

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Václav Hora

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Léčba nenádorových onemocnění ionizujícím zářením

Václav Hora

Bakalářská práce

2020

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Václav Hora**
Osobní číslo: **Z17412**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Téma práce: **Léčba nenádorových onemocnění ionizujícím zářením.**
Zadávající katedra: **Katedra klinických oborů**

Zásady pro vypracování

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

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

Seznam doporučené literatury:

1. DOROTÍK, Jan (2006). *Radioterapeutické přístroje*. Ostrava: Ostravská univerzita, Zdravotně sociální fakulta. ISBN 80-7368-220-6.
2. HAVRÁNKOVÁ, Renata, Zuzana FREITINGER SKALICKÁ, Jiří HAVRÁNEK, Friedo ZÖLZER a Pavel KUNA (2018). *Základy radiobiologie*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta. ISBN 978-80-7394-696-8.
3. HAVRÁNKOVÁ, Renata, ed. (2020). *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4098-0.
4. PODZIMEK, František (2013). *Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření*. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-05319-5.
5. ZÁMEČNÍK, Jiří (1990). *Radioterapie: učebnice pro střední zdravotnické školy, studijní obor radiologický laborant*. 2.vyd. Praha: Avicenum. ISBN 80-201-0051-2.

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

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2018**
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. května 2020**

L.S.

doc. Ing. Jana Holá, Ph.D.
děkanka

Mgr. Jan Pospíchal, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 5. března 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA

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

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 18.11.2020

Václav Hora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu doc. MUDr. Jaroslavu Vaňáskovi, CSc. za odbornou pomoc, poskytnutí odborné literatury a vedení mé práce a panu Mgr. Janu Pospíchalovi, Ph.D, za ochotu a pomoc při psaní a opravě práce.

ANOTACE

Bakalářská práce „Léčba nenádorových onemocnění ionizujícím zářením“ se věnuje použití ionizujícího záření při léčbě onemocnění, jež nejsou nádorového původu. Práce je rozdělena na dvě části – teoretickou a praktickou. Teoretická část práce se věnuje ionizujícímu záření a jeho účinku na biologický organismus, nenádorové radioterapii, indikacím a kontraindikacím léčby nenádorovou radioterapií a často léčenými onemocněními nenádorovou radioterapií. Praktická část interpretuje data získané na pracovišti nenádorové radioterapie.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ionizující záření, nenádorová radioterapie, ostruha patní kosti, radioterapie, rentgen, RTG terapie

TITLE

Treatment of non-tumorous diseases with ionizing radiation

ANNOTATION

Bachelor thesis “Treatment of non-tumorous diseases with ionizing radiation“ deals with the use of ionizing radiation during treatment of non-tumorous diseases. The thesis consists of theoretical and practical part. The theoretical part deals with ionizing radiation and its effect on biological matter, non-tumorous radiotherapy, indications of non-tumorous radiotherapy and non-tumorous diseases. The practical part evaluates collected data about age, gender and number of patients.

KEYWORDS

FHS, final thesis, ionizing radiation, non-tumorous radiotherapy, calcar calcanei, radiotherapy, x-ray, X-Ray therapy

OBSAH

Úvod.....	12
2 Cíl práce.....	13
2.1 Cíl teoretické části bakalářské práce	13
2.2 Cíle praktické části bakalářské práce	13
2.2.1 Analýza dat dle věku ozařovaných pacientů.....	13
2.2.2 Analýza dat dle pohlaví ozařovaných pacientů	13
3 Ionizující záření	14
3.1 Korpuskulární záření.....	15
3.2 Fotonové ionizující záření.....	15
4 Účinky ionizujícího záření na biologický organismus	16
4.1 Působení ionizujícího záření na biologickou hmotu	16
4.2 Fáze působení ionizujícího záření na biologickou hmotu.....	16
4.2.1 Fyzikální stádium.....	17
4.2.2 Fyzikálně chemické stádium.....	17
4.2.3 Chemicko-biologické stádium	17
4.2.4 Biologické stádium	17
4.3 Buněčné procesy po ozáření ionizujícím zářením	18
4.3.1 Deterministické účinky – smrt buněk	19
4.3.2 Stochastické účinky – poškození genetické informace.....	19
5 Nenádorová radioterapie	21
5.1 Zásady nenádorové radioterapie	21
5.2 Historie radioterapie.....	22
5.3 Nežádoucí účinky radioterapie.....	23
6 Indikace a kontraindikace pro léčbu nenádorovou radioterapií.....	25
6.1 Indikace léčby nenádorovou radioterapií	25
6.2 Kontraindikace léčby nenádorovou radioterapií	26

7	Nemoci často léčené nenádorovou radioterapií	27
7.1	Calcar calcanei	27
7.2	Profylaxe heterotopické osifikace	28
7.3	Graves-Basedowova oftalmopatie	28
7.4	Keloidní jizvy	29
7.5	Bolestivá degenerativní kloubní onemocnění	29
7.5.1	Osteoartróza	29
7.5.2	Coxartróza	30
7.5.3	Gonartróza	30
7.6	Gynekomastie	31
8	Radioterapeutické přístroje používané při nenádorové radioterapii	32
8.1	Výpočetní systémy pro plánování radioterapie	32
8.2	Rentgenová radioterapie	34
8.2.1	Terapeutický RTG ozařovač	34
8.2.2	Povrchová RTG terapie	35
8.2.3	Polohloubková RTG terapie	35
8.2.4	Hloubková RTG terapie	35
8.2.5	Konstrukce RTG ozařovače	35
8.3	Lineární urychlovač	37
8.3.1	Konstrukce lineárního urychlovače	37
9	Praktická část – sběr a interpretace dat nenádorové radioterapie	39
9.1	Metodika	39
9.2	Charakteristika výzkumného vzorku	39
9.3	Poměr prováděných terapií	40
9.4	Pohlaví ozařovaných pacientů	41
9.5	Věkové zastoupení ozařovaných pacientů	43
9.6	Ostruha patní kosti	45

9.7	Ramenní kloub	47
9.8	Loket	49
9.9	Prsty horních končetin.....	51
9.10	Kotník	52
9.11	Kolenní kloub	54
10	Diskuze	55
11	Závěr	57
12	Použitá literatura	58

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 – Ostruha patní kosti (RC Mozaika.cz, 2018).....	27
Obrázek 2 – Gonartróza (Nemocnice Jihlava, 2011).....	30
Obrázek 3 – Gynekomastie (esthe-plastika.cz, 2014).....	31
Obrázek 4 – RTG terapeutický ozařovač, (Multiscan.cz, 2018)	34
Obrázek 5 – Lineární urychlovač Varian (Multiscan.cz, 2020)	37
Obrázek 6 – Poměr prováděných terapií.....	40
Obrázek 7 – Poměr pohlaví ozařovaných.....	41
Obrázek 8 – Rozdělení onemocnění podle pohlaví	42
Obrázek 9 – Věkové zastoupení pacientů.....	43
Obrázek 10 – Ostruha patní kosti, poměr pohlaví	45
Obrázek 11 – Ostruha patní kosti, věkové zastoupení.....	45
Obrázek 12 – Ramenní kloub, poměr pohlaví	47
Obrázek 13 – Ramenní kloub, věkové zastoupení.....	48
Obrázek 14 – Loket, poměr pohlaví	49
Obrázek 15 – Loket, věkové zastoupení.....	49
Obrázek 16 – Prsty ruky, věkové zastoupení.....	51
Obrázek 17 – Kotník, poměr pohlaví.....	52
Obrázek 18 – Kotník, věkové zastoupení	52
Tabulka 1 - Ionizační energie vybraných atomů (Zdroj:„Chemical elements listed by ionization energy”, (1998-2018).....	14
Tabulka 2 - Parametry prováděných terapií.....	44
Tabulka 3 - Parametry ozařování ostruhy patní kosti	46
Tabulka 4 – Parametry ozařování ramenního kloubu.....	48
Tabulka 5 – Parametry ozařování lokte	50
Tabulka 6 – Prsty horních končetin, parametry ozařování	51
Tabulka 7 – Kotník, parametry ozařování	53
Tabulka 8 – Koleno, parametry ozařování.....	54

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ČR	Česká republika
FZS	Fakulta zdravotnických studií
IZ	Ionizující záření
LU	Lineární urychlovač
NR	Nenádorová radioterapie
NPK	Nemocnice Pardubického kraje, a.s.
OK	Ohnisko x kůže

ÚVOD

Ionizující záření (IZ) se velice významně podílelo při vývoji medicíny a dodnes je jeho nedílnou součástí, a to jak při využití v diagnostice, tak v terapii. IZ lze například díky jeho různorodým vlastnostem využít pro tvorbu diagnostických obrazů nebo k léčebné terapii nádorových a nenádorových onemocnění.

Terapeutické využití IZ je velice účinným prostředkem při boji jak s nádorovými onemocněními, jež dnes tvoří významnější část radioterapie, tak nenádorovými onemocněními, které i přes své relativně menší zastoupení v oboru radioterapie stále hraje poměrně důležitou roli a má své využití. Když zohledníme celkový počet pacientů podstupujících léčbu IZ, zjistíme, že počet pacientů s nádorovým onemocněním je přibližně pouze o 1/3 vyšší než u nenádorových onemocnění. Podle Žáčkové (2014) se Česká republika řadí celosvětově mezi země s nejvyšším počtem takto léčených pacientů. V roce 2018 bylo s nenádorovým onemocněním léčeno pomocí nenádorové radioterapie 22999 pacientů proti 33018 pacientům léčeným zářením pro nádorová onemocnění (ÚZIS, 2019). Nenádorová radioterapie (NR) se využívá především jako paliativní léčebná metoda, má tedy primárně za cíl ulevit od obtíží spojených s nenádorovým onemocněním a zvýšit kvalitu života.

V moderní medicíně se využívá záření z několika různých typů zdrojů IZ. – radioizotopové zdroje, jež se používají například v brachyterapii neboli ozařování se zdrojem v bezprostřední blízkosti k cílovému objemu, lineární urychlovače, cyklotrony nebo betatrony. Při léčbě nenádorových onemocnění za použití záření se dnes nejčastěji využívá právě lineárních urychlovačů a RTG terapeutických ozařovačů.

V první části práce se zaměříme nejprve na samotné ionizující záření a jeho účinky na biologický organismus. Dále se podíváme na historii a současnou podobu radioterapie, a především nenádorové radioterapie a její indikace a kontraindikace.

V druhé části práce se budeme věnovat údajům nasbíraným na pracovišti nenádorové radioterapie. Sumarizace dat pomůže nastínit jaká nenádorová onemocnění, resp. jaké terapie těchto onemocnění se na daném pracovišti provádějí a jaké je zastoupení pacientů podle věku a pohlaví u jednotlivých terapií.

1 CÍL PRÁCE

1.1 Cíl teoretické části bakalářské práce

Teoretická část bakalářské práce má za cíl objasnit postavení nenádorové radioterapie z historického hlediska a v moderní medicíně, její indikace a kontraindikace a nemoci léčené nenádorovou radioterapií.

1.2 Cíle praktické části bakalářské práce

Hlavním cílem praktické části je s pomocí dat získaných na pracovišti nenádorové radioterapie získat širší přehled o zastoupení onemocnění, resp. o terapiích prováděných na pracovišti.

1.2.1 Analýza dat dle věku ozařovaných pacientů

Prvním dílčím cílem praktické části je zhodnotit a interpretovat nasbíraná data dle pohlaví ozařovaných pacientů.

1.2.2 Analýza dat dle pohlaví ozařovaných pacientů

Druhým dílčím cílem praktické části je zhodnotit a interpretovat nasbíraná data dle věku ozařovaných pacientů.

