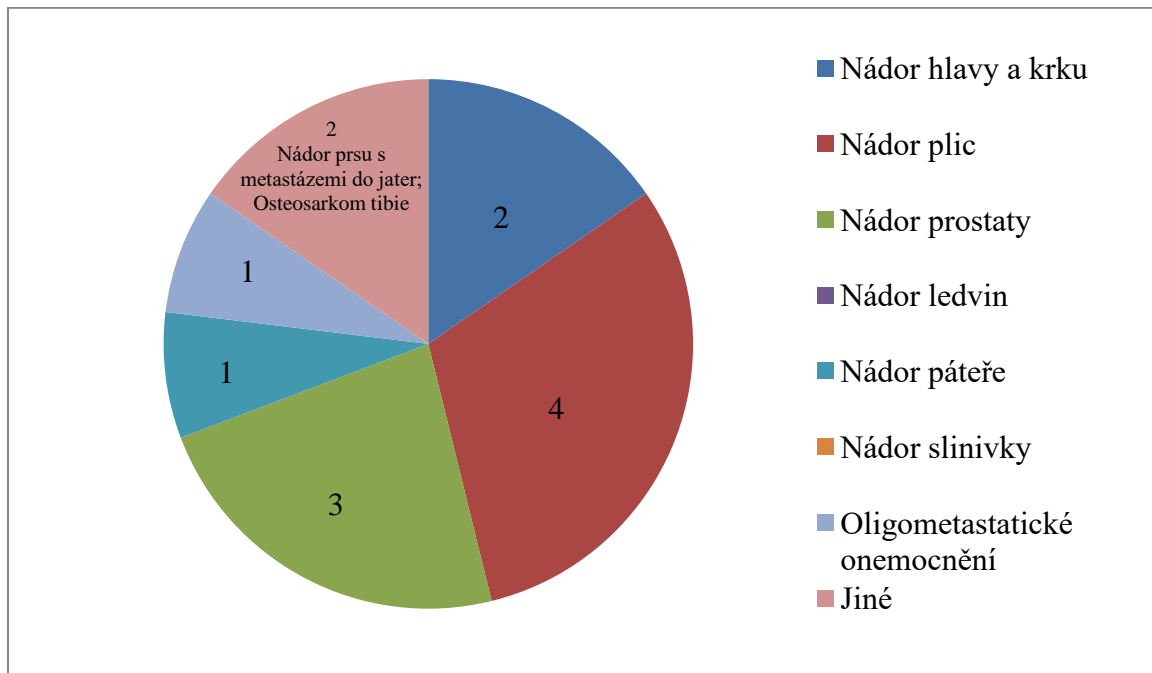
Graf 3: Pacienti, kteří podstoupili SBRT současně s další jinou léčbou

Zdroj: vlastní

Celkem 3 pacienti (23,1 %) ze 13 podstoupili ještě jinou onkologickou léčbu současně s ozařováním. Jeden pacient (konkrétně muž – 7,7 %), současně s ozařováním podstoupil také radioterapii. Z žen pak 2 pacientky (15,4 %) podstoupily chemoterapii společně s ozařováním.

Tato otázka se zaměřuje na efekt léčby. Kombinace SBRT s chemoterapií může fungovat jako radiosenzitizér, tzn., že zvyšuje citlivost nádorových buněk na záření. Má za cíl zlepšit lokální kontrolu. Kombinace SBRT s radioterapií se používá zřídka, spíše se používá postupně. Má za cíl dostat vysokou dávku záření s vyšší zátěží na nádor a menší dávku do okolních oblastí.

Otázka č. 5 - Jaké bylo základní onkologické onemocnění, kvůli kterému jste podstoupil/a SBRT?

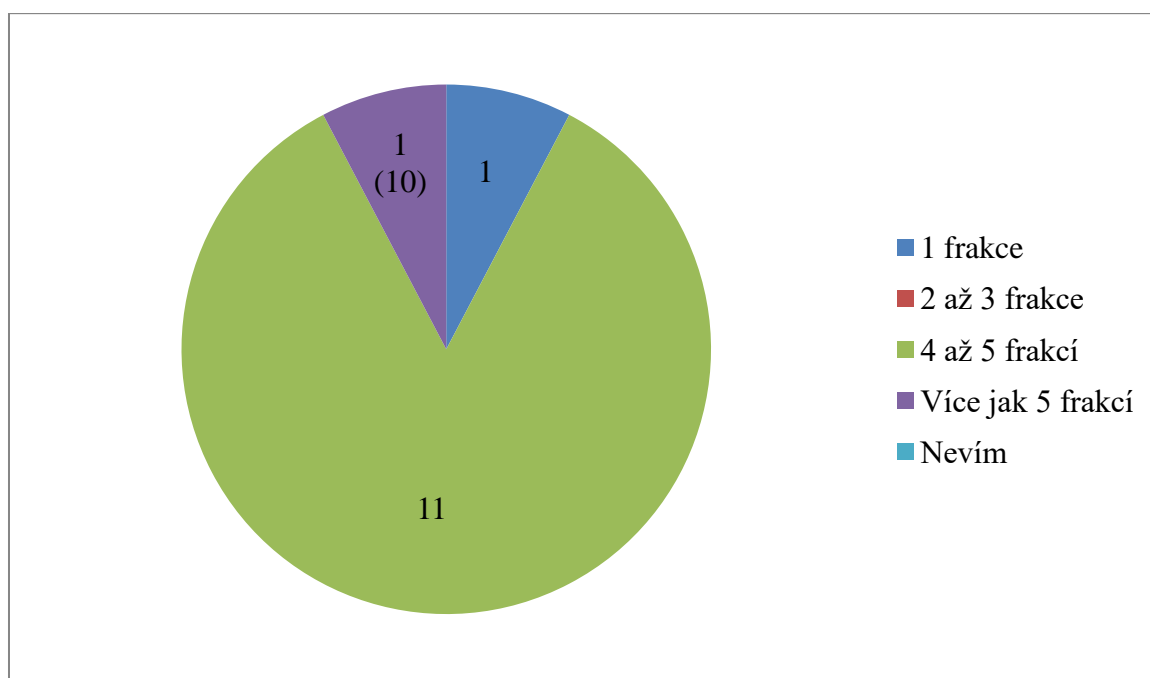


Graf 4: Jaké onkologické onemocnění pacienti podstoupili

Zdroj: vlastní

Nejvíce pacientů podstoupilo SBRT kvůli onkologickému onemocnění plic a to konkrétně 30,8 % pacientů. Na druhém místě byl nádor prostaty (celkem 2 pacienti – 15,4 %). Dále se 2 pacienti, tedy 15,4 %) podrobili ozařování kvůli nádoru hlavy a krku. 7,7 % pacientů trpělo nádorem prsu s metastázemi do jater a osteosarkomem tibie.

Otázka č. 6 - Kolik ozáření (frakcí) jste podstoupil/a?

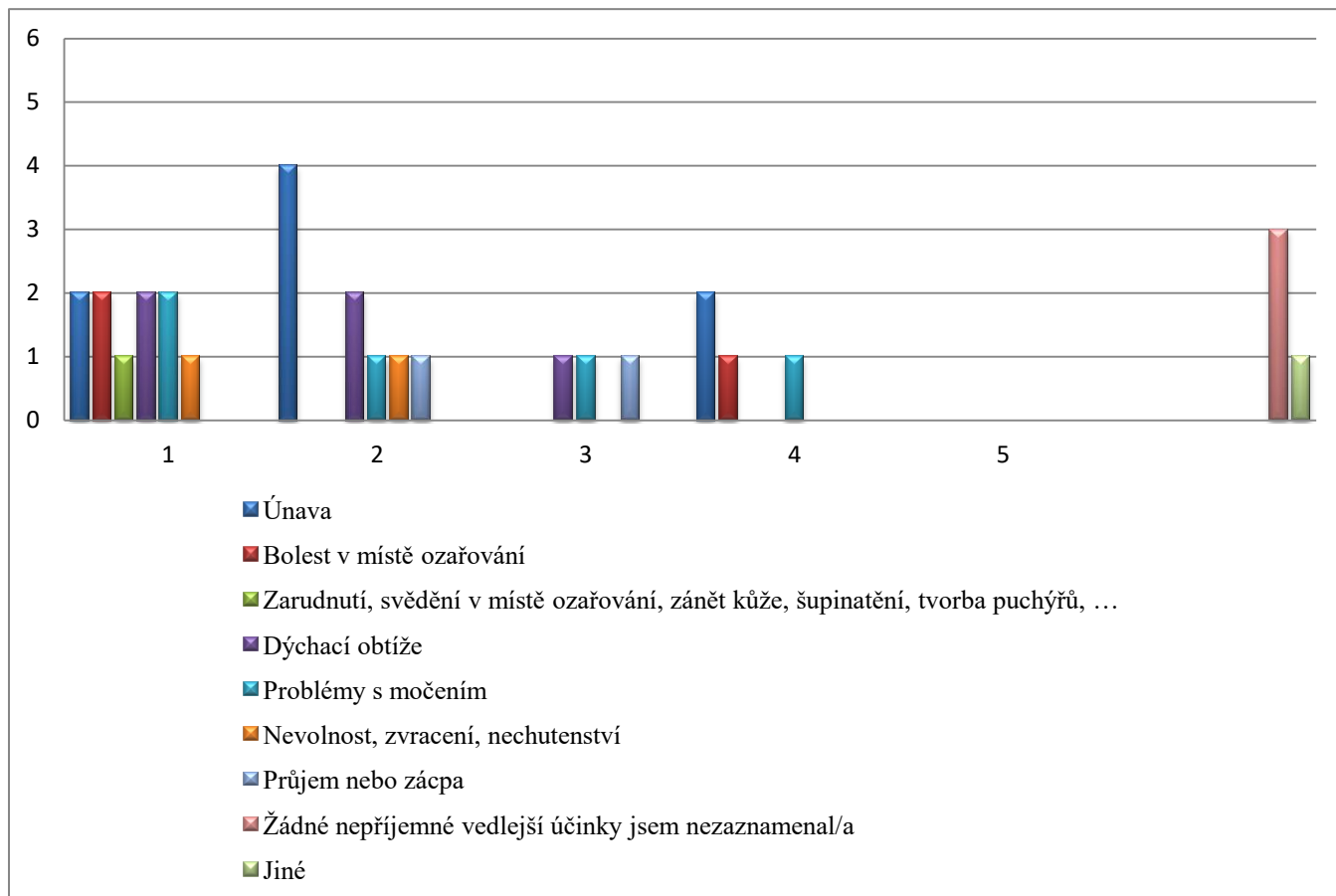


Graf 5: Kolik frakcí pacienti podstoupili

Zdroj: vlastní

84,7 % pacientů bylo ozařováno celkovým počtem 4 až 5 frakcí. 7,7 % pacientů podstoupilo 1 frakci a to samé platí i pro pacienta s 10 frakcemi.

Otázka č. 7 - Jaké vedlejší účinky jste zaznamenal/a během léčby nebo krátce po ní? Pokud ANO, ohodnoťte na škále od 1 do 5, jak závažné byly (1 = hodně mírné / 5 = hodně závažné); (akutní nežádoucí účinky)



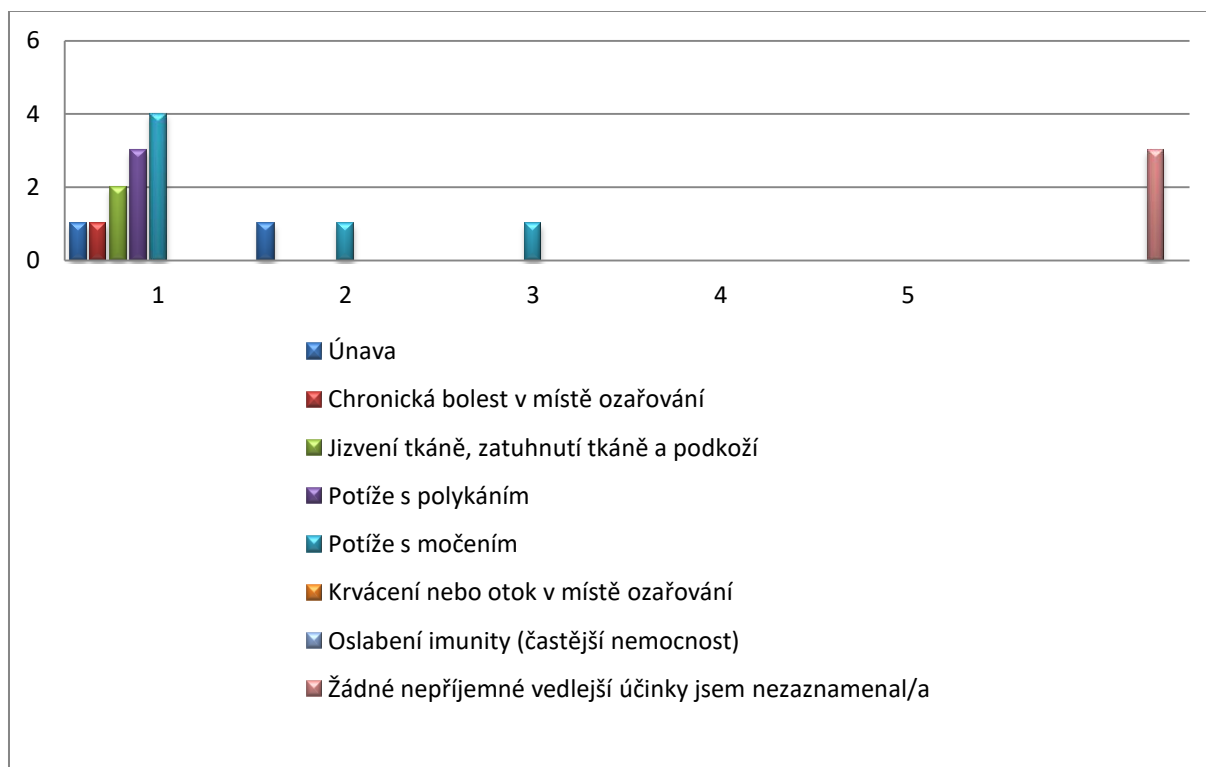
Obrázek 4: Akutní nežádoucí účinky

Zdroj: vlastní

Graf č. 6 znázorňuje akutní nežádoucí účinky vyvolané ozařováním. Osa x popisuje škálu od 1 do 5, jak závažné byly nežádoucí účinky. Na ose y je vidět počet pacientů. Na únavu jako akutní nežádoucí účinek jsi stěžovalo celkem 8 pacientů, tedy 61,5 %. 30,8 % z nich zaškrtili na škále od 1 do 5 číslo 2, 15,4 % číslo 4 a 15,4 % číslo 1. Bolest v místě ozařování se objevila u 23,1 % pacientů. 15,4 % zaškrtili číslo 1 na škále bolesti a 7,7 % číslo 4. Zarudnutí, svědění v místě ozařování, ... u 7,7 % pacientů a to na škále 1. Dýchací obtíže trápily celkem 23,1 % pacientů. U 15,4 % pacientů na škále bolesti na čísle 1. 15,4 % a 7,7 % pacientů na čísle 3. Problémy s močením byly zaznamenány u 38,5 % pacientů. U 15,4 % pacientů na čísle 1 a u zbylých 23,1 % pacientů na číslech 2, 3, a 4. Nevolnost, zvracení a nechutenství trápilo 15,4 % pacientů. Na škále od 1 do 5, 7,7 % pacientů zaškrtilo číslo 1 a 7,69 % číslo 2. Průjem nebo zácpa celkově u 15,4 % případů. 7,7 % na čísle 2 a 7,7 % na čísle 3. Žádné

nepříjemné vedlejší účinky nezaznamenalo celkem 23,1 % pacientů. 7,7 % pacientů uvádí jako akutní nežádoucí účinek pálení žáhy.

Otázka č. 8 - Jaké vedlejší účinky jste zaznamenal/a po uplynutí několika měsíců a déle po skončení léčby? Pokud ANO, ohodnoťte na škále od 1 do 5, jak závažné byly (1 = hodně mírné / 5 = hodně závažné); (pozdní nežádoucí účinky)

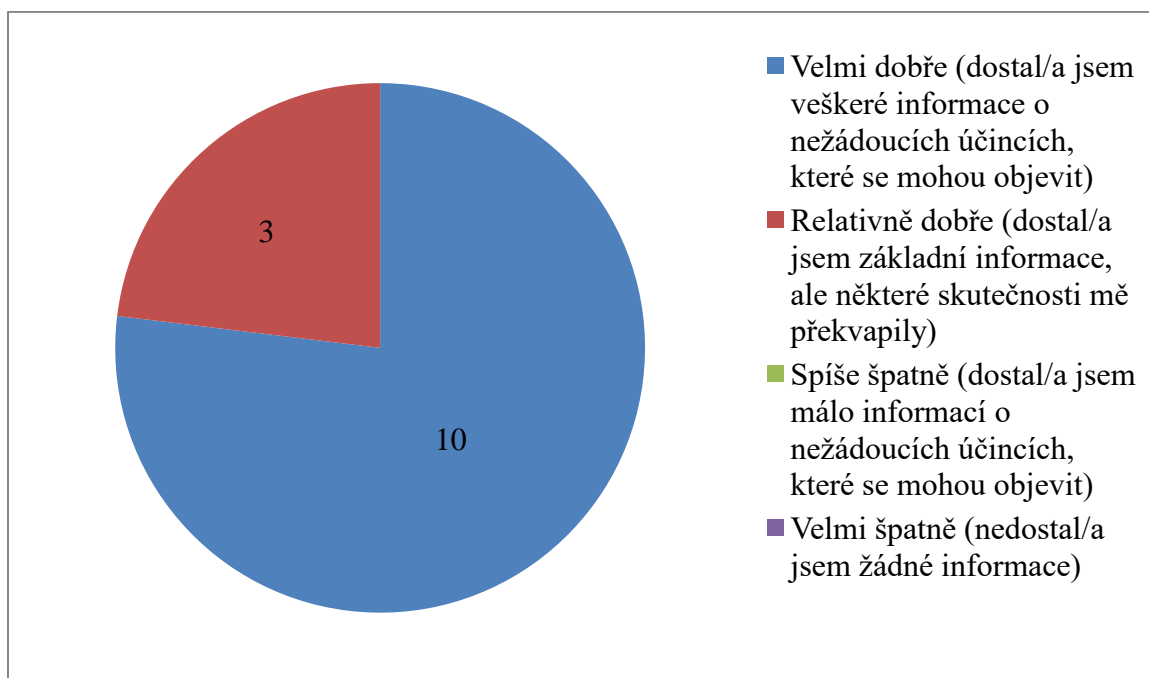


Graf 7: Vedlejší nežádoucí účinky

Zdroj: vlastní

Graf vedlejších nežádoucích účinků. Na ose x je znázorněna škála bolesti od 1 do 5 závažnosti vedlejších nežádoucích účinků. Osa y udává počet pacientů. 15,4 % pacientů uvedlo únavu. 7,7 % na čísle 1 v závažnosti a 7,7 % na čísle 2. Chronická bolest v místě ozařování se objevila u 7,7 % pacientů a to na čísle 1 na škále bolesti. Jizvení tkáně, zatuhnutí tkáně a podkoží jako nežádoucí účinek uvedlo 15,4 % pacientů a to na čísle 1 na škále bolesti. Potíže s polykáním se objevily u 23,1 % pacientů na nejmenším čísle na škále na čísle 1. Potíže s močením se objevily celkem u 46,2 % pacientů. U 30,8 % na čísle 1 a zbylých 15,4 % na čísle 2 a 3 na škále bolesti. Krvácení nebo otok v místě ozařování a oslabení imunity se neobjevili u žádného z pacientů. Celkem 23,1 % pacientů nezaznamenaly žádné nepříjemné vedlejší účinky.

Otázka č. 9 - Jak dobře jste byl/a informován/a o možných nežádoucích účincích před zahájením léčby?

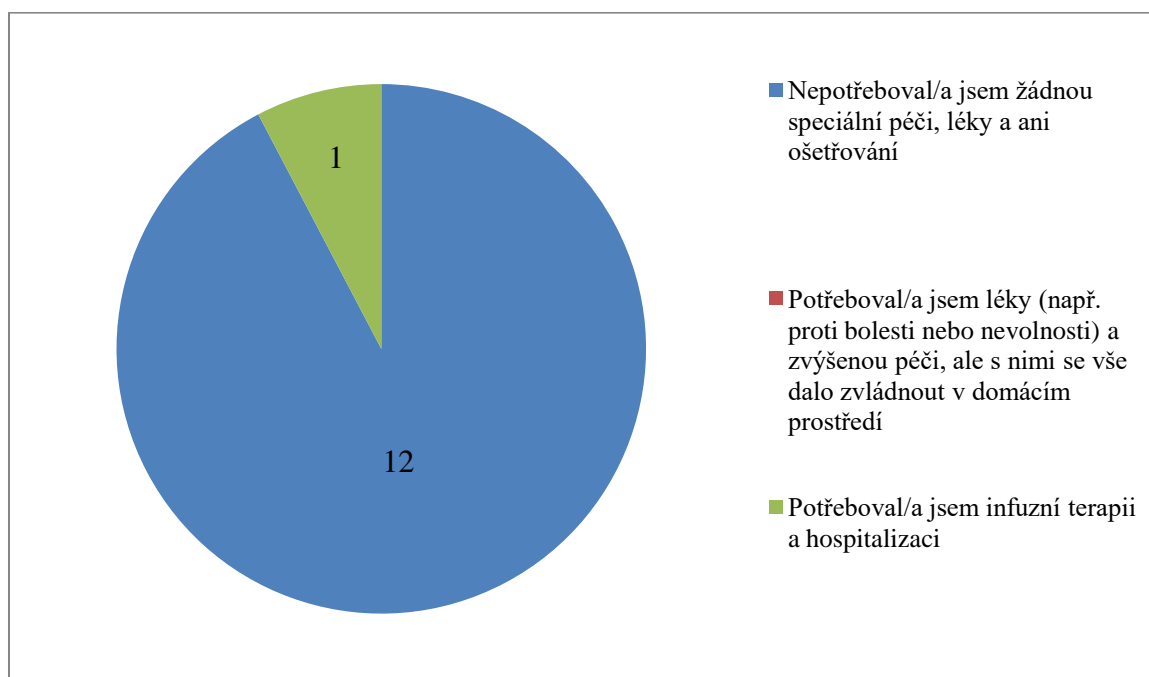


Graf 8: Informovatelnost pacientů o léčbě

Zdroj: vlastní

Většina pacientů byla o léčbě seznámena velice dobře a dostala veškeré informace. 76,9 % zaškrtnulo, že dostala veškeré informace. Zbývající 23,1 % zaškrtnulo možnost relativně dobře. Základní informace dostaly, ale některé věci je překvapily v souvislosti s léčbou.