2 IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Ionizujícím zářením (IZ) lze označit tok fotonů elektromagnetického záření nebo hmotných částic, jež mají natolik vysokou energii, že jsou schopny ionizovat atomy v prostředí, tzn. interagovat s elektrony a vyrazit je z elektronového obalu atomu nebo excitovat atomová jádra. IZ vzniká jako doprovodný jev jaderných přeměn nebo díky procesům, jež se odehrávají v elektronových obalech atomů – vznik charakteristického a brzdného RTG záření. Aby k ionizaci atomu mohlo dojít, je zapotřebí, aby energie kvant IZ byla vyšší, nežli je ionizační energie ozářeného atomu. Tuto energii označujeme jako ionizační potenciál a je to energetická hodnota, jež je zapotřebí k vyražení elektronu z elektronového jádra atomu. Čím blíže k jádru se elektron nachází, tím je jeho ionizační energie vyšší a je tedy zapotřebí větší energie k jeho vyražení (Podzimek, 2013). V tabulce 1 jsou uvedeny příklady ionizačních energií vybraných atomů.

Tabulka 1 - Ionizační energie vybraných atomů (Zdroj: „Chemical elements listed by ionization energy“, (1998-2018))

Prvek	Ionizační energie [eV]	Protonové číslo atomu
Cesium (Cs)	3,8939	55
Uran (U)	6,1941	92
Olovo (Pb)	7,4167	82
Vodík	13,5984	1
Helium (He)	24,5874	2

Ionizující záření dělíme podle toho, jestli má nebo nemá náboj, na přímo a nepřímo ionizující záření. Přímo ionizující záření tvoří nabitě částice, jimiž jsou protony, elektrony a částice záření alfa a beta. Nepřímo ionizující záření tvoří kvanta bez elektrického náboje, těmi jsou fotony a neutrony. Tyto částice nejsou samy o sobě schopny přímo ionizovat prostředí. Při interakci s prostředím však dochází k emisi částic, které již jsou ionizace schopné (Podzimek, 2013).

2.1 Korpuskulární záření

Ve své podstatě se jedná o tok hmotných částic. Korpuskulární záření je charakterizováno kinetickou energií, klidovou hmotností a elektrickým nábojem. Podle hmotnosti záření jej dělíme na:

- Lehké – pozitrony;
- Středně těžké – mezony;
- Těžké – α částice, neutrony a těžké ionty.

Tyto částice se šíří prostorem vysokou rychlostí a ze zdroje do okolí přenášejí poměrně vysokou kinetickou energii, hybnost a elektrický náboj. Korpuskulární záření má v medicíně využití především při radioterapii, konkrétně při brachyterapii, kdy se využívá vlastností záření α – velmi krátký dolet částic a vysoký lineární přenos energie – absorbovaná energie je předána v krátké dráze průletu částice do prostředí. Další využití má korpuskulární záření v nukleární medicíně. Pozitrony (β^+ záření) jsou díky svým anihilačním schopnostem používány jako diagnostická metoda u vyšetření PET (pozitronová emisní tomografie). Anihilace nastává při kontaktu pozitronu s elektronem. Jelikož se jedná o dvě částice s opačným nábojem, dojde k jejich vzájemnému vyrušení. Při jejich zániku vznikají dvě kvanta fotonového záření o energii 511 keV, jež se z místa anihilace šíří opačným směrem (Ullmann, 2020).

2.2 Fotonové ionizující záření

Fotonové záření má tzv. duální charakter. Znamená to, že má zároveň vlastnosti elektromagnetického vlnění i částic o nulové hmotnosti. Tento typ záření má v látce relativně dlouhý dolet a nízký lineární přenos energie – absorbovaná energie je předána v delší dráze průletu částice do prostředí. Rozlišujeme dva typy fotonového záření – záření gama (γ) a rentgenové záření (RTG nebo záření X). Rozdíly mezi těmito dvěma typy záření je ve zdroji vzniku a vlnové délce (Ullmann, 2020). Záření γ vzniká často spolu s částicemi α jako doprovod radioaktivního rozpadu jader. RTG záření vzniká při interakci urychlených elektronů s těžkými kovy (např. wolfram), ze kterých jsou vyrobeny anody v rentgenové lampě, lineárním urychlovači či betatronu (Freitinger Skalická, & Halaška, n. d.).

3 ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA BIOLOGICKÝ ORGANISMUS

3.1 Působení ionizujícího záření na biologickou hmotu

Ionizující záření interaguje s biologickým materiálem z fyzikálního hlediska stejným způsobem, jako při interakci s jakoukoli jinou hmotou nebo biologické substance. Foton, elektron či částice vyzářené z jádra při kontaktu s atomy obsaženými v buňkách předají celou nebo část své energie těmto atomům. Dochází k vyražení elektronů z elektronových obalů jader. V případě živé hmoty následuje biologická odpověď na změny vzniklé ionizací atomů. Touto odpovědí může být změna funkčnosti ozářené buňky, poškození genetické informace DNA, nebo, pokud již buňka není schopna reparace, nastává buněčná smrt (Havránková, 2020, s. 69).

Aby došlo k ionizaci atomů, musí mít záření dostatečnou energii. Ve vodném prostředí buněčné cytoplazmy je zapotřebí energie minimálně 33 eV. Z biologického hlediska však nelze účinnost vyjádřit pouze množstvím předané energie, protože, na rozdíl od jiných forem energie, u ionizujícího záření působícího na biologický organismus se jedná o relativně malé množství energie. Množství předané energie lze odvodit z jednotek dávky, tj. gray. $Gy = J/kg$. Pokud si jako příklad vezmeme 75 kg člověka, který byl celotělově ozářen smrtelnou dávkou 10 Gy, zjistíme, že energie předaná zářením je jen 750 J, přesto je výsledek fatální. (Havránková, 2020, s. 69)

3.2 Fáze působení ionizujícího záření na biologickou hmotu

Havránková (2020, s.67) dělí interakce ionizujícího záření s buňkou do několika fází:

- Fyzikální stádium,
- fyzikálně chemické stádium,
- chemicko-biologické stádium,
- biologické stádium.

3.2.1 Fyzikální stádium

Fyzikální stádium trvá velmi krátkou dobu, od 10^{-18} do 10^{-14} s a je to fáze při níž dochází k absorpci energie předané zářením. Při tomto ději dochází k velkému množství ionizací a excitací atomů vyvolaného primárním zářením a elektrony vyraženými primárním zářením. Dávka 1 Gy může v jedné buňce vyvolat až 10^5 ionizací (Havránková, 2020).

3.2.2 Fyzikálně chemické stádium

Během tohoto stádia dochází ke tvorbě volných radikálů a jiných prvků, jako jsou například vodík (H), kyslík (O_2), hydroxylový anion (OH) a peroxid vodíku (H_2O_2) (Havránková, 2020).

3.2.3 Chemicko-biologické stádium

Volné radikály vzniklé během fyzikálně-chemického stadia začínají napadat a poškozovat strukturu biomolekul. Větší část volných radikálů se vzájemně vyruší za průběhu chemických reakcí například na obyčejnou molekulu vody. Pokud je ale přítomný molekulární kyslík (O_2), zapříčiní vznik molekulárního vodíku (H_2), a tím také vznik peroxidu vodíku (H_2O_2), který je pro buňku toxický. Pokud v buňce zůstanou takto nebezpečné chemické produkty a nezreagované radikály, začnou buňku různými způsoby poškozovat a nastane biologické stádium (Havránková, 2020).

3.2.4 Biologické stádium

Biomolekuly, které byly poškozeny, způsobí patofyziologické změny funkce buněk, které způsobí buněčnou smrt, nebo, pokud se, v případě nezotavení buňky, podle rozsahu poškození genové informace, nastávají změny – nádorové transformace (Havránková, 2020).

3.3 Buněčné procesy po ozáření ionizujícím zářením

Radiačně indukovaná léze, jež má největší vliv na přežití buněk, je poškození genové informace DNA. Toto poškození může mít za důsledek apoptózu – řízenou buněčnou smrt – nebo mitotickou buněčnou smrt – smrt ve stadiu mitózy, tedy dělení buňky. Pokud buňka přežije a reparuje poškození, může pokračovat ve své funkci. Pokud při reparaci nastane chyba, můžou nastat permanentní buněčné mutace, nebo indukce karcinogeneze. Fyzická interakce ionizujícího záření s molekulární buněčnou strukturou má za následek chemické reakce vznikající ve velmi krátkém časovém intervalu mezi 10^{-18} až 10^{-3} s. Absorpce energie fotonu destabilizuje zasaženou molekulu, což má za následek zbrzdění a vyražení elektronů a sekundární záření fotonů s nižší energií vedoucí k řetězové reakci produkující různorodé ionty a chemicky nestabilní volné radikály. Extrémně nestabilní volné radikály interagují téměř okamžitě se sousedními molekulami a produkují chemicky stabilní léze. Tento proces může být pozměněn vychytáváním volných radikálů nebo přítomností kyslíku, které mají protichůdné efekty na počet stabilních lézí a na celkovou radiosenzitivitu buňky, nicméně pokud jsou však všechny faktory konstantní, roste permanentní poškození buňky lineárně spolu s dávkou. Experimenty, ve kterých byly buněčné jádro a cytoplasma selektivně ozařovány, dokazují, že dávka v cytoplazmě, potřebná k dosažení buněčné smrti, je mnohem vyšší než dávka dosahující stejného účinku na buněčné jádro. Je obecně platné, že cílové molekuly pro radiačně indukovanou buněčnou smrt jsou lokalizovány v buněčném jádře a zapříčiňují poškození genetické informace DNA, avšak ostatní zasažené molekuly, např. v buněčné stěně či mitochondriích, se dají považovat jako původci apoptických kaskád taktéž majících za následek buněčnou smrt. V mnoha buňkách nenastává smrt okamžitě a buňky nadále vykonávají svou funkci. Mitotická smrt může dokonce nastat až po několika úspěšných buněčných děleních. Lymfocyty, thymocyty a hematopoetické buňky podstupují mezifázovou buněčnou smrt ještě před průchodem mitotickou fází, což má za následek jejich velkou radiosenzitivitu. Se smrtí buněk se spojují dva typy morfologických změn. Nejběžnější morfologickou změnou je buněčná nekróza. Nekrotická buněčná smrt je výsledkem kolapsu buněčného metabolismu a vyčerpání zásoby důležitého nukleotidu adenosintrifosfátu, který funguje jako přenašeč energie (Klouda, 2005). Konečná fáze nekrózy zahrnuje protržení buněčné stěny, ztrátu lysozomálních enzymů, degradaci jaderného chromatinu (jaderná hmota) a ztrátu bazofilie. Druhým typem změny je apoptóza neboli řízená buněčná smrt. Jde o fyziologický proces zahrnující několik charakteristických a geneticky ovládaných kroků.

Tyto kroky postupují následovně: kondenzace a segmentace chromatinu (jaderné hmoty), fragmentace jádra na apoptické pozůstatky, smrštění buňky a ztrátu buněčného kontaktu se sousedními buňkami. Apoptóza je dovršena pohlcením mrtvé buňky sousedními buňkami, jakými jsou např. makrofágy, bez doprovodné zánětlivé reakce. Biologické účinky ionizujícího záření můžeme rozdělit na účinky stochastické a deterministické. Stochastické účinky jsou zapříčiněné změnou – mutací, nebo maligní transformací – jedné nebo několika buněk, označujeme je jako unicelulární. Deterministické účinky jsou následkem smrti velkého množství buněk, označujeme je jako multicelulární (Řezáčová, & Vávrová, 2011, s. 24-25).

3.3.1 Deterministické účinky – smrt buněk

Deterministické účinky se projeví tehdy, pokud je překročena tzv. prahová dávka. Prahová dávka je limitní hodnota typická pro dané účinky. Pokud se dávka pohybuje pod tímto limitem, deterministické účinky nenastávají. Aby se tyto účinky projevily, musí být změněno velké množství buněk, k čemuž je zapotřebí velká dávka. Mezi deterministické účinky patří akutní nemoc z ozáření, akutní lokalizované poškození, poškození plodu in utero a nenádorová pozdní poškození. Nejsenzitivnější z hlediska poškození ionizujícím zářením jsou tkáně, ve kterých probíhá intenzivní buněčné dělení, především jsou to hematopoetické kmenové buňky. Velkou citlivost vykazují také lymfocyty, které po ozáření umírají apoptózou. Dalšími velmi citlivými buňkami jsou zárodečné buňky, zejména spermatogonie. Epiteliální a epidermální buňky jsou méně citlivé. Vyloženě radiosenzitivní jsou však kostní a svalové buňky a nejvíce nervové buňky. Po celotělovém ozáření překračujícím prahovou dávku vzniká akutní nemoc z ozáření, kdy jsou všechny systémy vystaveny vlivu záření (Řezáčová, & Vávrová, 2011, s. 24).