Otázka č. 10 - Jak jste zvládl/a nežádoucí účinky léčby?

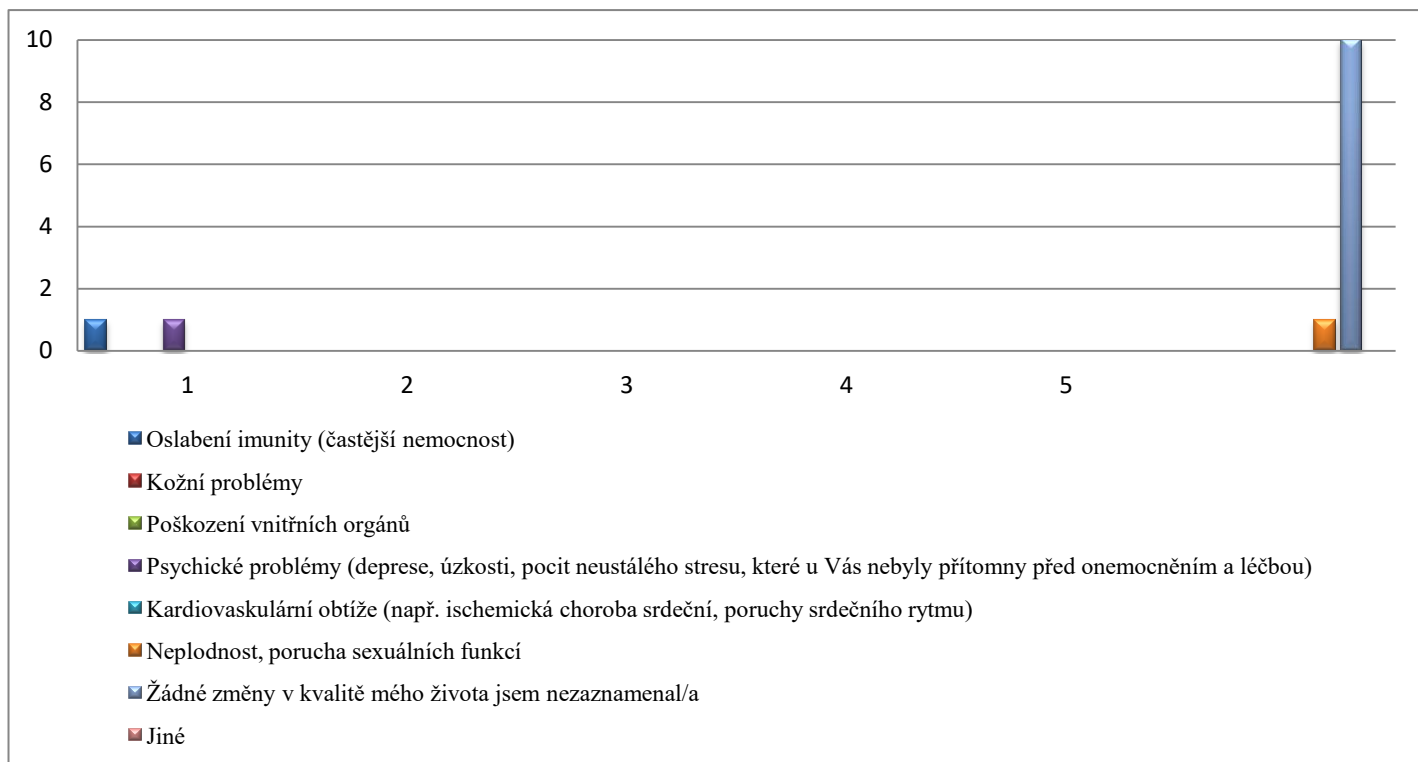


Graf 9: Jak pacienti zvládali nežádoucí účinky léčby

Zdroj: vlastní

92,3 % pacientů zvládla nežádoucí účinky bez jakékoli speciální péče nebo léků. Pouze u 7,7 % pacientů byla potřeba infuzní terapie a hospitalizace.

Otázka č. 11 - Pozorujete po léčbě změnu ve kvalitě Vašeho života? Pokud ANO, ohodnoťte na škále od 1 do 5, jak závažné pro Vás tyto změny jsou (1 = žádné změny / 5 = výrazné zhoršení kvality života)



Graf 10: Změny ve kvalitě života po ukončení léčby

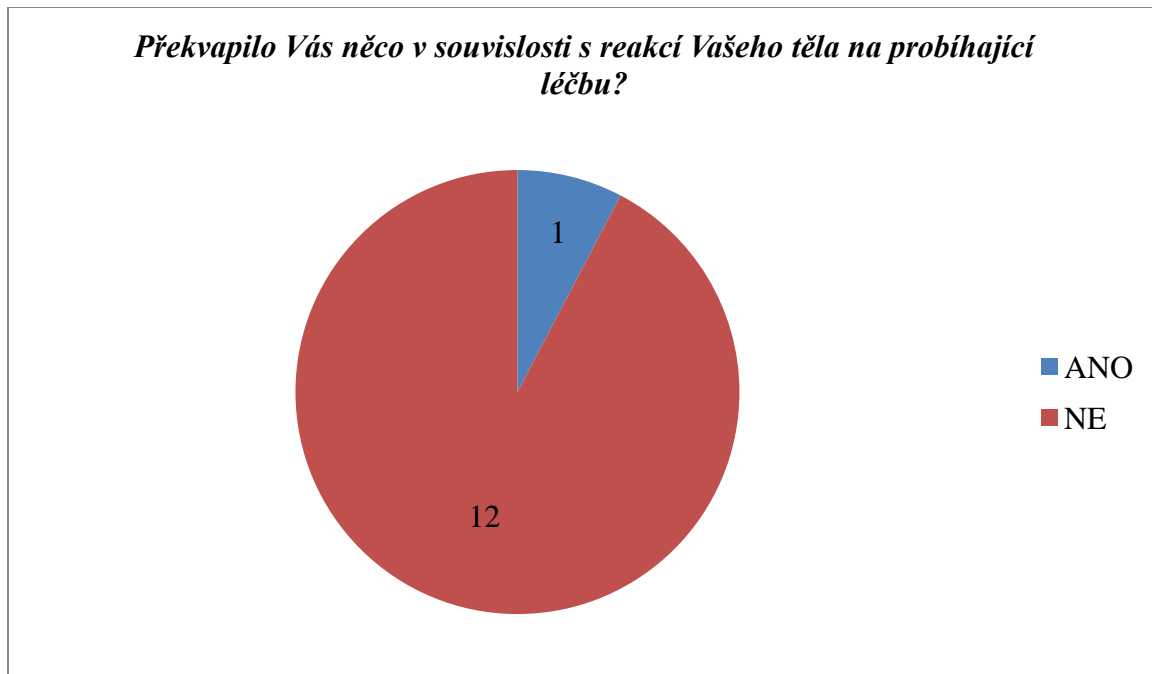
Zdroj: vlastní

Graf č. 10 ukazuje změny ve kvalitě života pacientů po ukončení léčby. Osa x představuje škálu od 1 do 5, jak moc závažné změny ve kvalitě života se u pacientů objevili. Na ose y je počet pacientů. 76,9 % pacientů nepozoruje žádné změny ve kvalitě jejich života po ukončení léčby. U 7,7 % pacientů se objevila neplodnost / poruchu sexuálních funkcí. 7,7 % vykazuje oslabení imunity a 7,7 % psychické problémy. Oba případy zaškrtnly závažnost změn na škále od 1 do 5 číslem 1.

Otázka č. 12 - Doplňující otázky

a) Překvapilo Vás něco v souvislosti s reakcí Vašeho těla na probíhající léčbu?

b) Kdybyste měl/a znovu možnost, podstoupil/a byste tuto metodu léčby znovu? Pokud ne, co je důvodem takové úvahy a rozhodnutí?

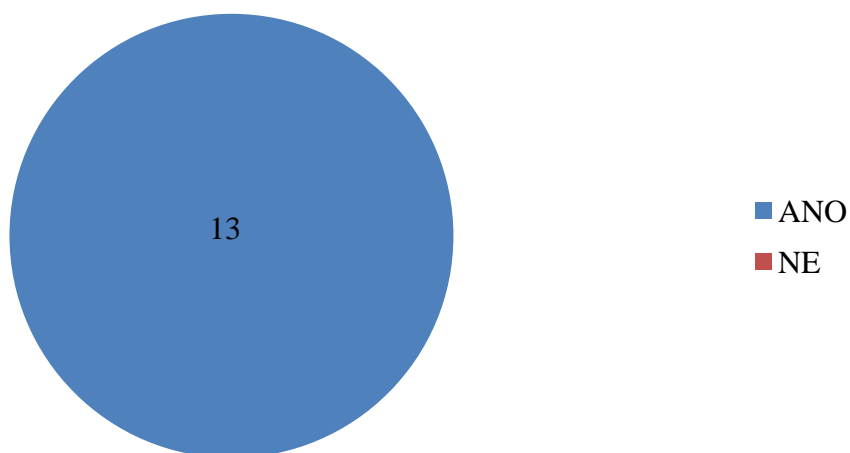


Graf 11: Překvapení pacientů v souvislosti s léčbou

Zdroj: vlastní

Téměř nikoho z pacientů nepřekvapilo vůbec nic během léčby. Respektive, žádná reakce jejich těla na léčbu. Pouze u 7,7 % pacientů překvapila větší únava v průběhu léčby.

Kdybyste měl/a znovu možnost, podstoupil/a byste tuto metodu léčby znovu? Pokud ne, co je důvodem takové úvahy a rozhodnutí?



Graf 12: Možnost pacientů znovu podstoupit léčbu

Zdroj: vlastní

Všichni pacienti, respektive 100 %, kteří podstoupili tuto metodu léčby, uvedli, že kdyby měli možnost si léčbu znovu vybrat, tak by to udělali. Byli kompletně spokojeni s léčbou od samotného začátku až do konce.

5 DISKUZE

Bakalářská práce je zaměřena na extrakraniální stereotaktickou radioterapii (SBRT) a její využití v léčbě různých typů nádorových onemocnění. Na základě informací z proběhlých studií od Cammin (2022), ze kterých bylo čerpáno pro zpracování teoretické části práce, jasně vyplynulo, jak velkou roli v kvalitě této metody ozařování hraje přesnost aplikace záření a preciznost v rámci přípravy ozařovacího plánu. Metoda pracuje s vysokými dávkami záření na frakci, kdy je navíc celková léčebná dávka aplikována v nízkém počtu frakcí (obvykle 1 až 5 frakcí).

Pro zachování kvality SBRT vyžaduje přesné zacílení ozařovaného objemu a často i sledování případného pohybu cílového objemu v čase. Cílem je kromě terapeutického úspěchu s aplikací vysoké dávky také maximální snaha nepoškodit kritické orgány a snížení zatížení zdravých okolních tkání dávkou záření. Klíčovou roli pro zachování přesnosti aplikace záření hrají zobrazovací metody, jako jsou například 4D-CT a MRI zobrazování, používány jsou moderní ozařovací techniky, jako jsou techniky VMAT a IMRT.