3.3.2 Stochastické účinky – poškození genetické informace

Mezi stochastické účinky radiačně vyvolaných mutací řadíme nádorové bujení a vrozené vývojové vady u potomstva. Aby se určitá genetická změna projevila, musí nejdříve dojít k jejímu rozsevu do významného množství buněk. U somatických buněk tato situace nastane v případě, že daná mutace přináší pro buňku růstovou výhodu, tedy možnost postupného navyšování potomstva na úkor pomaleji rostoucích nepoškozených buněk. Tyto mutace jsou v principu karcinogenní. V případě ozáření gamet se mimo nádorových onemocnění mohou vyskytnout také různé vrozené vývojové vady nemaligního charakteru, jelikož se poškozených pohlavních buněk vyvíjí zcela nový organismus. Postižení potomků, jež nebyli ozáření, ale plyne z ozáření jejich rodičů, je ojedinělým rysem stochastických účinků (Havránková, 2020, s. 87).

S ohledem k náhodné povaze působení záření na genetickou informaci obsaženou v jaderné DNA nelze předem určit, které geny budou zářením poškozeny a jaký bude díky těmto změnám další vývoj buňky. Z toho plyne, že každá zasažená buňka může představovat jiná zdravotní rizika. Vývojové vady a nádorová onemocnění postihují pouze určité procento jedinců v ozářené populaci, kdy se s rostoucí dávkou toto procento zvyšuje. Tyto účinky proto také označujeme jako pravděpodobnostní (Řezáčová, & Vávrová, 2011, s. 24).

4 NENÁDOROVÁ RADIOTERAPIE

Nenádorová radioterapie je lékařské ozáření prováděné u nezhoubných onemocnění. Primárně má za cíl ulevit od obtíží vzniklých nenádorovým onemocněním, nejčastěji onemocněními zánětlivými nebo degenerativními. Využívá se obvykle po vyčerpání jiných možností léčby, při kterých není zapotřebí použití ionizujícího záření. Cílem léčby je úleva od potíží, především od bolesti, zapříčiněných nenádorovým onemocněním, nebo zabránit zhoršování funkcí postižených orgánů (Hynková, & Šlampa, 2012, s. 5).

4.1 Zásady nenádorové radioterapie

Zásady nenádorové terapie jsou popsány ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví České republiky (Česká republika, 2016, s. 141):

- Aplikace co nejmenší, zároveň však nejefektivnější jednotlivé a celkové dávky.
- Zvážení indikace ozáření velkými poli.
- Používání jednoduchých technik, tj. přímá nebo dvě protilehlá pole.
- Orientace svazku ionizujícího záření směrem od trupu a radiosektivních orgánů, jimiž jsou oční čočka, gonády a štítná žláza.
- V případě individuální potřeby používat úpravu tvaru ozařovaných polí.
- Používání ochranných prostředků, jakými jsou např. olovené krytí gonád nebo štítné žlázy.
- Věk pacienta nad 40 let.
- U mladších pacientů pečlivě zvažovat rizika vedlejších účinků ionizujícího záření, především karcinogeneze a chronická poškození.
- Ozařování totožného cílového objemu se stejným odstupem času nanejvýš ve třech sériích.

4.2 Historie radioterapie

8. listopad 1895 byl velmi významným dnem jak lékařských, tak nelékařských oborů. V tento den německý fyzik Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) při práci s vakuovou trubicí, kdy studoval vlastnosti katodových paprsků, uviděl světélkující stínítko z kyanidu platnatobarnatého se stínem uprostřed. Katodové a anodové záření pohlcuje sama stěna trubice, takže usoudil, že z trubice vyzařují zcela jiné paprsky. Následně mezi stínítko a trubicí vložil svou vlastní ruku, načež uviděl obrys kostí vlastní ruky. 23. ledna 1896 Röntgen oznámil svůj objev při konání vědecké konference ve Würzburgu a toto záření pojmenoval paprsky X. Za tento objev mu byla v roce 1901 udělena vůbec první Nobelova cena za fyziku. 10. února 1923 Wilhelm C. Röntgen zemřel na kolorektální karcinom (Šlampa, & Petera, 2007, s. 1).

Paprsky X byly pro lékařské účely naprosto převratné, umožnily zcela nové možnosti v diagnostice, následně byly zjištěny také léčebné účinky tohoto záření.

Z historického hlediska patří radioterapie mezi jeden z nejmladších lékařských oborů. Zpočátku byla práce s paprsky velmi náročná a přinášela málo pozitivních výsledků, především kvůli nedostatečně vysokým energiím, na které tehdy technologicky přístroje nedosahovaly, a zcela neznámým biologickým účinkem záření X s biologickou hmotou. Spolu s objevem paprsků X přispěl ke vzniku radioterapie objev polonia (18. července 1898) a radia (26. prosince 1898) Marií Curie-Sklodowskou a objevem přirozené radioaktivity Antoniem Henri Becquerem (5. března 1896) (Šlampa, & Petera, 2007, s. 2).

Nejstarší ze způsobů léčby radioaktivními látkami v Čechách je lázeňská léčba pomocí radioaktivní vody. První zdroj vody obsahující radionuklidy byl objeven v Jáchymově v dole Svornost, kde v podzemí vytryskl pramen a zaplavil celý důl. Po rozboru obsahu vody bylo zjištěno, že voda obsahuje radionuklidy polonia a radia. Po dalším zkoumání vody z jiného dolu bylo ve vodě nalezeno velké množství radonu. Tato voda dokázala účinkovat jako léčebný činitel především při léčbě chorob pohybového aparátu. V roce 1906 se v Jáchymově otevřely první lázně s radioaktivní vodou (Šlampa, & Petera, 2007, s. 3).

Díky kvapnému pokroku ve zdravotnické technice a radiofyzice prodělala radioterapie rychlý vývoj, především v radiobiologii. Spolu s vývojem se měnilo také její postavení v oblasti léčby zhoubných nádorů. Zámečník (1990, s.24) tento vývoj rozděluje do dvou etap:

1. Doba rentgenových paprsků a rádia

V tomto období se na radiologii nahlíželo především jako na paliativní léčebnou metodu, tzn. že v případě pokročilé rakoviny, kdy nebyla možná operace, byla rakovina ozařována. To pacientům přinášelo určitou úlevu. V této době se také rozšířila radiumterapie neboli léčba rádiem. Díky této metodě bylo možné úplné vyléčení některých lokalizací zhoubných novotvarů, u kterých byl kontraindikovaný chirurgický zákrok. Dalším úspěchem byla kontaktní rentgenová radioterapie.

2. Doba vysokoenergetického záření a radioaktivních izotopů.

Přechod k využívání záření s vysokými energiemi byl pozvolný, přinesl však zásadní změny v radioterapii jako takové. Díky vysokoenergetickému záření již nebyl problém dosažení dostatečné dávky v hloubce. Proti rentgenové terapii se výsledky léčby zlepšily o 10-15 %, díky čemuž se radioterapie stala rovnocenným společníkem chirurgie v léčbě rakoviny. Léčebně využívány byly rovněž radioizotopy, především radioaktivní kobalt, který byl jedním z nejpoužívanějších zdrojů ionizujícího záření v radioterapii.

4.3 Nežádoucí účinky radioterapie

Každá provedená terapie IZ s sebou přináší jistou pravděpodobnost vzniku nežádoucích účinků. Ty se projevují v různé míře podle tolerance každého jednotlivce. Při špatném snášení ozařování je v daném případě nutno přistoupit na opatření či léky, jež umožní pacientovi léčbu lépe snášet. Obvyklými reakcemi organismu na ozáření jsou únava, nechutenství a v některých případech také nevolnosti. Časté jsou také změny na kůži. Vznikají časné (do 2.-3. dne od ozáření) a pozdní (do 3.-4. dne od ozáření) erytémy – kůže je výrazně tmavší, sušší a loupe se. V průběhu léčby se také mohou objevovat poruchy spánku. Symptomy většinou odezní do několika týdnů po ozařování a díky moderním ozařovacím technikám a přístrojům se výrazně snižuje pravděpodobnost vzniku pozdních nežádoucích účinků (SROBF, 2020).

Pozdní nežádoucí účinky po ozáření IZ se vyskytují především u orgánů a tkání s pomalým buněčným obratem. Těmi jsou například svaly, nervová soustava, plíce, srdce, podkoží, játra a ledviny. Nejkratší doba vzniku těchto účinků bývá po 12 měsících od ukončení léčby. Často bývají těžko ovlivnitelné a výrazně působí na stav pacienta. Je to především atrofie neboli úbytek tkáně vyvinutého orgánu, postihující kožní epitel, žlázy a výstelky dýchacího, močového a trávicího traktu (Šiffnerová, 2012).

5 INDIKACE A KONTRAINDIKACE PRO LÉČBU NENÁDOROVOU RADIOTERAPIÍ

5.1 Indikace léčby nenádorovou radioterapií

Radioterapie je indikována teprve po vyčerpání všech ostatních konzervativních metod, při kterých není zapotřebí použití ionizujícího záření nebo při nemožnosti jejich aplikace. Indikace i kontraindikace léčby ionizujícím zářením určuje radiační onkolog nebo radioterapeut se specializací v oboru radioterapie (Šlampa, 2014).

Indikace nenádorovou radioterapií zpravidla bývá pro degenerativní a zánětlivá onemocnění. Převážně se jedná o ostruhu patní kosti, dále pak o artrózy (osteoartróza, gonartróza, coxartróza) a epikondylitidy (tenisový loket). Radioterapie je u zánětlivých onemocnění pohybového aparátu relativně úspěšná. U těchto indikací se aplikují nízké celkové dávky (do 6 Gy) a jako zdroje záření se používají RTG terapeutické přístroje. Vzhledem ke karcinogennímu efektu ionizujícího záření je potřeba, aby léčba byla vykonávána s co největší opatrností (Zámečník, 1990).

Jednotlivé indikace jsou individuálně přizpůsobené pro každé radioterapeutické pracoviště a můžou se tudíž lišit, a to jak v celkové dávce, tak jednotlivých dávkách a ve frakcionacích dávky. Základním měřítkem, podle kterého se léčba odvozuje, je však Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky, kde jsou popsány Národní radiologické standardy.

5.2 Kontraindikace léčby nenádorovou radioterapií

Kontraindikace rozdělujeme na absolutní a relativní. Jsou zapsány ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví České republiky (Česká republika, 2016).

Mezi absolutní kontraindikace patří:

- Nejasná či neověřená diagnóza.
- Změny na povrchu kůže v ozařované oblasti zapříčiněné kožním poraněním, alergickou reakcí, aplikací dráždivých látek nebo poškozením kůže – omrzliny, popáleniny, poleptání.
- Nitrotkáňová aplikace kortikoidů v době kratší než 12 týdnů před ozařováním.
- Ozařování pacientů s omezenou hybností v místech ohrožených vznikem dekubitů.
- Pokud nejsou spolehlivé údaje o ozařovacích podmínkách a dávkách z radioterapie provedené v minulosti.
- Těhotenství a ozařování oblasti pánve u žen ve fertilním věku.
- Pacienti s vrozenou hypersenzitivitou k ozáření.

Mezi relativní kontraindikace patří:

- Hematologická onemocnění.
- Ozařování osob pracujících se zdroji ionizujícího záření (Šlampa, 2014, s. 326).
- Ozáření po předchozím nádorovém ozáření na jiném pracovišti.