Při porovnání účinnosti SBRT s ostatními léčebnými metodami, jako jsou chirurgie nebo brachyterapie, se ukazuje, že SBRT přináší mírně lepší výsledky. Např. u pacientů s rakovinou prostaty má aplikovaná SBRT podobnou terapeutickou účinnost jako u pacientů, jež absolvovaly chirurgickou prostatektomii, ale pacienti po prodělaném stereotaktickém ozáření trpěli menším poklesem kvality života. (Moon et al., 2020).

I když rozsah dotazníkového šetření byl výrazně nižší, než bylo původně plánováno, výsledky přinesly určitá zjištění. Velkým překvapením pro mne byla skutečnost, jak dobře pacienti stereotaktické ozáření snášejí. Očekával jsem vyšší míru komplikací po léčbě, protože aplikované dávky záření jsou opravdu vysoké. Po proběhlém dotazování se ale prokázalo, že ve skutečnosti se vážnější vedlejší účinky vyskytují spíše výjimečně. Vyšší zastoupení u popisovaných vedlejších účinků měla dlouhodobá únava. Pacienti také často zmiňovali dýchací obtíže nebo problémy s močením v závislosti na ozařované lokalitě, ale všechny tyto nežádoucí účinky léčby měly zastoupení na škále snášenlivosti od 1 do 5 na čísle 1, což popisuje negativní účinky jako hodně mírné.

U výsledků citovaných studií mne překvapilo, jak vysoká je účinnost SBRT nejen u nádorů plic nebo nádorů jater, ale i u dalších indikací, jako jsou karcinom slinivky nebo nádory páteře. Například v případě jaterních metastáz byla uvedena míra lokální kontroly až 90 %. Myslel jsem si, že u jater bude účinnost léčby mnohem nižší kvůli jejich částečné pohyblivosti

v souvislosti s pohybem bránice a anatomické lokalizaci v blízkosti radiosenzitivních tkání. Vyvozují tedy, že vysoká účinnost léčby je zapříčiněna vysokou přesností a malým počtem frakcí SBRT.

Výsledky dotazníkové šetření naznačují, že pacienti po proběhlé stereotaktické léčbě nepocítují příliš velké změny v kvalitě svého života. Více jak 75 % pacientů v současnosti nepozoruje dokonce žádnou významnou změnu v kvalitě svého života po skončení ozařování. Očekával bych, že taková radikální léčba na pacientech zanechá větší následky, minimálně v jejich subjektivním vnímání.

Z dotazníkového šetření také vyplynulo, že pacienti byli s proběhlou léčbou spokojeni. 100 % pacientů by léčbu podstoupilo znovu, kdyby mělo možnost se o radioterapii znovu rozhodovat a volit z různých léčebných modalit. Myslím si, že k takovému pozitivnímu vnímání léčby přispěl i fakt, že se pacienti cítili být dobře informováni o průběhu a vedlejších účincích léčby.

6 ZÁVĚR

Extrakraniální stereotaktická radioterapie (SBRT) představuje metodu ozařováním soustředěnou na přesné ozáření lokalizované nádorové léze velmi vysokou dávkou záření. Teoretické část práce se zaměřuje na technologii a zařízení, která jsou používána v souvislosti s prováděním SBRT, a to jak v ČR, tak na Slovensku. Významná část teoretické části je zaměřena na vedlejší účinky a komplikace SBRT, na její výsledky a účinnost. Dále je rozebírána frakcionace, příprava ozařovacího plánu a budoucí směřování této ozařovací metody.

Na základě stanovených cílů byly zodpovězeny výzkumné otázky. První zněla, zde se liší nějakým způsobem časné a pozdní nežádoucí účinky léčby SBRT v porovnání s aplikací nesterotaktických metod u vybraných diagnóz. K dosažení cíle a následnému zodpovězení výzkumné otázky byl proveden výzkum formou dotazníkového šetření, kterého se zúčastnilo celkem 13 respondentů. Ze zpracovaných výsledků vyplynulo, že časné nežádoucí účinky bývají obdobné jako u klasické (nestereotaktické) radioterapie, ale mívají mírnější průběh. Pozdní nežádoucí účinky se vyskytují méně často než u nestereotaktické radioterapie. Zjištěné informace o četnostech a závažnosti nežádoucích účinků reflektují s vlastnostmi stereotaktického ozařování, u kterého je kladen vyšší důraz na přesné cílení záření a maximální snahu o snížení dávky na kritické orgány.

Druhá otázka zněla, v jakých hodnotách se obvykle pohybují dávky na kritické orgány u vybraných diagnóz léčených SBRT. Přesné hodnoty jsem bohužel do mé práce použít nemohl, protože oddělení Ústavu radiační terapie v ÚVN jsi nepřálo zveřejnit dávky. Tato otázka bohužel může být zodpovězena jen částečně, a to na základě práce s příloženými tabulkami rozmezí dávkových limitů pro ozařování v oblasti hrudníku, břicha a pánve. Bakalářská práce by svou teoretickou částí mohla být užitečná pro studenty zdravotnických oborů, kterým by mohla posloužit jako stručný edukační materiál. Dále by práce mohla být nápomocná pacientům nebo laické veřejnosti při informování se o nežádoucích účincích extrakraniální stereotaktické radioterapie.

7 SEZNAM LITERATURY

- 1) Amini, A., McDermott, J. D., Gan, G., Bhatia, S., Sumner, W., Fisher, C. M., Jimeno, A., Bowles, D. W., Raben, D., & Karam, S. D. (2014). Stereotactic Body Radiotherapy as Primary Therapy for Head and Neck Cancer in the Elderly or Patients with Poor Performance. *Frontiers in Oncology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fonc.2014.00274>
- 2) *A new tool in the fight against lung cancer: SBRT*. (2015). UT Southwestern Medical Center. Retrieved December 22, 2024, from <https://utswmed.org/medblog/sbirt-lung-cancer/>
- 3) Burkoň, P., Slávik, M., Kazda, T., Pospíšil, P., Procházka, T., Vrzal, M., & Šlampa, P. (2019). Stereotactic Body Radiotherapy – Current Indications. *Klinická Onkologie*, 32(1), 10 - 24. <https://doi.org/10.14735/amko201910>
- 4) Burkon, P., Selingerova, I., Slavik, M., Pospisil, P., Bobek, L., Kominek, L., Osmera, P., Prochazka, T., Vrzal, M., Kazda, T., & Slampa, P. (2021). Stereotactic Body Radiotherapy for Lymph Node Oligometastases: Real-World Evidence From 90 Consecutive Patients. *Frontiers in Oncology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.616494>
- 5) Brook, I. (2020). Late side effects of radiation treatment for head and neck cancer. *Radiation Oncology Journal*, 38(2), 84-92. <https://doi.org/10.3857/roj.2020.00213>
- 6) Burkoň, P., Šlampa, P., Slavík, M., Kazda, T., Procházka, T., Vrzal, M., Francová, D., Budinská, E., *RADIOCHIRURGIE TUMORŮ PLIC, JATER A UZLIN (SBRT)*. (2013). Linkos. Retrieved December 26, 2024, from https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/radiochirurgie-tumoru-plic-jater-a-uzlin-sbirt/?utm_source=chatgpt.com
- 7) Caivano, D., Bonome, P., Pezulla, D., Rotondi, M., Sigillo, R. C., De Sanctis, V., Valeriani, M., & Osti, M. F. (2023). Stereotactic body radiation therapy for the treatment of lymph node metastases: a retrospective mono-institutional study in a large cohort of patients. *Frontiers in Oncology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fonc.2023.1163213>
- 8) Comito, T., Massaro, M., Teriaca, M. A., Franzese, C., Franceschini, D., Navarra, P., Clerici, E., Di Cristina, L., Bertolini, A., Tomatis, S., Reggiori, G., Bresolin, A., Bozzarelli, S., Rimassa, L., Bonifacio, C., Carrara, S., Santoro, A., Zerbi, A., & Scorsetti, M. (2023). Can STereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) Improve the Prognosis of Unresectable Locally Advanced Pancreatic Cancer? Long-Term Clinical Outcomes, Toxicity and

Prognostic Factors on 142 Patients (STEP Study). *Current Oncology*, 30(7), 7073-7088. <https://doi.org/10.3390/curroncol30070513>

9) Chiang, C. L., Lee, F. A. S., Chan, K. S. K., Lee, V. W. Y., Chiu, K. W. H., Ho, R. L. M., Fong, J. K. S., Wong, N. S. M., Yip, W. W. L., Yeung, C. S. Y., Lau, V. W. H., Man, K., Kong, F. -M. S., & Chan, A. C. Y. (2024). Survival Outcome Analysis of Stereotactic Body Radiotherapy and Immunotherapy (SBRT-IO) versus SBRT-Alone in Unresectable Hepatocellular Carcinoma. *Liver Cancer*, 13(3), 273-284. <https://doi.org/10.1159/000533425>

10) Carter, D. (2018). *Stereotactic body radiation therapy: a new option for pancreatic cancer patients*. MD Anderson Cancer Center. Retrieved December 21, 2024, from <https://www.mdanderson.org/cancerwise/stereotactic-body-radiation-therapy--a-new-treatment-option-for-pancreatic-cancer-patients.h00-159228090.html>

11) Chase, D. (2023). *Stereotactic Body Radiation Therapy Demonstrates 'Exceptional Control' in Primary Renal Cell Carcinoma*. The ASCO Post. Retrieved December 22, 2024, from <https://ascopost.com/issues/november-10-2023/stereotactic-body-radiation-therapy-demonstrates-exceptional-control-in-primary-renal-cell-carcinoma/>

12) Chan, A. (2024). *SBRT May Be Effective in Managing Intermediate-Risk Prostate Cancer*. Cure. Retrieved December 22, 2024, from <https://www.curetoday.com/view/sbirt-may-be-effective-in-managing-intermediate-risk-prostate-cancer>

13) Cammin, J. (2022). *Current and future motion management techniques in imaging for RT simulation*.

14) Compston, A. (2007). The structure and functions of the cerebellum examined by a new method. By Sir Victor Horsley, FRS, FRCS and R.H. Clarke, MA, MB. *Brain* 1908: 31; 45-124. *Brain*, 130(6), 1449-1452. <https://doi.org/10.1093/brain/awm115>

15) Collins, B. T., Vahdat, S., Erickson, K., Collins, S. P., Suy, S., Yu, X., Zhang, Y., Subramaniam, D., Reichner, C. A., Sarikaya, I., Esposito, G., Yousefi, S., Jamis-Dow, C., Banovac, F., & Anderson, E. D. (2009). Radical cyberknife radiosurgery with tumor tracking: an effective treatment for inoperable small peripheral stage I non-small cell lung cancer. *Journal of Hematology & Oncology*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/1756-8722-2-1>

16) *CYBERKNIFE® SYSTEM Technology*. (2024). CyberKnife. Retrieved December 23, 2024, from <https://cyberknife.com/cyberknife-technology/>

- 17) Dona Lemus, O. M., Cao, M., Cai, B., Cummings, M., & Zheng, D. (2024). Adaptive Radiotherapy: Next-Generation Radiotherapy. *Cancers*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/cancers16061206>
- 18) Dagoglu, N., Callery, M., Moser, J., Tseng, J., Kent, T., Bullock, A., Miksad, R., Mancias, J. D., & Mahadevan, A. (2016). Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) Reirradiation for Recurrent Pancreas Cancer. *Journal of Cancer*, 7(3), 283-288. <https://doi.org/10.7150/jca.13295>
- 19) Facondo, G., Vullo, G., De Sanctis, V., Rotondi, M., Sigillo, R. C., Valeriani, M., & Osti, M. F. (2023). Clinical Outcomes of Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) for Oligometastatic Patients with Lymph Node Metastases from Gynecological Cancers. *Journal of Personalized Medicine*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/jpm13020229>
- 20) *Gamma Knife Surgery*. (2024). Cleveland Clinic. Retrieved December 22, 2024, from <https://my.clevelandclinic.org/health/procedures/16559-gamma-knife-surgery>
- 21) Hamilton, A. J., Lulu, B. A., Fosmire, H., Stea, B., & Cassady, J. R. (1995). Preliminary Clinical Experience with Linear Accelerator-based Spinal Stereotactic Radiosurgery. *Neurosurgery*, 36(2), 311-319. <https://doi.org/10.1227/00006123-199502000-00010>
- 22) Heck, B., Jess-Hempfen, A., Kreiner, H. J., Schöpgens, H., & Mack, A. (2007). Accuracy and stability of positioning in radiosurgery: Long term results of the Gamma Knife system. *Medical Physics*, 34(4), 1487-1495. <https://doi.org/10.1118/1.2710949>
- 23) Jensen, R. L., Stone, J. L., & Hayne, R. A. (1996). Introduction of the Human Horsley-Clarke Stereotactic Frame. *Neurosurgery*, 38(3), 563-567. <https://doi.org/10.1097/00006123-199603000-00029>
- 24) Jung, J., Yoon, S. M., Park, J. -hong, Seo, D. -W., Lee, S. S., Kim, M. -H., Lee, S. K., Park, D. H., Song, T. J., Ryoo, B. -Y., Chang, H. -M., Kim, K. -pyo, Yoo, C., Jeong, J. H., Kim, S. C., Hwang, D. W., Lee, J. H., Song, K. B., Jo, Y. Y., et al. (2019). Stereotactic body radiation therapy for locally advanced pancreatic cancer. *PLOS ONE*, 14(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214970>
- 25) Kupelian, P. A., Forbes, A., Willoughby, T. R., Wallace, K., Mañon, R. R., Meeks, S. L., Herrera, L., Johnston, A., & Herran, J. J. (2007). Implantation and Stability of Metallic

Fiducials Within Pulmonary Lesions. *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*, 69(3), 777-785. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2007.03.040>

26) Landry, G., Kurz, C., & Traverso, A. (2023). The role of artificial intelligence in radiotherapy clinical practice. *BJR/Open*, 5(1). <https://doi.org/10.1259/bjro.20230030>

27) Liu, H., Schaal, D., Curry, H., Clark, R., Magliari, A., Kupelian, P., Khuntia, D., & Beriwal, S. (2023). Review of cone beam computed tomography based online adaptive radiotherapy: current trend and future direction. *Radiation Oncology*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s13014-023-02340-2>

28) Martin, A., & Gaya, A. (2010). Stereotactic Body Radiotherapy: A Review. *Clinical Oncology*, 22(3), 157-172. <https://doi.org/10.1016/j.clon.2009.12.003>

29) Mohamad, I., Karam, I., El-Sehemy, A., Abu-Gheida, I., Al-Ibraheem, A., AL-Assaf, H., Aldehaim, M., Alghamdi, M., Alotain, I., Ashour, M., Bushehri, A., ElHaddad, M., & Hosni, A. (2023). The Evolving Role of Stereotactic Body Radiation Therapy for Head and Neck Cancer: Where Do We Stand? *Cancers*, 15(20). <https://doi.org/10.3390/cancers15205010>

30) Mohan, R., Kneebone, A., Eade, T., Hsiao, E., Emmett, L., Brown, C., Hunter, J., & Hruby, G. (2023). Long-term outcomes of SBRT for PSMA PET detected oligometastatic prostate cancer. *Radiation Oncology*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s13014-023-02302-8>

31) Moon, Y. M., Jeon, W., Yu, T., Bae, S. I., Kim, J. Y., Kang, J. -K., & Choi, C. W. (2020). Which Is Better for Liver SBRT: Dosimetric Comparison Between DCAT and VMAT for Liver Tumors. *Frontiers in Oncology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.01170>

32) Misher, C. (2023). *Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) Side Effects (Lung, Liver, Prostate, and Pancreas)*. OncoLink. Retrieved December 21, 2024, from <https://www.oncolink.org/cancer-treatment/radiation/side-effects-of-radiation-therapy/stereotactic-body-radiation-therapy-sbirt-side-effects-lung-liver-prostate-and-pancreas>

33) *Národný onkologický ústav*. Národný onkologický ústav. Retrieved April 2, 2025, from <https://www.nou.sk/oddelenie-radiacnej-onkologie>

34) *Nežádoucí účinky radioterapie*. Linkos. Retrieved December 26, 2024, from https://www.linkos.cz/pacient-a-rodina/pece-o-pacienta/nezadouci-ucinky-lecby-chemo/nezadouci-ucinky-radioterapie-4/?utm_source=chatgpt.com

- 35) *Nové techniky radioterapie.* (2017). Retrieved December 23, 2024, from <https://www.linkos.cz/pacient-a-rodina/lecba/jak-se-lecit/radioterapie-ozarovani/nove-techniky-radioterapie/>
- 36) *Oddelenie radiačnej onkológie.* Východoslovenský onkologický ústav. Retrieved April 2, 2025, from <https://www.vou.sk/pracoviska/oddelenie-radiacnej-onkologie/>
- 37) *Patients in PACE-A study report fewer urinary and sexual side effects after SBRT for prostate cancer.* (2023). RAD Magazine. Retrieved December 23, 2024, from <https://www.radmagazine.com/patients-in-pace-a-study-report-fewer-urinary-and-sexual-side-effects-after-sbrt-for-prostate-cancer/>
- 38) Protokol pro stereotaktickou radioterapii.
- 39) *Proton Therapy.* John Hopkins Medicine. Retrieved December 22, 2024, from <https://www.hopkinsmedicine.org/health/treatment-tests-and-therapies/proton-therapy>
- 40) *PentaHospitals Nemocnica Bory.* Ambulancia radiačnej onkológie Nemocnice Bory. Retrieved April 2, 2025, from <https://nemocnica-bory.sk/en/ambulancia/radiacnej-onkologie/>
- 41) Reshko, L. B. (2020). *SBRT for Prostate Cancer.*
- 42) Rogacki, K. (2021). *Stereotactic Body Radiation Therapy for Primary Renal Cell Carcinoma in Inoperable Patients.*
- 43) Rosenzweig, K. (2017). *Stereotactic Body Radiation Therapy as an Alternative to Surgery in Early-Stage Non–Small-Cell Lung Cancer.* Cancernetwork. Retrieved December 22, 2024, from <https://www.cancernetwork.com/view/stereotactic-body-radiation-therapy-alternative-surgery-early-stage-nonsmall-cell-lung-cancer>
- 44) Sacino, A. N., Chen, H., Sahgal, A., Bettgowda, C., Rhines, L. D., Maralani, P., & Redmond, K. J. (2024). Stereotactic body radiation therapy for spinal metastases: A new standard of care. *Neuro-Oncology*, 26(Supplement_1), S76-S87. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noad225>
- 45) SBRT Effective for Inoperable Early-Stage Lung Cancer. (2014). *Cancer Discovery*, 4(12), OF2-OF2. <https://doi.org/10.1158/2159-8290.CD-NB2014-158>

- 46) *SBRT Emerging as an Important Treatment for Early-Stage Kidney Cancer*. (2023). National Cancer Institute. Retrieved December 21, 2024, from <https://www.cancer.gov/news-events/cancer-currents-blog/2023/kidney-cancer-localized-sbrt-radiation>
- 47) Siva, S., Louie, A. V., Kotecha, R., Barber, M. N., Ali, M., Zhang, Z., Guckenberger, M., Kim, M. -S., Scorsetti, M., Tree, A. C., Slotman, B. J., Sahgal, A., & Lo, S. S. (2024). Stereotactic body radiotherapy for primary renal cell carcinoma: a systematic review and practice guideline from the International Society of Stereotactic Radiosurgery (ISRS). *THE LANCET Oncology*, 25(1). [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(23\)00513-2](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(23)00513-2)
- 48) *Stereotactic body radiotherapy*. (2019). Mayo Clinic. Retrieved December 22, 2024, from <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/sbrt/pyc-20446794>
- 49) *Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT)*. Brigham and Women's hospital. Retrieved December 22, 2024, from <https://www.brighamandwomens.org/radiation-oncology/stereotactic-body-radiation-therapy-sbrt>
- 50) *Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT)*. Kettering Health. Retrieved December 22, 2024, from <https://ketteringhealth.org/services/cancer-care/stereotactic-body-radiation-therapy/>
- 51) *Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT and Stereotactic Radiosurgery (SRS))*. Siteman cancer center. Retrieved December 22, 2024, from <https://siteman.wustl.edu/treatment/siteman-approach/radiation/external-beam-radiation-therapy/stereotactic-body-radiation-therapy-sbrt-and-stereotactic-radiosurgery-srs/>
- 52) *Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) Side Effects and More*. (2024). Verywell Health. Retrieved December 23, 2024, from <https://www.verywellhealth.com/what-is-sbrt-2249187>
- 53) *Stereotactic Radiosurgery (SRS) and Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT)*. Stony Brook Cancer Center. Retrieved December 22, 2024, from <https://cancer.stonybrookmedicine.edu/diagnosis-treatment/radiation-oncology/info/srs>
- 54) Suleja, A., Bilski, M., Laukhtina, E., Fazekas, T., Matsukawa, A., Tsuboi, I., Mancon, S., Schulz, R., Soeterik, T. F. W., Przydacz, M., Nyk, Ł., Rajwa, P., Majewski, W., Campi, R., Shariat, S. F., & Miszczyk, M. (2024). Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT) for the Treatment of Primary Localized Renal Cell Carcinoma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cancers*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/cancers16193276>

- 55) Tan, T. -C., & Black, P. M. L. (2002). Sir Victor Horsley (1857–1916): Pioneer of Neurological Surgery. *Neurosurgery*, 50(3), 607-612. <https://doi.org/10.1097/00006123-200203000-00032>
- 56) *Targeted Radiation Reduces Pain from Cancer Metastases in the Spine*. (2020). National Cancer Institute. Retrieved December 21, 2024, from <https://www.cancer.gov/news-events/cancer-currents-blog/2020/radiation-sbrt-painful-spinal-metastases>
- 57) Tham, J. L. M., Ng, S. P., Khor, R., Wada, M., Gan, H., Thai, A. A., Corry, J., Bahig, H., Mäkitie, A. A., Nuyts, S., De Bree, R., Strojjan, P., Ng, W. T., Eisbruch, A., Chow, J. C. H., & Ferlito, A. (2024). Stereotactic Body Radiotherapy in Recurrent and Oligometastatic Head and Neck Tumours. *Journal of Clinical Medicine*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/jcm13113020>
- 58) *Univerzitná nemocnica Martin*. Univerzitná nemocnica Martin. Retrieved April 2, 2025, from <https://www.unm.sk/>
- 59) van der Voort van Zyp, N. C., Prévost, J. -B., Hoogeman, M. S., Praag, J., van der Holt, B., Levendag, P. C., van Klaveren, R. J., Pattynama, P., & Nuyttens, J. J. (2009). Stereotactic radiotherapy with real-time tumor tracking for non-small cell lung cancer: Clinical outcome. *Radiotherapy and Oncology*, 91(3), 296-300. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2009.02.011>
- 60) Vargo, J. A., Koyfman, S. A., Ferris, R. L., Heron, D. E., & Siddiqui, F. *Head and Neck SBRT*. Radiology Key. Retrieved December 22, 2024, from <https://radiologykey.com/head-and-neck-sbrt-2/>
- 61) Videtic, G. M. M., Donington, J., Giuliani, M., Heinzerling, J., Karas, T. Z., Kelsey, C. R., Lally, B. E., Latzka, K., Lo, S. S., Moghanaki, D., Movsas, B., Rimner, A., Roach, M., Rodrigues, G., Shirvani, S. M., Simone, C. B., Timmerman, R., & Daly, M. E. (2017). Stereotactic body radiation therapy for early-stage non-small cell lung cancer: Executive Summary of an ASTRO Evidence-Based Guideline. *Practical Radiation Oncology*, 7(5), 295-301. <https://doi.org/10.1016/j.prro.2017.04.014>
- 62) Wang, S., Gonzalez, G., Sun, L., Xu, Y., Pandey, P., Chen, Y., & Xiang, S. (2024). Real-time tracking of the Bragg peak during proton therapy via 3D protoacoustic Imaging in a clinical scenario. *Npj Imaging*, 2(1). <https://doi.org/10.1038/s44303-024-00039-x>