6 NEMOCI ČASTO LÉČENÉ NENÁDOROVOU RADIOTERAPIÍ

6.1 Calcar calcanei

Calcar calcanei neboli ostruha patní kosti, je nejčastěji léčeným onemocněním nenádorovou radioterapií, jež postihuje téměř 10 % obyvatel (Ott et al., 2014). Nejčastěji se s ní setkáváme mezi 40. a 60. rokem. Prevalence se zvyšuje s rostoucím věkem, což může být zapříčiněno změnou profilu chůze u starších lidí. Výskyt ostruh je velmi ovlivněn také váhou pacientů, pokud mají nadváhu, je pravděpodobnost vzniku výrazně vyšší. Podle studie z roku 2014 mělo 82 % pacientů léčených se s ostruhou patní kosti nadváhu. Běžný je také výskyt u pacientů s osteoartrózou (přibližně 80 % nemocných) a u pacientů s revmatologickým onemocněním (přibližně 70 % nemocných) (Kirkpatrick & Yassaie, & Mirjalili, 2017, s. 743-745).

Jedná se o kostní výrůstek vycházející z hrbolu calcaneu, který se nachází na plantární straně patní kosti. Mohou vyrůstat také z laterálního výběžku nebo sulcu. Tvar ostruhy má nejčastěji tvar trojúhelníka s širokou základnou a ostrým hrotem a je jasně ohraničená, viz obr. 1.



Obrázek 1 – Ostruha patní kosti (RC Mozaika.cz, 2018)

Ostruhy vznikají zpravidla oboustranně. Vzniku patní ostruhy může předcházet plantární fasciitida neboli bolest úponů plantárních svalů vznikající při mechanickém přetěžování, jako následek artritidy, nebo kvůli špatné biomechanice končetiny (Kirkpatrick & Yassaie, & Mirjalili, 2017, s. 743-746). Klinickým projevem nemoci je bolest ve středu paty nebo v oblasti výběžku calcaneu při nášlapu, která může znemožnit chůzi (Sosna, 2001, s. 142).

6.2 Profylaxe heterotopické osifikace

Heterotopické osifikace jsou formace kostní tkáně, tvořící se v měkkých tkáních v oblastech, kde k výskytu kostí za běžných podmínek nedochází a mohou způsobovat například omezení hybnosti kloubu, či bolest. Příčin vzniku heterotopických osifikací může být několik – mohou vzniknout jako následek poškození měkkých tkání pohybového ústrojí nebo jako komplikace při poškození mozku či míchy. Můžou také vzniknout díky systémovým poruchám nebo zlomeninám. Nejčastěji se heterotopické osifikace objevují po traumatu, jakou jsou zlomeniny acetabula či totální endoprotézy velkých kloubů. Ozařuje se preventivně po vykonaných zákrocích, především u pacientů s rizikem vzniku osifikací, tj. operace velkých kloubů u pacientů s omezeným pohybem. Je také možné léčit již probíhající osifikace a zabránit jejich rozšiřování (Kolář, 2009, s. 720).

6.3 Graves-Basedowova oftalmopatie

Toto onemocnění se týká nemocných s hyperfunkcí štítné žlázy. V klinickém obraze může být doprovázena lymfocytární infiltrací okoohybných svalů a retrobulbárních prostorů, jejíž následky mohou být neuropatie očního nervu anebo exoftalmus. K ozáření se využívá lineárního urychlovače s brzdným svazkem 4-10 MeV. Používá se dvou na sebe protilehlých laterolaterálních polí a tvar pole se upravuje pomocí multileaf kolimátoru. Centrální paprsek se kvůli ochraně kritických orgánů (mozek, čočka, hypofýza) sklápí o 5° dorsálně. Cílový objem ozařování jsou retrobulbární prostory (Šlampa, 2014, s. 239).

6.4 Keloidní jizvy

Ke vzniku keloidní jizvy obvykle dochází po zhojení rány, kdy v okolí rány dochází k nadměrnému růstu tkáně. Obvykle růst keloidu přesahuje okraj původní rány. Přesná příčina vzniku není známa, jizva může vzniknout v oblasti jizev po tržných či operačních ranách nebo po akné či piercingu. Vznik keloidů pravděpodobně souvisí s fibroblasty, buňkami produkujícími kolagen, zároveň může vznik keloidů souviset také s hormony, genetickými predispozicemi nebo poruchami imunitního systému. Zánět původní rány dále zvyšuje riziko vzniku keloidní jizvy. Nejčastěji se keloidní jizvy vyskytují u pacientů mezi 10 a 30 lety života. Pokud ke vzniku existuje genetická predispozice, trpí potom těmito problémy celé rodiny. Častěji se vyskytují u pacientů tmavší pleti (Vilímovský, 2014).

Jako nejúčinnější terapie je považován chirurgický zákrok a následná radioterapie. Po excizi keloidu se provede ozáření hojící se rány s cílem usmrcení části rychle se proliferujících fibroblastů. Ozařuje se do 24 hodin po zákroku nebo jeden den před zákrokem. U malých jizev se ozařování provádí pomocí RTG terapeutického přístroje. Rozsáhlé jizvy je možné ozařovat pomocí lineárního urychlovače elektronovým svazkem (Urbánek, 2012).

6.5 Bolestivá degenerativní kloubní onemocnění

Mezi degenerativní onemocnění kloubů, které ozařujeme nenádorovou radioterapií, patří záněty šlach (tendritidy), záněty kloubních burs (bursitida), periartritidy ramenního kloubu a artrózy velkých kloubů (coxartroza, gonartroza, osteoartroza) (Šlampa, 2014, s. 327).

6.5.1 Osteoartróza

Osteoartróza patří mezi nejčastější onemocnění kloubů. Nejvíce postižené jsou obvykle kolenní a kyčelní klouby, kotníky, ramena, lokty, zápěstí, prsty a páteřní klouby. Projevy onemocnění jsou změna či destrukce chrupavky nebo celého kloubu, kdy je poté jediným možným řešením totální náhrada kloubu. Na vzniku osteoartrózy se mohou podílet genetické, endokrinní, zánětlivé anebo biochemické vlivy (Pavelka, 2017).

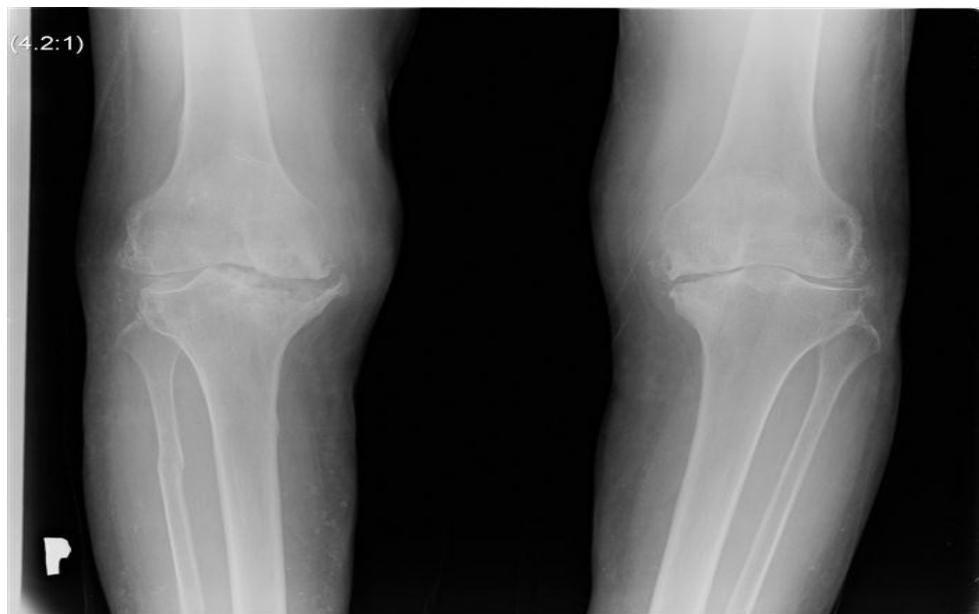
Osteoartrózu dělíme z hlediska původu na primární, je vznik zapříčiněn poruchou regulace metabolismu kloubních chrupavek, a na sekundární, kdy je příčina degenerace známa. Může to být příčina anatomická, tj. např. vrozená dysplazie kyčelních kloubů nebo nestejná délka končetin. Traumatickými příčinami bývají luxace kloubu, intraartikulární zlomeniny či nadměrná sportovní zátěž. Dalšími příčinami jsou metabolické poruchy, např. diabetes mellitus, porucha metabolismu steroidů nebo zvýšená hladina kyseliny močové (Kolář, 2009, s. 427).

6.5.2 Coxartróza

Coxartróza postihuje kyčelní kloub, jedná se o degenerativní onemocnění. Příznaky mohou být bolesti postupující od slabin ke kolenu. Je možné také pozorovat zkrácení postižené končetiny a její omezenou hybnost, což má za následek antevertzi a rotaci pánve nebo změny statiky páteře. U postiženého pacienta můžeme pozorovat tzv. kachní chůzi (Kolář, 2009, s. 428).

6.5.3 Gonartróza

Jde o degenerativní onemocnění kolenního kloubu, kdy dochází k rozvláknění a zmenšení kloubní chrupavky, viz obr. 2. Predispozicemi ke vzniku jsou obezita, vysoký věk, genetické dispozice nebo úrazy. Příznakem je bolestivost kloubu zhoršující se při chůzi po rovině, po schodech nebo při jiné zátěži. Postupem času se bolest projevuje i bez zátěže. Následky mohou být změna chůze, změna postavení pánve a porucha její statiky (Kolář, 2009, s. 428).



Obrázek 2 – Gonartróza (Nemocnice Jihlava, 2011)

6.6 Gynekomastie

Gynekomastie je zvětšování tkáně mužského prsu. Vznik je zapříčiněn zvýšenou koncentrací estrogenů. Fyziologicky dochází ke zvětšování prsu u novorozenců, v pubertě a u mužů ve vysokém věku, viz obr. 3. Patologický výskyt zapříčiňují jaterní cirhóza, nádory produkující estrogeny nebo tyreotoxikóza (Marek, & Brodanová, 2002, s. 102–111).



Obrázek 3 – Gynekomastie (esthe-plastika.cz, 2014)

7 RADIOTERAPEUTICKÉ PŘÍSTROJE POUŽÍVANÉ PŘI NENÁDOROVÉ RADIOTERAPII

Ozařovací přístroje jsou zdrojem IZ používaného při radioterapii. Ozařovače aplikují indikovanou dávku do těla pacienta, přesněji do požadovaného ozařovaného objemu ve správné velikosti a rozložení zadaném podle indikujícího lékaře. Při nenádorové radioterapii se používají stejné zdroje ionizujícího záření, jako při léčbě nádorových onemocnění, obecně jsou však přístroje využívány zejména pro benigní onemocnění jednodušších konstrukcí a dosahuje se u nich nižších energií záření. (Binarová, 2010, s. 184)

Podle Šlampy (2014, s 326) dělíme zdroje záření na:

- Lineární urychlovač – vysokoenergetické záření, Graves-Basedowova oftalmopatie, heterotopické osifikace;
- RTG terapeutický ozařovač – kontaktní a povrchová RTG terapie kožních onemocnění, hloubková RTG terapie pohybového ústrojí;
- Stereotaktické systémy (Leksellův gama nůž) – adenom hypofýzy arteriovenózní malformace.

7.1 Výpočetní systémy pro plánování radioterapie

Rozmístění dávky do cílového objemu a do jeho okolí je závislé na mnoha nestálých faktorech, ovlivňujících působení svazku ionizujícího záření na tělo pacienta během ozařování. Rozložení dávky v těle je ovlivňováno vlastnostmi svazku ionizujícího záření, tj. energií, druhem, symetrií a homogenitou svazku a použitím modifikátorů záření a vlastnostmi ozařovaného objemu, tj. kontura povrchu těla pacienta, velikost a lokalizace ozařovaného objemu a hustota anatomických struktur. (Dorotík, 2006, s. 15)

Při vložení vstupních údajů do programu plánovacího systému se vypočítá rozložení a velikost dávky. (Dorotík, 2006, s. 15) Tyto údaje jsou:

1. Údaje o ozařovači

Tyto údaje zahrnují relativní a absolutní dozimetrické údaje o svazku záření pro všechny energie a druhy záření, limity a údaje vyznačující dané zařízení a příslušenství. Jsou zadávány při instalaci plánovacího systému a zařízení a jejich uvedení do provozu.