63) *What is the CyberKnife® System?* CyberKnife. Retrieved December 23, 2024, from <https://cyberknife.com/cyberknife-how-it-works/>

64) Yamamoto, T., Kawasaki, Y., Umezawa, R., Kadoya, N., Matsushita, H., Takeda, K., Ishikawa, Y., Takahashi, N., Suzuki, Y., Takeda, K., Kawabata, K., Ito, A., & Jingu, K. (2021). Stereotactic body radiotherapy for kidney cancer: a 10-year experience from a single institute. *Journal of Radiation Research*, 62(3), 533-539. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrab031>

65) Yamamoto, T., Jingu, K., Shirata, Y., Koto, M., Matsushita, H., Sugawara, T., Kubozono, M., Umezawa, R., Abe, K., Kadoya, N., Ishikawa, Y., Kozumi, M., Takahashi, N., Takeda, K., & Takai, Y. (2014). Outcomes after stereotactic body radiotherapy for lung tumors, with emphasis on comparison of primary lung cancer and metastatic lung tumors. *BMC Cancer*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2407-14-464>

8 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Dotazník

Příloha č. 2: Obr. 4: Rozmezí dávek na kritické orgány CNS

Příloha č. 3: Obr. 5: Rozmezí dávek na kritické orgány oblasti hrudníku

Příloha č. 4: Obr. 6: Rozmezí dávek na kritické orgány oblasti pánve, oblast kůže a oblast močového měchýře

Příloha č. 5: Obr. 7: Rozmezí dávek na kritické orgány v oblasti břicha

Příloha č. 6: Obr. 8: Rozmezí dávek na kritické orgány v oblasti břicha

Příloha č. 1: Dotazník



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Dotazník k bakalářské práci na téma Extrakraniální stereotaktická radioterapie v ČR a na Slovensku (SBRT)

Zdravím vás,

Moje jméno je Míka Radek a jsem studentem třetího ročníku Radiologické asistence na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích. Touto cestou vás chci požádat o vyplnění mého dotazníku, který je součástí mé bakalářské práce.

Výsledky tohoto dotazníku budou využity pouze v mé bakalářské práci. Cílem dotazníkového šetření je získat zpětnou vazbu od pacientů o výskytu, závažnosti a průběhu nežádoucích vedlejších účinků ozařování touto metodou radioterapie.

Dotazník je zcela anonymní. V žádném z výsledků dotazníku a v bakalářské práci nebude figurovat ani vaše jméno, ani jiné citlivé údaje.

Děkuji za vyplnění dotazníku a projevenou vstřícnost.

1. Jaké je vaše pohlaví?

- a) Muž
- b) Žena

2. Kolik vám je let?

.....

3. Kdy jste ozařování podstoupil/a? (uveďte alespoň rok, popřípadě i měsíc ozařování)

.....

4. Absolvoval/a jste současně s ozařováním ještě jinou onkologickou léčbu? (např. chemoterapie, biologická léčba, hormonální terapie)

Pokud ANO, napište jakou

ANO/NE

.....

5. Jaké bylo základní onkologické onemocnění, kvůli kterému jste podstoupil/a SBRT?

a) Nádor hlavy a krku

b) Nádor plic

c) Nádor prostaty

d) Nádor ledvin

e) Nádor páteře

f) Nádor slinivky

g) Oligometastatické onemocnění (metastázy)

h) Jiné (dopíše jaké)

.....

6. Kolik ozáření (frakcí) jste podstoupil/a?

a) 1 frakce

b) 2 až 3 frakce

c) 4 až 5 frakcí

d) Více jak 5 frakcí

e) Nevím

7. Jaké vedlejší účinky jste zaznamenal/a během léčby nebo krátce po ní? Pokud ANO, ohodnoťte na škále od 1 do 5, jak závažné byly (1 = hodně mírné / 5 = hodně závažné); (akutní nežádoucí účinky) – lze označit více možností

a) Únava

ANO/NE

1 2 3 4 5

b) Bolest v místě ozařování

ANO/NE

1 2 3 4 5

c) Zarudnutí, svědění v místě ozařování, zánět kůže, šupinatění, tvorba puchýřů, ...

ANO/NE

1 2 3 4 5

d) Dýchací obtíže ANO/NE

1 2 3 4 5

e) Problémy s močením ANO/NE

1 2 3 4 5

f) Nevolnost, zvracení, nechutenství ANO/NE

1 2 3 4 5

g) Průjmy nebo zácpa ANO/NE

1 2 3 4 5

h) Žádné nepříjemné vedlejší účinky jsem nezaznamenal/a

i) Jiné

.....

8. Jaké vedlejší účinky jste zaznamenal/a po uplynutí několika měsíců a déle po skončení léčby?

Pokud ANO, ohodnoťte na škále od 1 do 5, jak závažné byly (1 = hodně mírné / 5 = hodně závažné);
(pozdní nežádoucí účinky) – lze označit více možností

a) Únava ANO/NE

1 2 3 4 5

b) Chronická bolest v místě ozařování ANO/NE

1 2 3 4 5

c) Živění tkáně, zatuhnutí tkáně a podkoží ANO/NE

1 2 3 4 5

d) Potíže s polykáním ANO/NE

1 2 3 4 5

e) Potíže s močením ANO/NE

1 2 3 4 5

f) Krvácení nebo otok v místě ozařování ANO/NE

1 2 3 4 5

g) Oslabení imunity (častější nemocnost) ANO/NE

1 2 3 4 5

h) Žádné nepříjemné vedlejší účinky jsem nezaznamenal/a

i) Jiné

.....

9. Jak dobře jste byl/a informován/a o možných nežádoucích účincích před zahájením léčby?

- a) Velmi dobře (dostal/a jsem veškeré informace o nežádoucích účincích, které se mohou objevit)
- b) Relativně dobře (dostal/a jsem základní informace, ale některé skutečnosti mě překvapily)
- c) Spíše špatně (dostal/a jsem málo informací o nežádoucích účincích, které se mohou objevit)
- d) Velmi špatně (nedostal/a jsem žádné informace)

10. Jak jste zvládl/a nežádoucí účinky léčby?

- a) Nepotřeboval/a jsem žádnou speciální péči, léky a ani ošetřování
- b) Potřeboval/a jsem léky (např. proti bolesti nebo nevolnosti) a zvýšenou péči, ale s nimi se vše dalo zvládnout v domácím prostředí
- c) Potřeboval/a jsem infuzní terapii a hospitalizaci

11. Pozorujete po léčbě změnu ve kvalitě Vašeho života? Pokud ANO, ohodnoťte na škále od 1 do 5, jak závažné pro Vás tyto změny jsou (1 = žádné změny / 5 = výrazné zhoršení kvality života)

a) Oslabení imunity (častější nemocnost) ANO/NE

1 2 3 4 5

b) Kožní problémy ANO/NE

1 2 3 4 5

c) Poškození vnitřních orgánů ANO/NE

1 2 3 4 5

d) Psychické problémy (deprese, úzkosti, pocit neustálého stresu, které u Vás nebyly přítomny před onemocněním a léčbou) ANO/NE

1 2 3 4 5

e) Kardiovaskulární obtíže (např. ischemická choroba srdeční, poruchy srdečního rytmu) ANO/NE

1 2 3 4 5

f) Neplodnost, porucha sexuálních funkcí ANO/NE

g) Žádné změny v kvalitě mého života jsem nezaznamenal/a

h) Jiné

.....

12. Doplňující otázky

a) Překvapilo Vás něco v souvislosti s reakcí Vašeho těla na probíhající léčbu?

.....

b) Kdybyste měl/a znovu možnost, podstoupil/a byste tuto metodu léčby znovu? Pokud ne, co je důvodem takové úvahy a rozhodnutí?

.....