2. Údaje o ozařovaném objemu

Jsou zde zahrnuty údaje o tvaru a poloze anatomických struktur v těle pacienta, údaje potřebné k určení elektronové hustoty a údaje definující cílový objem a kritické orgány či další případné oblasti zájmu. Do plánovacího systému je možné tyto údaje zadat několika způsoby:

- manuálně – nepřesný, zdlouhavý a dnes již zastaralý způsob, dnes se již nepoužívá;
- z digitizéru – složitý a zdlouhavý proces, dnes se využívá jen výjimečně, protože je možné přenést pouze základní data;
- on-line přenosem – nejlepší způsob přenosu dat, je přenášeno velké množství informací použitelných pro výpočty a speciální postupy, systém kontroly přenosu snižuje možnost vzniku chyb.

3. Údaje o léčebném záměru

Údaje nesou informace o vzájemné poloze ozařovaného objemu a svazku záření, hodnotu dávky cílového objemu a kritických orgánů, frakcionaci dávky atd. Vychází z léčebného záměru stanoveného lékařem.

Výkonné plánovací systémy realizují výpočty dávkové distribuce, hodnotu dávky referenčního bodu a jiná data nutná k hodnocení v dostatečně krátké době tak, aby do několika minut bylo možné provádět individualizaci ozařovacích plánů a dosažení optima výběrem z několika možností. Systémy také pro usnadnění optimálního výběru poskytují informace o homogenitě rozložení dávky v cílovém objemu, dávky v kritických orgánech aj. (Dorotík, 2006, s. 15-16).

7.2 Rentgenová radioterapie

Prvním krokem, kterým započala léčba pomocí rentgenových paprsků, bylo jejich použití u lupus vulgaris a rakoviny prsu 29.1.1896 americkým lékařem E. H. Grubbé, tedy již měsíc po jejich objevení W. C. Röntgenem. Od té doby se léčba rentgenovými paprsky velmi rozvinula. Od některých metod bylo postupem času upuštěno a nahradily je modernější léčebné metody, jiné však stále patří mezi účinné prostředky léčby nádorů, nebo i jiných, zejména zánětlivých onemocnění (Zámečník, 1990, s. 198).

7.2.1 Terapeutický RTG ozařovač

V České republice je terapeutický RTG ozařovač (obr. 4) nejčastěji využívaným přístrojem pro léčbu nenádorových onemocnění. Terapeutický ozařovač byl jedním z prvních zařízení používaných k léčbě ionizujícím zářením. RTG terapie se dělí na povrchovou, polohlubkovou a hloubkovou (Zámečník, 1990, s. 200).



Obrázek 4 – RTG terapeutický ozařovač, (Multiscan.cz, 2018)

7.2.2 Povrchová RTG terapie

Povrchovou RTG terapií se ozařují chorobná ložiska lokalizovaná na povrchu kůže, tedy v hloubce od několika mm do přibližně 2 cm. Charakteristické pro povrchovou radioterapii je krátká vzdálenost OK (ohnisko x kůže) - ozařuje se z krátké vzdálenosti a nízkými energiemi. Velmi důležitý je při praktickém použití povrchové RTG terapie spádový graf dávky ve tkáni neboli pokles dávky do hloubky. Je funkcí kvality záření určenou vrcholovým napětím na rentgence, filtrací, vzdáleností ohniska od kůže a velikostí pole. Změnou těchto parametrů se výrazně mění spádový graf dávky. Stejného spádového grafu dávky lze docílit různými nastaveními jednotlivých parametrů (Zámečnick, 1990, s. 200-203).

7.2.3 Polohloubková RTG terapie

Touto metodou se ozařují ložiska lokalizovaná v hloubce do přibližně 5 cm, nebo do této hloubky pronikají z povrchu. Pro tuto terapii se používá stejného přístroje jako pro hloubkovou terapii, mění se pouze ozařovací podmínky, např. použití nižších energií (120-160 kV). Indikací pro polohloubkovou RTG terapii jsou nádory kostí, paliativní ozařování metastáz a nenádorová radioterapie (Zámečnick, 1990, s. 212-214).

7.2.4 Hloubková RTG terapie

Definicí hloubkové RTG terapie je ozařování ložisek lokalizovaných ve větších hloubkách než 5 cm a použití vyšších energií (150-400 kV). Dnes je tato metoda využívána především u nenádorové radioterapie (Zámečnick, 1990, s. 214).

7.2.5 Konstrukce RTG ozařovače

Rentgenka neboli RTG elektronka je historicky nejstarším používaným generátorem IZ, konkrétně paprsků X. Jedná se o lineární urychlovač, ve kterém se díky elektrickému potenciálu v řádu desítek až stovek kV urychlují elektrony přecházející z katody na anodu. Při dopadu elektronů na materiál anody dochází ke zbrzdění elektronů a k vyražení elektronů z elektronového obalu atomů anody. To má za následek emitaci brzdného, resp. charakteristického RTG záření (Dorotík, 2006, s. 27).

Na rozdíl od rentgenky využívané pro diagnostiku, kde je vyžadována malá velikost ohniska, z důvodu kvalitnějšího zobrazení, je terapeutická rentgenka jednovláknová a bez rotující anody, která díky tomu nepřispívá k tvorbě dalšího tepla. Tepelné vytížení rentgenky je ale stále obrovské, proto je potřeba ji aktivně chladit, a to buď vodou, nebo olejem. Oblast použití TRG terapeutických přístrojů se díky rozvoji technologie lineárních urychlovačů omezila na napětí do 400 kV (Dorotík, 2006, s. 27).

7.3 Lineární urychlovač

Lineární urychlovač (obr. 5) je dnes velmi často využívaným přístrojem, používaným pro léčbu nenádorových onemocnění, především v zahraničí. U nás v České republice se častěji používá rentgenový ozařovací přístroj, ale i lineární urychlovač zde najde využití. Ozáření lineárním urychlovačem se provádí především předoperačně pro léčbu či prevenci vzniku heterotopických osifikací, kvůli zabránění případných obtíží při výkonu a pooperačně.



Obrázek 5 – Lineární urychlovač Varian (Multiscan.cz, 2020)

7.3.1 Konstrukce lineárního urychlovače

K tvorbě tvrdého fotonového záření se využívá interakce elektronu s tvrdým kovem. Při této interakci nastává přeměna energie svazku nabitých částic v energii fotonů v elektromagnetickém poli atomu terče. K získání požadované energie výsledného fotonového záření je potřeba, aby nalétávající částice měly stejnou nebo vyšší energii. Tuto energii je možné částicím dodat jejich urychlením. K urychlení částic lze použít elektromagnetického, nebo elektrostatického pole (Dorotík, 2006, s. 29).

Lineární urychlovače rozdělujeme na dva typy na základě způsobu urychlování částic na vysokofrekvenční a elektrostatické.

Vysokofrekvenční lineární urychlovače se kvůli své těžkopádnosti a náročnosti na údržbu a velký prostor v dnešní době již nevyužívají. K urychlení se používá soustava válcových elektrod nebo dutinových rezonátorů s postupnou nebo stojatou vlnou. Do válců se přivádí střídavé napětí, kdy je na každém následujícím válci napětí s opačným potenciálem. Pokud se tedy ze zdroje částic dostane kladně nabitá částice do urychlovacího pole jednoho válce, je jím nejprve přitahována (je-li potenciál záporný), a následně odpuzována (je-li potenciál kladný), přičemž je přitahována dalším válcem, ve kterém je v daný okamžik opačný potenciál. Takto urychlované byly částice na energie 1 až 2 MeV (Dorotík, 2006, s. 32).

V **elektrostatických** lineárních urychlovačích se částice urychlují v trubici, na jejíž elektrody je přivedeno velmi vysoké stejnosměrné napětí vytvářející elektrostatická pole. Energie urychlených částic je rovna součtu potenciálů přivedených na elektrody (Dorotík, 2006, s. 32).

8 PRAKTICKÁ ČÁST – SBĚR A INTERPRETACE DAT NENÁDOROVÉ RADIOTERAPIE

8.1 Metodika

Sběr dat probíhal na pracovišti nenádorové radioterapie s nově instalovaným RTG ozařovacím přístrojem (listopad 2018). Data k analýze byla pracovištěm poskytnuta v podobě tabulky s parametry o ozařování u anonymizovaných pacientů. Těmito parametry byly věk, pohlaví, ozařovací protokol (terapie), použitý tubus, napětí na rentgence a datum ozařování. Data byla vyhodnocena a interpretována dle věku a pohlaví pacientů do sloupcových, resp. koláčových grafů.

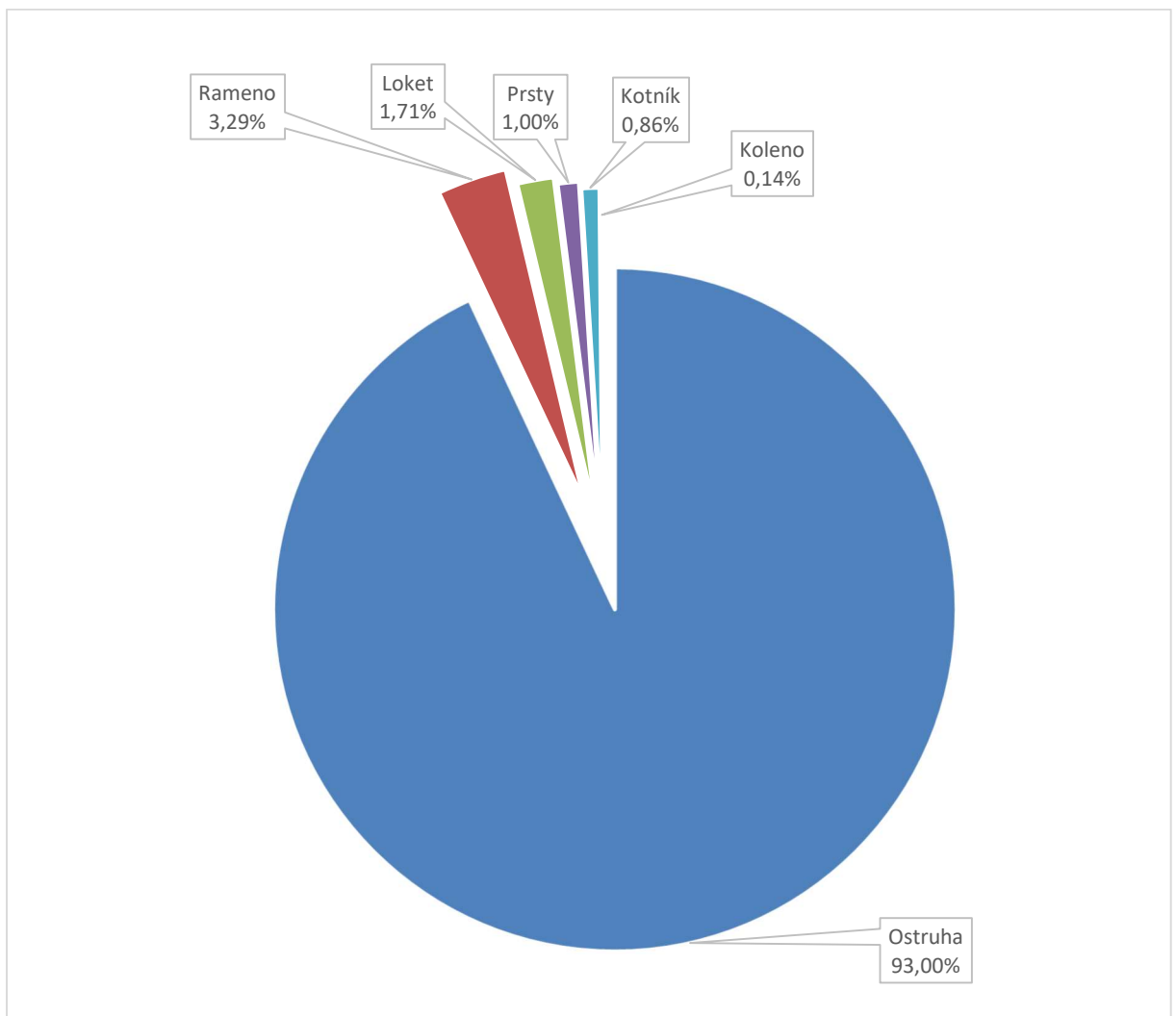
8.2 Charakteristika výzkumného vzorku

Výzkumným vzorek sestával z celkem 700 pacientů podstupujících léčbu zářením na pracovišti nenádorové radioterapie. Období, kdy byl vzorek zkoumán, je od 27. 9. 2018 do 12. 3. 2020.