Příloha č. 2: Obr. 4: Rozmezí dávek na kritické orgány CNS

Organ at Risk	Constraint	SRS / SBRT Fractions [fx]										Endpoint
		1		3		4		5		8		
		Optimal	Mandatory	Optimal	Mandatory	Mandatory	Optimal	Mandatory	Optimal	Mandatory		
[a] Central nervous system dose constraints												
Optic pathway	DMax [50,035 cm ³]	<10 Gy	<12 Gy	<17.4 Gy [5.8 Gy/Rx]	<20 Gy	<21.2 Gy	—	<25 Gy [5.6 Gy/Rx]	—	29.8 Gy	Neuritis Grade 3 or above	
	DMax [0.1 cm ³]	—	<8 Gy	—	<15 Gy	—	—	<22.5 Gy	—	—	Neuritis	
Cochlea	D<0.2 cm ³	—	<8 Gy	—	<15.3 Gy [5.1 Gy/Rx]	<19.2 Gy	—	<23 Gy [4.8 Gy/Rx]	—	<27.2 Gy	Neuritis Grade 3 or above	
	DMax [50,035 cm ³]	—	<9 Gy	—	<17.1 Gy [5.7 Gy/Rx]	<18 Gy	<22 Gy	<25 Gy [5.6 Gy/Rx]	—	<28.4 Gy	Grade 3+ hearing loss	
Brainstem (not medulla)	Mean	<4 Gy	<9 Gy	—	<17.1 Gy	—	—	<25 Gy	—	—	Hearing loss	
	DMax [50,035 cm ³]	—	<15 Gy	—	<23.1 Gy [7.7 Gy/Rx]	<27.2 Gy	—	<31 Gy [6.2 Gy/Rx]	—	<37.8 Gy	Grade 3+ cranial neuropathy	
Spinal canal* (including medulla)	DMax [0.1 cm ³]	<10 Gy	<15 Gy	<18 Gy	<23.1 Gy	—	<23 Gy	<31 Gy	—	—	Cranial neuropathy	
	D<0.5 cm ³	—	<10 Gy	<15.9 Gy	<18 Gy [6.6 Gy/Rx]	<20.8 Gy	—	<23 Gy [4.8 Gy/Rx]	—	<27.2 Gy	Grade 3+ myelitis [Grimm et al.: 1.1% and 3 fx optimal doses to 0.1 cm ³ limit risk of grade 2-4 myelopathy to 0.4%]	
Spinal canal subvolume [5–6 mm above and below level treated per Rx]	DMax [50,035 cm ³]	<12.4 Gy	<14 Gy	<20.3 Gy	<22.5 Gy	<25.8 Gy	<25.3 Gy	<28 Gy	—	<33.8 Gy	Grade 3+ myelitis	
	DMax [0.1 cm ³]	<10 Gy	<14 Gy	<18 Gy	<21.9 Gy	—	<23 Gy	<30 Gy	<25 Gy	<32 Gy	Grade 3+ myelitis	
Cauda equina	D<0.35 cm ³	—	<10 Gy	—	<18 Gy [6.6 Gy/Rx]	<18 Gy	—	<22 Gy	—	<28.4 Gy	Myelitis	
	0.1 cm ³	<7 Gy	—	<12.3 Gy	—	—	<14.5 Gy	—	—	—	Myelitis	
Spinal canal subvolume [5–6 mm above and below level treated per Rx]	D<1.2 cm ³	—	<7 Gy	—	<12.3 Gy [4.1 Gy/Rx]	—	—	<14.5 Gy [2.9 Gy/Rx]	—	—	Myelitis	
	DMax [50,035 cm ³]	—	<14 Gy	—	<21.9 Gy [7.3 Gy/Rx]	—	—	<30 Gy [6.6 Gy/Rx]	—	—	Myelitis	
Sacral plexus	D<10% of subvolume	—	<10 Gy	—	<18 Gy [6.6 Gy/Rx]	—	—	<23 Gy [4.8 Gy/Rx]	—	—	Grade 3+ neuritis	
	DMax [50,035 cm ³]	—	<16 Gy	<24 Gy [8 Gy/Rx]	<25.5 Gy	<28.8 Gy	—	<31.5 Gy	—	<38.4 Gy	Grade 3+ neuritis	
Normal brain (Whole brain-gross tumour volume)	DMax [0.1 cm ³]	—	<16 Gy	—	<24 Gy	—	—	<32 Gy	—	—	Neuritis	
	D<5 cm ³	—	<14 Gy	—	<21.9 Gy [7.3 Gy/Rx]	<28 Gy	—	<30 Gy [6.6 Gy/Rx]	—	<34 Gy	Grade 3+ neuritis	
Lens	0.5 cm ³	—	<14 Gy	—	<22 Gy	—	—	<30 Gy	—	—	Neuropathy	
	DMax [50,035 cm ³]	—	<16 Gy	—	<24 Gy [8 Gy/Rx]	<28.8 Gy	—	<32 Gy [6.4 Gy/Rx]	—	<38.4 Gy	Grade 3+ neuritis	
Obit	D<5 cm ³	—	<14.4 Gy	—	<22.5 Gy [7.5 Gy/Rx]	<26 Gy	—	<30 Gy [6.6 Gy/Rx]	—	<34 Gy	Neuropathy	
	0.10 cm ³	—	<12 Gy	—	<22 Gy	—	—	<30 Gy	—	—	Radiation necrosis	
Obit	0.50 cm ³	—	<5 Gy	—	—	—	—	—	—	—	Cognitive deterioration	
	DMax [0.1 cm ³]	<1.5 Gy	—	—	—	—	—	—	—	—	Cataract formation	
Obit	DMax [0.1 cm ³]	<8 Gy	—	—	—	—	—	—	—	—	Retinopathy	

Příloha č. 3: Obr. 5: Rozmezí dávek na kritické orgány oblasti hrudníku

(b) Thoracic dose constraints												
Brachial plexus	DMax [±0,035 cm ³]	—	<17,5 Gy	<24 Gy (8 Gy/tx)	<26 Gy	<29,5 Gy	<30,5 Gy (6,1 Gy/tx)	<32,5 Gy	—	<39,2 Gy	Grade 3+ neuropathy	
	DMax [0,5 cm ³]	—	—	<24 Gy	<26 Gy	—	<27 Gy	<29 Gy	<27 Gy	<38 Gy	Neuropathy	
Heart/pericardium	D<3 cm ³	—	<14 Gy	<20,4 Gy (6,8 Gy/tx)	<22 Gy	<24,8 Gy	—	<27 Gy (5,4 Gy/tx)	<32,8 Gy	—	Grade 3+ pericarditis	
	DMax [±0,035 cm ³]	—	<22 Gy	—	<30 Gy (10 Gy/tx)	<34 Gy	—	<38 Gy (7,6 Gy/tx)	<29 Gy	<60 Gy	Pericarditis	
Trachea and (large) bronchus	D<15 cm ³	—	<16 Gy	—	<24 Gy (8 Gy/tx)	<28 Gy	—	<32 Gy (6,4 Gy/tx)	—	<34,4 Gy	Grade 3+ stenosis/fistula	
	DMax [±0,035 cm ³]	—	<20,2 Gy	<30 Gy (10 Gy/tx)	<43 Gy	<47 Gy	<40 Gy (8 Gy/tx)	<50 Gy	—	<58 Gy	Stenosis/fistula (Grade 3 or higher)	
Bronchus-smaller airways	DMax [0,03 cm ³]	—	—	—	—	<52,5 Gy	—	<38 Gy (<52,5 Gy)	—	—	Stenosis/fistula (Grade 3 or higher)	
	DMax [0,5 cm ³]	—	<10,5 Gy	<30 Gy	<32 Gy	—	<32 Gy	<35 Gy	<32 Gy	<44 Gy	Stenosis/fistula (Grade 3 or higher)	
Normal lungs* (lungs - gross tumour volume) (left and right)	D<4 cm ³	—	<10,5 Gy	<15 Gy (5 Gy/tx)	<26 Gy	V43 Gy<5 cm ³	—	<15,5 Gy (3,3 Gy/tx)	—	—	Stenosis/fistula	
	V18 Gy	—	—	—	—	<4 cm ³	—	<4 cm ³	—	—	—	
Chest wall/rib	V33,5 Gy (attenuation for steep dose gradient across airway)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	DMax [±0,035 cm ³]	—	<13,3 Gy	<23,1 Gy (7,7 Gy/tx)	<30 Gy	<34,8 Gy	<33 Gy (6,6 Gy/tx)	<40 Gy	—	<48,8 Gy	Stenosis with atelectasis	
Great vessels	D<0,5 cm ³	—	<12,4 Gy	<18,9 Gy (6,3 Gy/tx)	<25,8 Gy	<28,8 Gy	<27 Gy (4,2 Gy/tx)	<32 Gy	—	<34,4 Gy	Grade 3+ pneumonitis	
	V20 Gy	—	—	<10 %	<15 %	<15 %	<10 %	<15 %	—	<10 %	Pneumonitis (Grade 3 or higher)	
Great vessels	V30 Gy (Volume of ipsilateral organ)	—	—	—	—	<15 %	—	—	—	—	Pneumonitis (Grade 3 or higher)	
	Mean Lung Dose	—	—	—	<8 Gy	≤6 Gy	<8 Gy	—	—	—	Pneumonitis (Grade 3 or higher)	
Great vessels	D1000 cm ³	—	<7,4 Gy	—	<12,4 Gy (3,1 Gy/tx)	—	—	<13,5 Gy (2,7 Gy/tx)	—	—	Basic Lung Function, Pneumonitis	
	≥ 1000 cm ³ of uninvolved lung	—	—	—	—	—	—	<13,5 Gy	—	—	—	
Great vessels	D1500 cm ³ for males and D950 cm ³ for females	—	<7 Gy	<11,6 Gy (2,9 Gy/tx)	<10,8 Gy	<12 Gy	—	<12,5 Gy (2,5 Gy/tx)	—	<14,4 Gy	—	
	DMax [±0,035 cm ³]	—	<30 Gy	<38,9 Gy (12,3 Gy/tx)	<45 Gy	<54 Gy	<43 Gy (8,6 Gy/tx)	<57 Gy	—	<63 Gy	Grade 3+ fracture or pain	
Great vessels	D<1 cm ³	—	—	<37 Gy	<40 Gy	<43 Gy	<39 Gy	—	<39 Gy	—	Pain or fracture	
	D<30 cm ³	—	<22 Gy	—	<28,8 Gy (9,6 Gy/tx)	—	—	<35 Gy (7 Gy/tx)	—	—	—	
Great vessels	D<30 cm ³	—	—	—	<30 Gy (10 Gy/tx)	—	—	—	—	—	—	
	D30 cm ³	—	—	<30 Gy	—	—	<32 Gy	—	<35 Gy	—	—	
Great vessels	DMax [±0,035cm ³]	—	<37 Gy	—	<45 Gy (15 Gy/tx)	<48 Gy	—	<53 Gy (10,6 Gy/tx)	—	<62 Gy	Grade 3+ aneurysm	
	DMax [0,03 cm ³]	—	—	—	—	—	—	<53 Gy	—	—	Aneurysm (Grade 3 or higher)	
Great vessels	DMax [0,03 cm ³] to pulmonary artery	—	—	—	—	<52,5 Gy	—	<52,5 Gy	—	—	Aneurysm (Grade 3 or higher)	
	DMax [0,03 cm ³] to aorta	—	—	—	—	<80 Gy	—	<80 Gy	—	—	Aneurysm	
Great vessels	DMax [0,5 cm ³]	—	—	—	<45 Gy	—	—	<53 Gy	—	—	—	
	V47 Gy	—	—	—	—	—	—	<10 cm ³	—	—	—	
Great vessels	D<10 cm ³	—	<31 Gy	—	<39 Gy (13 Gy/tx)	<43 Gy	—	<47 Gy (9,4 Gy/tx)	—	<55,2 Gy	—	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Příloha č. 4: Obr. 6: Rozmezí dávek na kritické orgány oblasti pánve, oblast kůže a oblast močového měchýře