Počet žen ve vzorku výrazně převyšoval počet mužů, jedná se o dvojnásobný počet žen oproti mužům. Tato hodnota je významně ovlivněna celkovým počtem vykonaných terapií ostruhy patní kosti. Z hlediska věku jsou zde zastoupeni pacienti ve věku od 28 do 89 let. Nejvyšší počet pacientů je od 44 do 74 let.

8.3 Poměr prováděných terapií

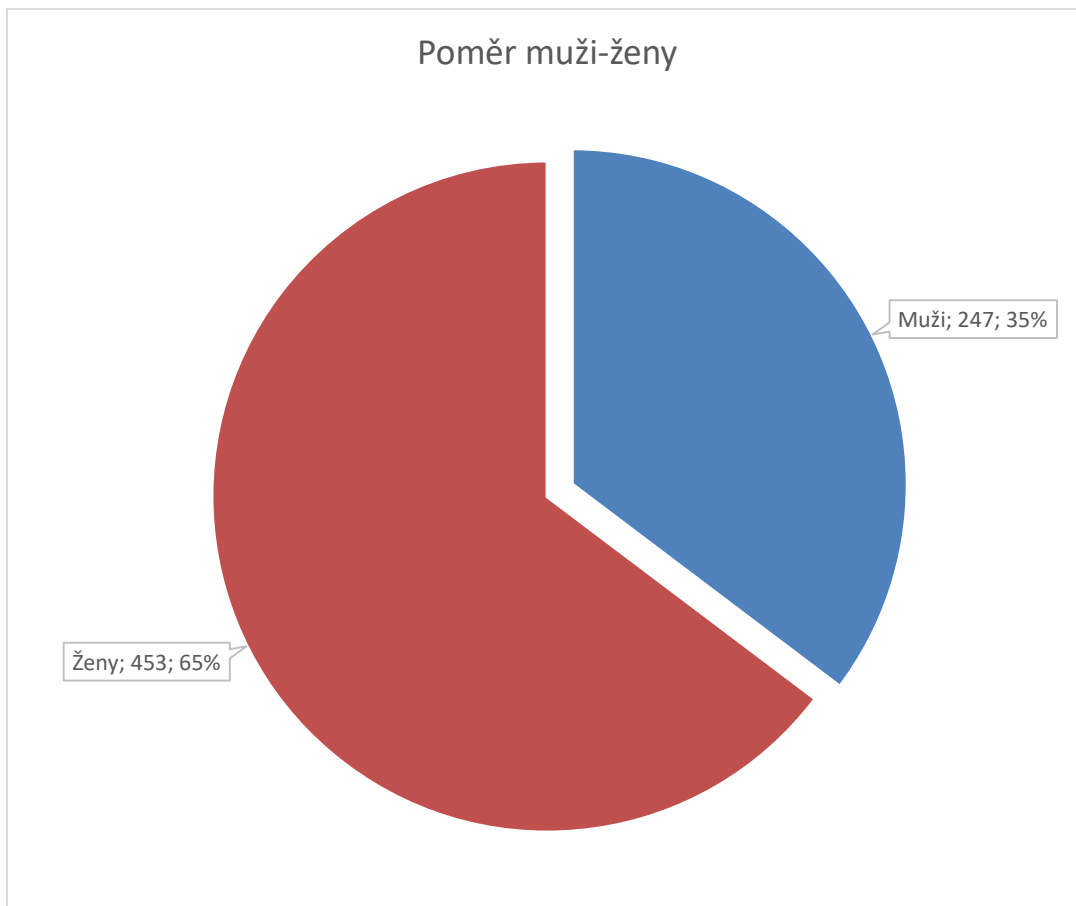
Drtivá většina vykonaných terapií byla terapie ostruhy patní kosti, jež tvořila 93 % všech provedených ozařování, viz obr. 6. Druhé nejčastěji prováděné terapie, i když znatelně méně časté nežli terapie ostruhy, jsou radioterapie ramenního kloubu – 3,29 %. Méně častou terapií je ozařování lokte – 1,71 %. Vzácněji se dále provádí ozařování prstů a kotníku 1 % resp. 0,86 %. Ojediněle se potom setkáváme s ozařováním kolenního kloubu, které v daném vzorku činí pouhých 0,14 % - jednalo se pouze o jediný případ.



Obrázek 6 – Poměr prováděných terapií

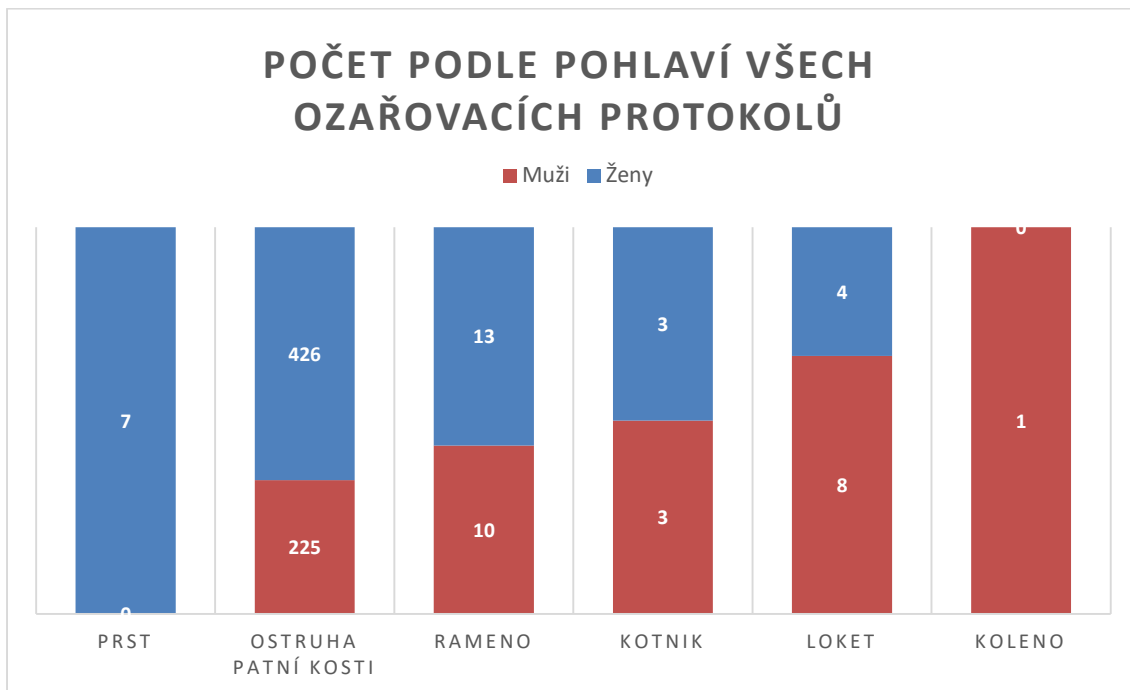
8.4 Pohlaví ozařovaných pacientů

Z celkového počtu 700 pacientů bylo 453 (65 %) ozářených žen a 247 (35 %) mužů. Obecně lze tedy říct, že 2/3 ozařovaných pacientů jsou ženy, viz obr 7.



Obrázek 7 – Poměr pohlaví ozařovaných

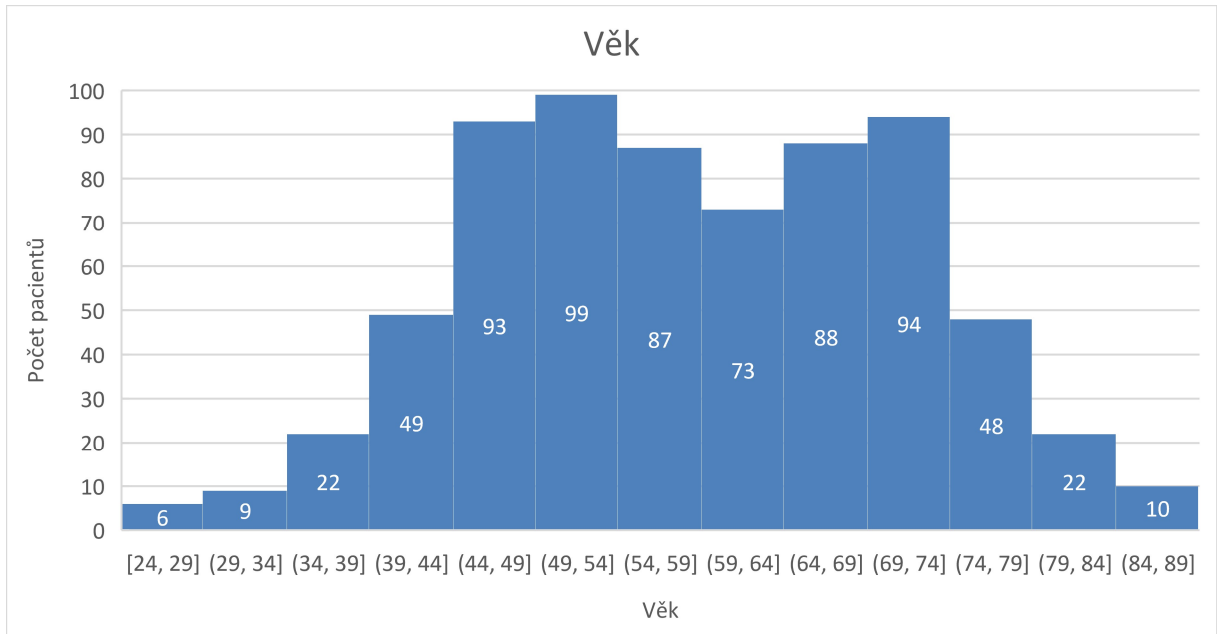
Na pohlaví můžeme také rozdělit jednotlivé ozařovací protokoly, viz obr 8. Ozařování prstů bylo provedeno pouze u žen. Větší zastoupení mužů je pak u ostruhy patní kosti, kde však celkový počet provedených ozáření, jak u mužů, tak u žen, překonává všechna ostatní vyšetření. Vyrovnanější počet je u ozařování ramene. Počet pacientů, jimž byl ozařován kotník, je stejný. Ozařování kolene podstoupil pouze jediný pacient, a to muž.



Obrázek 8 – Rozdělení onemocnění podle pohlaví

8.5 Věkové zastoupení ozařovaných pacientů

Nejvíce ozařovaných pacientů bylo ve věku od 44 do 74 let, viz obr. 9. Nejméně ozařovaných pacientů je ve věku do 34 let. Nejmladšímu ozařovanému pacientovi bylo 24 let. Nejstaršímu ozařovanému pacientovi bylo 89 let.



Obrázek 9 – Věkové zastoupení pacientů

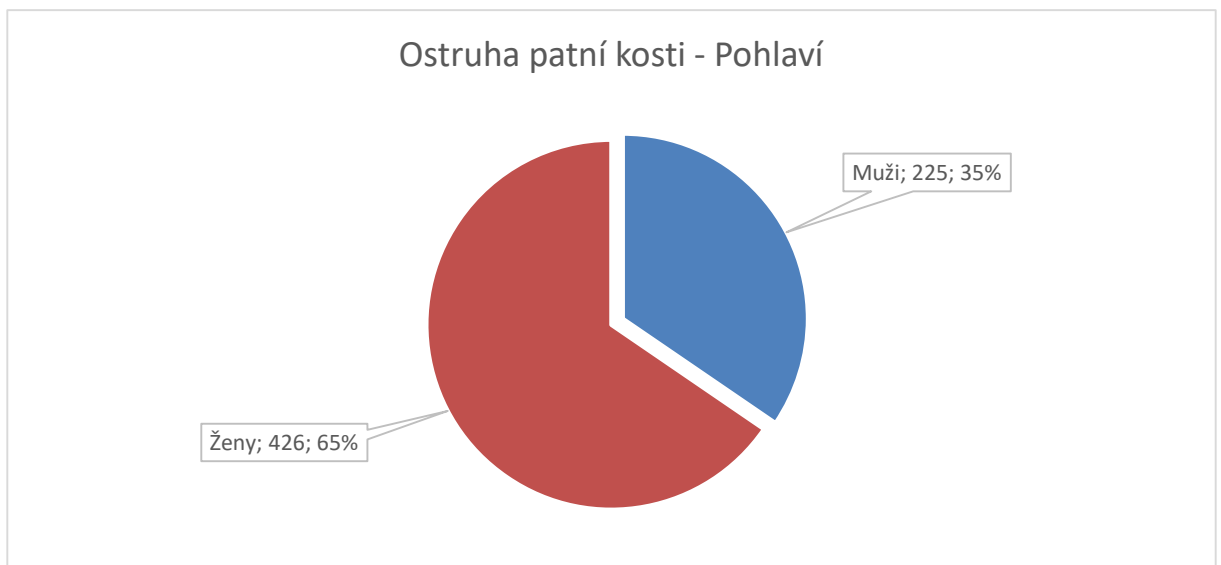
Ozařovací parametry jednotlivých terapií se shodují v napětí na rentgence a aplikované dávky na jedno pole. Liší se v celkové aplikované dávce, díky rozdílnému počtu frakcí, hloubce ozařovaného objemu a velikosti ozařovaného pole. Rozdílné hodnoty přímo souvisí s odlišnou velikostí a lokalizací cílového objemu. Tabulka 2 obsahuje parametry všech terapií prováděných ve výzkumném vzorku.

Tabulka 2 - Parametry prováděných terapií

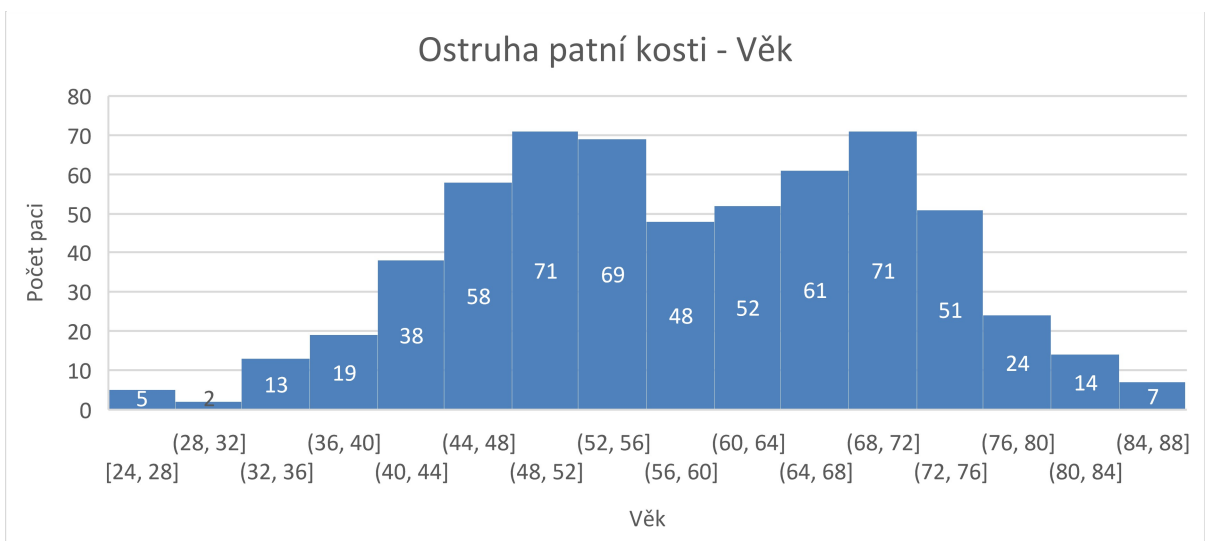
Terapie	Dávka pole	Celková dávka	Velikost pole	Hloubka	Napětí
Ostruha patní kosti	1,0 Gy	3 Gy	6x6 cm	20 mm	180 kV
Rameno	1,0 Gy	4 Gy	10x10 cm	20 mm	180 kV
Loket	1,0 Gy	3 až 4 Gy	8x8 cm	10 mm	180 kV
Prsty	1,0 Gy	3 Gy	6x6 cm	10 mm	180 kV
Kotník	1,0 Gy	3 Gy	8x8 cm	10 mm	180 kV
Koleno	1,0 Gy	3 Gy	8x8 cm	20 mm	180 kV

8.6 Ostruha patní kosti

Ozařování ostruhy patní kosti je nejčastěji prováděná terapie, máme zde tedy zastoupenou největší část pacientů. Celkový počet ozářených pacientů je 651, z toho 426 (65 %) žen a 225 (35 %) mužů. V průměru jsou tedy dvě třetiny ozařovaných pacientů ženy, viz obr. 10. Nejvíce pacientů ozařovaných pro ostruhu patní kosti je ve věku od 44 do 76 let, viz obr. 11, avšak jsou zde zastoupeni i mladší pacienti ve věku od 24 do 28 let, pouze však v poměrně malém počtu vzhledem k celkovému počtu prováděných ozařování.



Obrázek 10 –Ostruha patní kosti, poměr pohlaví



Obrázek 11 – Ostruha patní kosti, věkové zastoupení

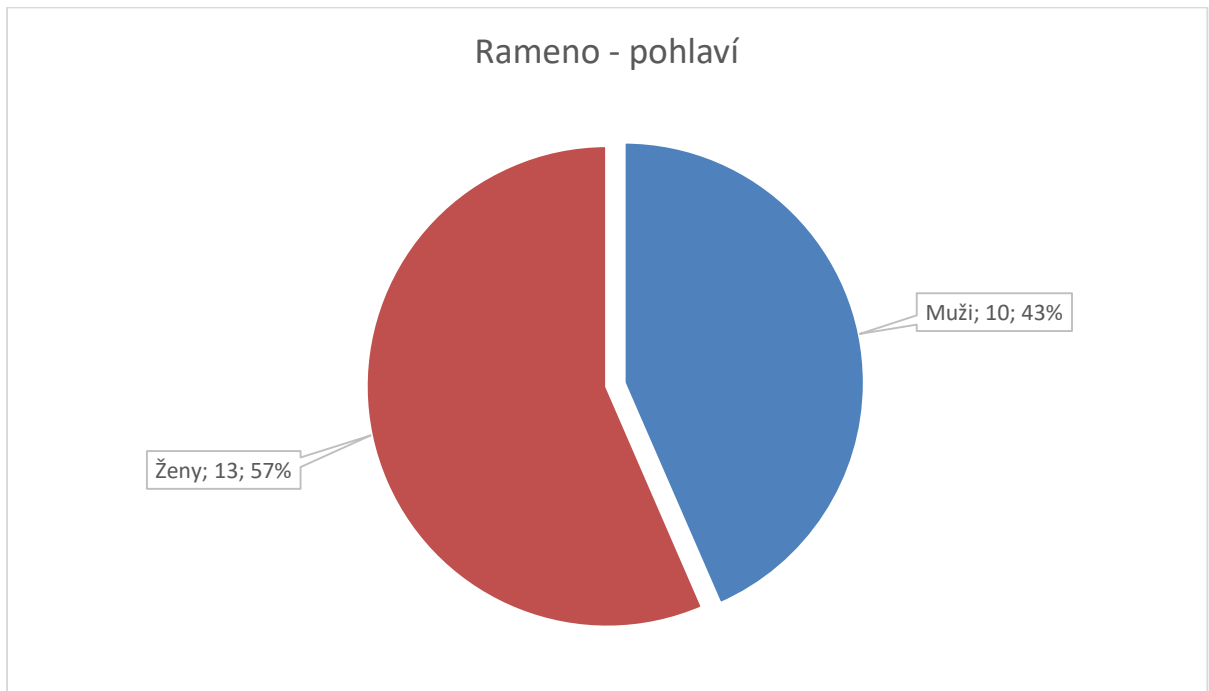
Ostruha patní kosti se ozařuje v poli 6x6 cm v hloubce 20 mm. Napětí na rentgence je 180 kV. Ozařuje se 2x týdně dávkou o velikosti 1,0 Gy. Celková aplikovaná dávka je 3 Gy. Tabulka 3 obsahuje ozařovací parametry pro léčbu ostruhy patní kosti.

Tabulka 3 - Parametry ozařování ostruhy patní kosti

Jednotlivá dávka	Frakcionace	Celková dávka	Napětí	Pole	Hloubka
1,0 Gy	3	3 Gy	180 kV	6x6 cm	20 mm

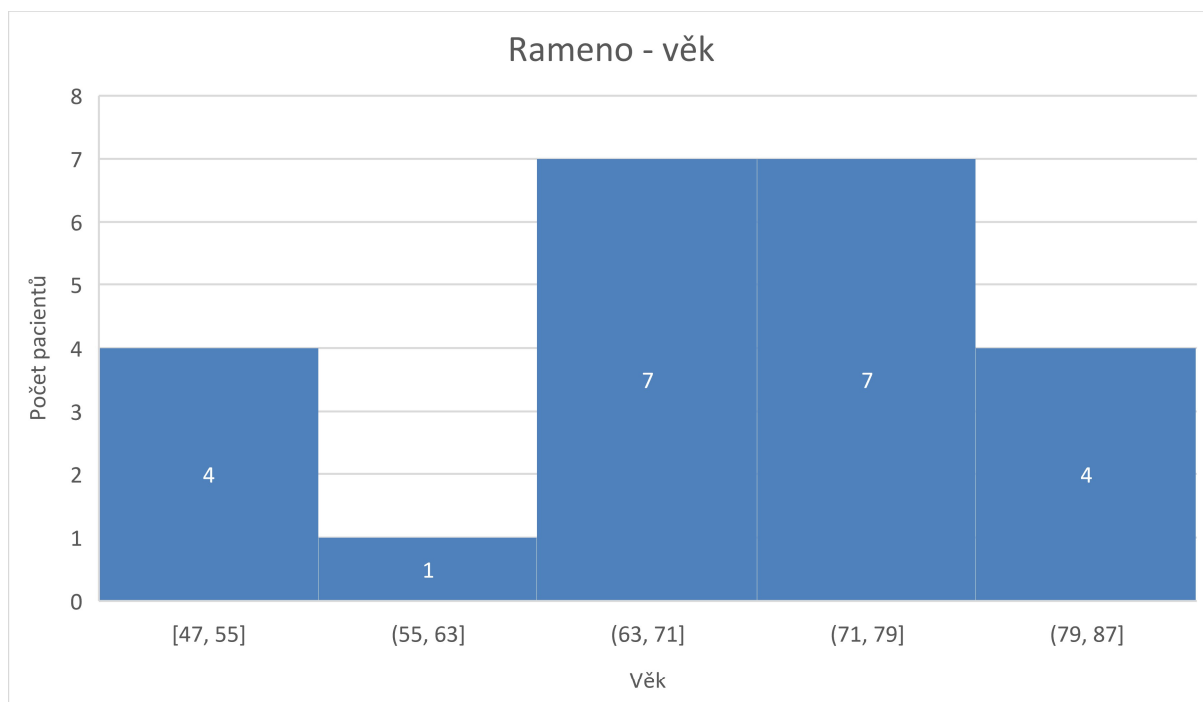
8.7 Ramenní kloub

Druhá nejčastěji prováděná terapie je ozařování ramenního kloubu. Z celkového počtu 23 pacientů bylo 13 (57 %) žen a 10 (43 %) mužů, viz obr. 12. Zde je počet vyrovnanější nežli u ozařování ostruhy patní kosti, přesto je však stále většina ozařovaných pacientů ženského pohlaví.



Obrázek 12 – Ramenní kloub, poměr pohlaví

Z hlediska věku ozařovaných pacientů se na dolní hranici pohybujeme až u středního věku 47 let, přičemž nejvyšší věk je 87. Nejvíce ozařovaných pacientů bylo ve věku od 63 až 79 let, viz obr. 13.