[d] Pelvic dose constraints [for non – prostate primary irradiation]									
Bladder/bladder wall	DMax [≤0,035 cm ³]	<18,4 Gy	<28,2 Gy [8,4 Gy/Rx]	<33 Gy	<35,6 Gy	—	<38 Gy [7,6 Gy/Rx]	Grade 3+ cystitis/fistula	
	D<15 cm ³	<11,4 Gy	<18,8 Gy [5,6 Gy/Rx]	<17 Gy	<18,5 Gy	<18,3 Gy [3,65 Gy/Rx]	<20 Gy	Dysitis/fistula	
Penile bulb	D15 cm ³	—	—	<15,8 Gy	—	—	<18,3 Gy	—	
	DMax [0,5 cm ³]	—	—	<28,2 Gy	—	—	<38 Gy	—	
Ureter	DMax [≤0,035 cm ³]	<34 Gy	—	<42 Gy [14 Gy/Rx]	—	—	<50 Gy [10 Gy/Rx]	Grade 3+ impotence	
	D<3 cm ³	<14 Gy	<21,9 Gy [7,3 Gy/Rx]	<25 Gy	<27 Gy	—	<30 Gy [6 Gy/Rx]	Impotence	
Other tissue dose constraints	D3 cm ³	—	—	<21,9 Gy	—	—	<30 Gy	—	
	DMax [0,5 cm ³]	—	—	<42 Gy	—	—	<50 Gy	—	
Skin	DMax [0,5 cm ³]	—	—	<40 Gy	—	—	<45 Gy	—	
	DMax [≤0,035 cm ³]	—	—	<40 Gy	<43 Gy	<38–42 Gy	<45 Gy	—	
Femoral heads (right and left)	DMax [≤0,035 cm ³]	<26 Gy	—	<33 Gy [11 Gy/Rx]	<36 Gy	—	<38,5 Gy [7,9 Gy/Rx]	Grade 3+ ulceration	
	D<10 cm ³	—	<33 Gy	—	—	<39,5 Gy	<36,5 Gy [7,3 Gy/Rx]	Ulceration	
Rectum	D<10 cm ³	<23 Gy	<30 Gy [10 Gy/Rx]	<31 Gy	<33,6 Gy	—	<36,5 Gy	—	
	D10 cm ³	—	<30 Gy	—	—	<36,5 Gy	—	—	
Bladder	D<10 cm ³	<14 Gy	<21,9 Gy [7,3 Gy/Rx]	<24 Gy	<27 Gy	—	<30 Gy [6 Gy/Rx]	Grade 3+ necrosis	
	D10 cm ³	—	<21,9 Gy	—	—	<30 Gy	—	Necrosis	
[f] PACE trial [12] constraints for primary prostate RT only									
Rectum	D50 %	—	—	—	—	—	<18,1 Gy	—	
	D20 %	—	—	—	—	—	<28 Gy	—	
Bladder	D1 cm ³	—	—	—	—	—	<36 Gy	—	
	D40 %	—	—	—	—	—	<18,1 Gy	—	
Prostatic urethra (if visible)	V37 Gy	—	—	—	—	<5 cm ³	<10 cm ³	—	
	D50 %	—	—	—	—	<42 Gy	—	—	
Penile bulb	D5 %	—	—	—	—	—	<14,5 Gy	—	
	D50 %	—	—	—	—	—	<29,5 Gy	—	
Testicles	Avoid beam entry, e.g. blocking structure	—	—	—	—	—	—	—	
	D5 cm ³	—	—	—	—	—	<18,1 Gy	—	
Bowel	D1 cm ³	—	—	—	—	—	<30 Gy	—	

Příloha č. 5: Obr. 7: Rozmezí dávek na kritické orgány v oblasti břicha

[c] Gastrointestinal dose constraints										
Duodenum	DMax [50,035 cm ³]	<12,4 Gy	<22,2 Gy [7,4 Gy/tx]	<30 Gy	<33,2 Gy	<32 Gy [8,4 Gy/tx]	<35 Gy	Grade 3+ ulceration		
	DMax [0,03 cm ³]	–	–	<24 Gy	–	–	<32 Gy	Ulcer, bleeding, perforation (Grade 3 or higher)		
	V15 Gy	–	–	<5 cm ³	–	–	–	Ulcer, bleeding, perforation (Grade 3 or higher)		
	V18,2 Gy	–	–	–	–	–	<5 cm ³	Ulceration		
	DMax [0,5 cm ³]	–	–	<22,2 Gy	–	–	<35 Gy			
	D1 cm ³	–	–	<30 Gy	–	<33 Gy	<35 Gy			
	D<5 cm ³	<11,2 Gy	–	<18,5 Gy [5,5 Gy/tx]	–	–	<18 Gy [3,5 Gy/tx]	Ulceration		
	D5 cm ³	–	<18,5 Gy	<22,5 Gy	<25 Gy	<25 Gy	<28,5 Gy			
	D9 cm ³	–	–	–	–	<15 Gy	–			
	D<10 cm ³	<9 Gy	–	<11,4 Gy [3,8 Gy/tx]	–	–	<12,5 Gy [2,5 Gy/tx]			
Stomach	D10 cm ³	–	–	<11,4 Gy	–	–	<25 Gy			
	DMax [50,035 cm ³]	<12,4 Gy	<22,2 Gy [7,4 Gy/tx]	<30 Gy	<33,2 Gy	<32 Gy [8,4 Gy/tx]	<35 Gy	Grade 3+ ulceration/fistulation		
	DMax [0,5 cm ³]	–	–	<22,2 Gy	–	<33 Gy	<35 Gy	Ulceration/fistula		
	D5 cm ³	–	–	<22,5 Gy	<25 Gy	<25 Gy	<28,5 Gy	Ulceration/fistula		
	D<10 cm ³	<11,2 Gy	–	<18,5 Gy [5,5 Gy/tx]	–	–	<18 Gy [3,5 Gy/tx]			
	D10 cm ³	–	–	<18,5 Gy	–	–	<25 Gy			
	D50 cm ³	–	–	–	–	–	–			
	DMax [50,035 cm ³]	<15,4 Gy	<25,2 Gy [8,4 Gy/tx]	<28,5 Gy	<31,8 Gy	–	<34,5 Gy	Grade 3+ enteritis/obstruction		
	DMax [0,03 cm ³]	–	–	<27 Gy	–	–	<35 Gy	Ulcer, bleeding, perforation (Grade 3 or higher)		
	V18 Gy	–	–	<5 cm ³	–	–	–	Ulcer, bleeding, perforation (Grade 3 or higher)		
Small bowel/jejunum/ileum	V19,5 Gy	–	–	–	–	–	<5 cm ³	Enteritis/obstruction		
	DMax [0,5 cm ³]	–	–	<25,2 Gy	–	<30 Gy	<35 Gy			
	D2 cm ³	–	–	<24,5 Gy	–	–	<30 Gy			
	D<5 cm ³	<11,9 Gy	–	<17,7 Gy [5,9 Gy/tx]	–	–	<18,5 Gy [3,9 Gy/tx]			
	D5 cm ³	–	–	<17,7 Gy [21 Gy	–	<25 Gy	<25 Gy			
	D10 cm ³	–	–	–	–	–	<25 Gy			
	DMax [50,035 cm ³]	<18,4 Gy	–	<28,2 Gy [9,4 Gy/tx]	<48,5 Gy	<38 Gy [7,5 Gy/tx]	52,5 Gy	Colitis/fistula		
	D<20 cm ³	<14,3 Gy	–	<24 Gy [8 Gy/tx]	<30,8 Gy	<25 Gy [5 Gy/tx]	32,5 Gy			
	DMax [50,035 cm ³]	–	–	<38 Gy	<38,4 Gy	–	<41 Gy	Stenosis		
	DMax [0,03 cm ³]	–	–	–	–	–	<35 Gy	Stenosis/fistula		
Esophagus	DMax [50,035 cm ³]	<15,4 Gy	<25,2 Gy [8,4 Gy/tx]	<32,4 Gy	<35,6 Gy	<35 Gy [7 Gy/tx]	<38 Gy	Stenosis/fistula (Grade 3 or higher)		
	DMax [0,03 cm ³] for Grade 2 esophagitis	–	–	<27 Gy	–	–	<35 Gy	Stenosis/fistula (Grade 3 or higher)		
	DMax [0,03 cm ³] for Grade 3 or higher	–	–	–	–	–	<50 Gy	Stenosis/fistula		
	DMax [0,5 cm ³]	–	–	<25,2 Gy	–	<32 Gy	<34 Gy			
	D2 cm ³	<14 Gy	–	–	–	–	–			
	D<5 cm ³	<11,9 Gy	<17,7 Gy [5,9 Gy/tx]	<27,9 Gy	30,4 Gy	<19,5 Gy [3,9 Gy/tx]	<32,5 Gy			
	V27,5 Gy	–	–	–	–	–	<5 cm ³			
	DMax [0,5 cm ³]	–	–	<28,2 Gy	–	–	<32 Gy	Grade 3+ colitis/fistula		
	DMax [50,035 cm ³]	<18,4 Gy	–	<28,2 Gy [8,4 Gy/tx]	–	–	<38 Gy [7,5 Gy/tx]	Grade 3+ colitis/fistula		
	DMax [0,5 cm ³]	–	–	<28,2 Gy	–	–	<32 Gy	Proctitis/fistula		
Large bowel Rectum Paralel gastrointestinal organs	D<20 cm ³	<14,3 Gy	–	<24 Gy [8 Gy/tx]	–	–	<25 Gy [5 Gy/tx]			

Příloha č. 6: Obr. 8: Rozmezí dávek na kritické orgány v oblasti břicha

Normal liver (non cirrhotic) [liver - gross tumour volume]	D700 cm ³	<8.1 Gy	—	<17.7 Gy	<19.8 Gy	<21.5 Gy (4.2 Gy/Fx)	<21.5 Gy	Grade 3+ liver function dysfunction/radiation-induced liver disease (classic or non-classic)
	V10 Gy	—	—	—	—	<70%	—	Basic liver function (Grade 3 or higher)
	Mean dose	—	—	<13 Gy	—	<13 Gy	<15.2 Gy	Basic liver function (Grade 3 or higher)
	D50 %	—	<15 Gy	—	—	—	—	Basic liver function
	Dose to ≥ 700 cm ³	—	<15 Gy	<19 Gy <15Gy	—	—	<21 Gy	Basic liver function
	Dose to ≥ 700 cm ³ DMax (0.03 cm ³)	<8.1 Gy	—	<17.1 Gy	—	—	<21 Gy	Basic liver function (Grade 3 or higher)
	Dose to ≥ 700 cm ³ DMax (0.03 cm ³)	<8.1 Gy	—	<17.1 Gy	—	—	<21 Gy	Basic liver function (Grade 3 or higher)
	Child Pugh Class A: ≥ 700 cm ³ of uninvolved liver	—	—	<15 Gy	—	—	<21 Gy	Basic liver function (Grade 3 or higher)
	Child Pugh Class A: Mean liver dose	—	—	<15 Gy	—	—	<15 Gy	Basic liver function (Grade 3 or higher)
	Child Pugh Class B: ≥ 700 cm ³ of uninvolved liver	—	—	—	—	—	<15 Gy	Basic liver function (Grade 3 or higher)
Central liver	Child Pugh Class B: ≥ 500 cm ³ of uninvolved liver	—	—	—	—	—	<7 Gy	Basic liver function (Grade 3 or higher)
	Child Pugh Class B: Mean liver dose	—	—	—	—	—	<10 Gy	Hepatobiliary toxicity (Grade 3 or higher)
	V28 Gy	—	—	—	—	—	<40 cm ³	Hepatobiliary toxicity (Grade 3 or higher)
	V21 Gy	—	—	—	—	—	<37 cm ³	Hepatobiliary toxicity (Grade 3 or higher)
	Mean dose	—	—	—	—	—	<19 Gy	Hepatobiliary toxicity (Grade 3 or higher)
	Mean dose	—	—	—	—	—	<19 Gy	Hepatobiliary toxicity (Grade 3 or higher)
	Kidneys (individual and combined)	Dose to ≥ 200 cm ³ *	—	—	—	—	<10 Gy	Grade 3+ renal function dysfunction
	Renal cortex (right and left)	D200 cm ³	<8.4 Gy	—	<16 Gy	—	—	Basic renal function
	"If solitary kidney or if 1 kidney mean dose >10 Gy"	V10 Gy	—	—	<14.7 Gy	<16 Gy	—	Grade 3+ renal function dysfunction
	Renal hilum/vascular trunk	DMax (±0.035 cm ³)	<18.6 Gy (6.2 Gy/Fx)	—	—	—	<17.5 Gy (3.5 Gy/Fx)	Grade 3+ renal function dysfunction
	<2/3 volume	<10.6 Gy	—	—	—	<45%	Grade 3+ renal function dysfunction	
	15 cm ³	—	—	<19.5 Gy	<21.5 Gy	<23 Gy (4.6 Gy/Fx)	Malignant/hypertension	