Obrázek 13 – Ramenní kloub, věkové zastoupení

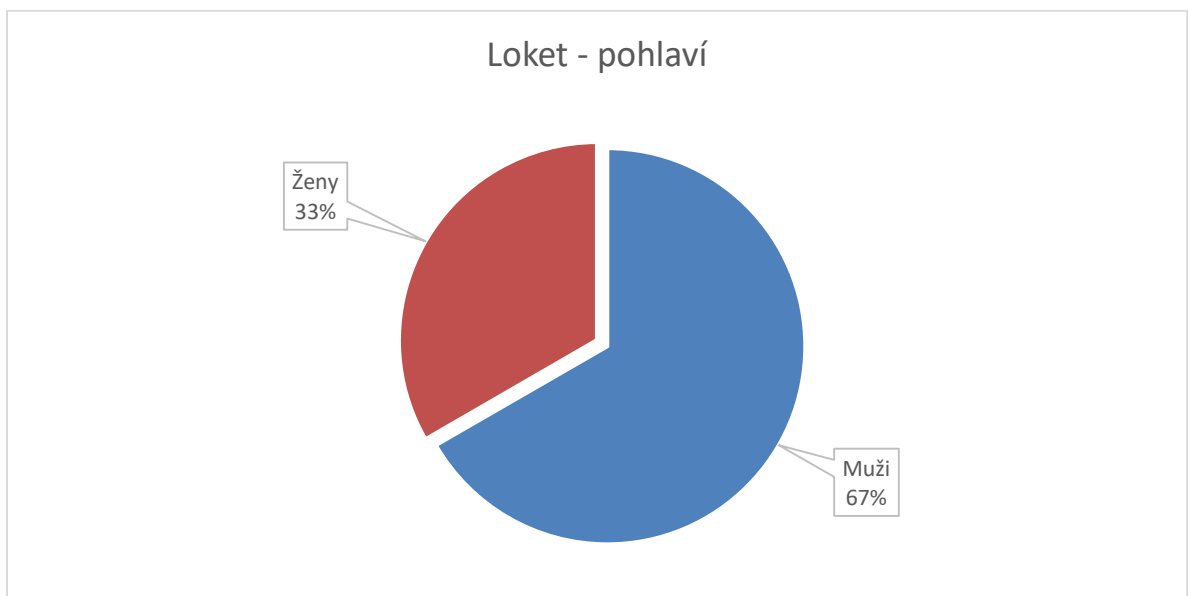
Ze všech prováděných terapií se k ozařování ramenního kloubu používá největší ozařovací pole 10x10cm a ozařuje se v hloubce 20 mm. Napětí na rentgence je 180 kV. Ozařování probíhá 2x týdně dávkou o velikosti 1 Gy. Celková aplikovaná dávka je 4 Gy. Tabulka 4 obsahuje ozařovací parametry pro léčbu ramenního kloubu.

Tabulka 4 – Parametry ozařování ramenního kloubu

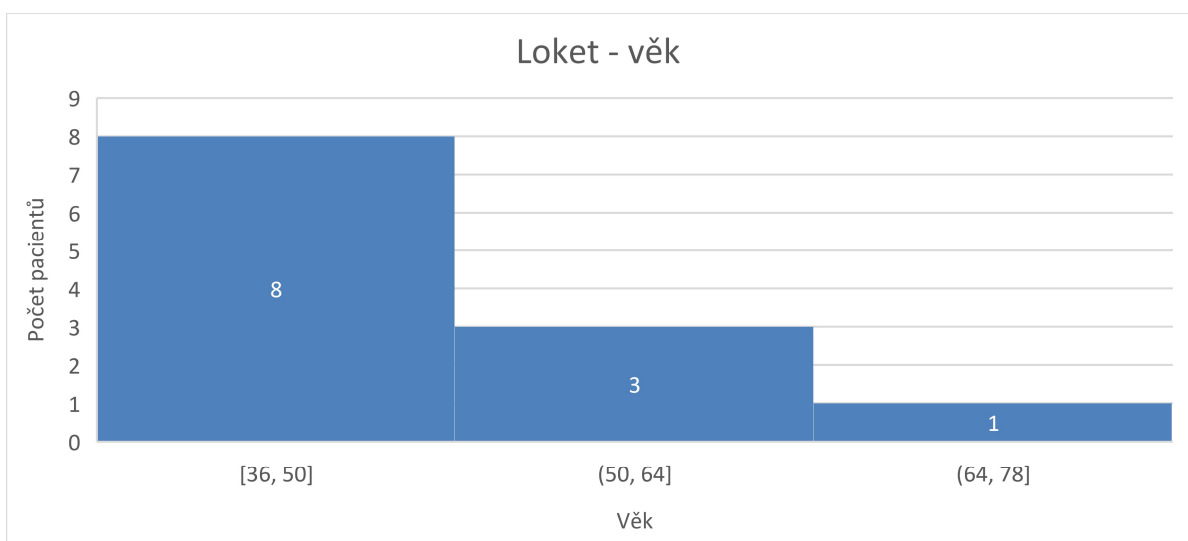
Jednotlivá dávka	Frakcionace	Celková dávka	Napětí	Pole	Hloubka
1,0 Gy	4	4 Gy	180 kV	10x10 cm	20 mm

8.8 Loket

Ozařování loketního kloubu je třetí nejčastěji léčené onemocnění nenádorovou radioterapií. Z celkového počtu terapií má však už podstatně menší podíl. Celkový počet ozařovaných pacientů je 12, z čehož je 8 (67 %) mužů a 4 (33 %) žen, tedy pouze 1/3 ozářených jsou ženy, viz obr. 14. Věkové zastoupení pacientů je u ozáření lokte nejpočetnější ve věku od 36 do 50 let. Nejvyšší věk je 78 let, viz obr. 15.



Obrázek 6 – Loket, poměr pohlaví



Obrázek 15 – Loket, věkové zastoupení

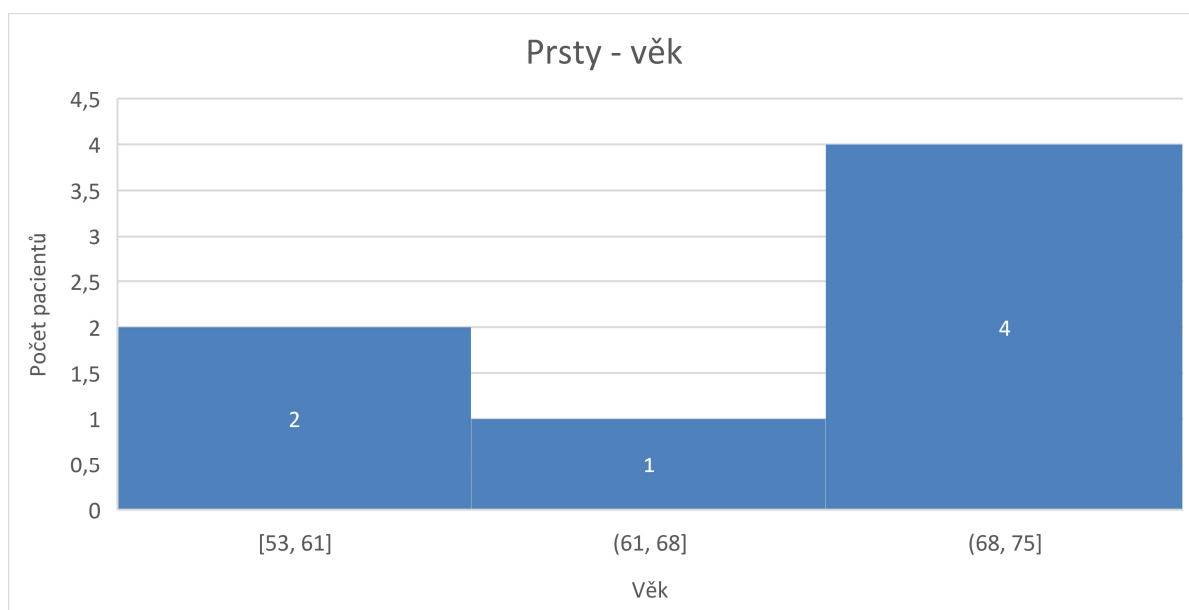
Napětí na rentgence je 180 kV. Ozařovací pole je velikosti 8x8 cm a v hloubce 10 mm. Ozařování se provádí 2 - 3x týdně dávkou 1,0 Gy. Celková aplikovaná dávka je 3-4 Gy podle frakcionace. Tabulka 5 obsahuje ozařovací parametry pro léčbu ramene.

Tabulka 5 – Parametry ozařování lokte

Jednotlivá dávka	Frakcionace	Celková dávka	Napětí	Pole	Hloubka
1,0 Gy	3-4	3-4 Gy	180 kV	8x8 cm	10 mm

8.9 Prsty horních končetin

Tato terapie je již méně častá, z celkového počtu 700 pacientů jí podstoupilo pouze 6. Ozařování kloubů prstů podstoupily v daném vzorku pacientů výhradně ženy. Ozařování kloubů prstů je obecně záležitostí vyšších věkových skupin. Nejvíce ozařených je v rozmezí od 68 do 75 let, viz obr. 16. Celková dávka ani jednotlivá dávka pole se v průběhu jednotlivých terapií nemění.



Obrázek 16 – Prsty ruky, věkové zastoupení

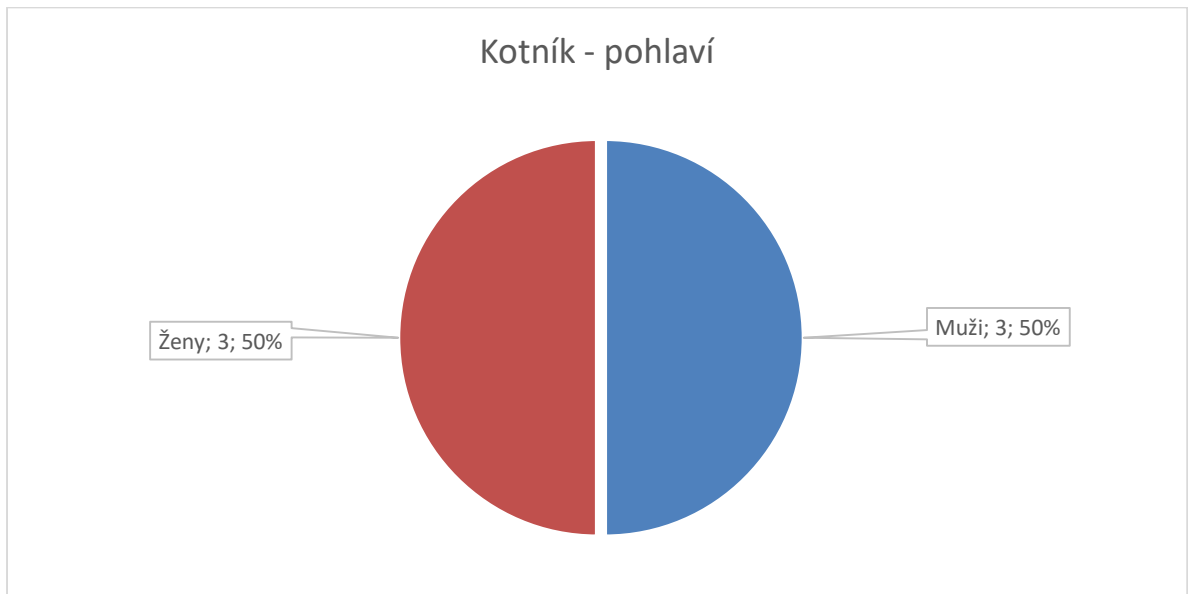
Klouby prstů horních končetin se ozařují v poli o velikosti 6x6 cm a hloubce do 10 mm. Napětí na rentgence je 180 kV. Ozařování se provádí 2x týdně dávkou 1,0 Gy. Celková aplikovaná dávka je 3 Gy. Tabulka 6 obsahuje ozařovací parametry pro léčbu prstů ruky.

Tabulka 6 – Prsty horních končetin, parametry ozařování

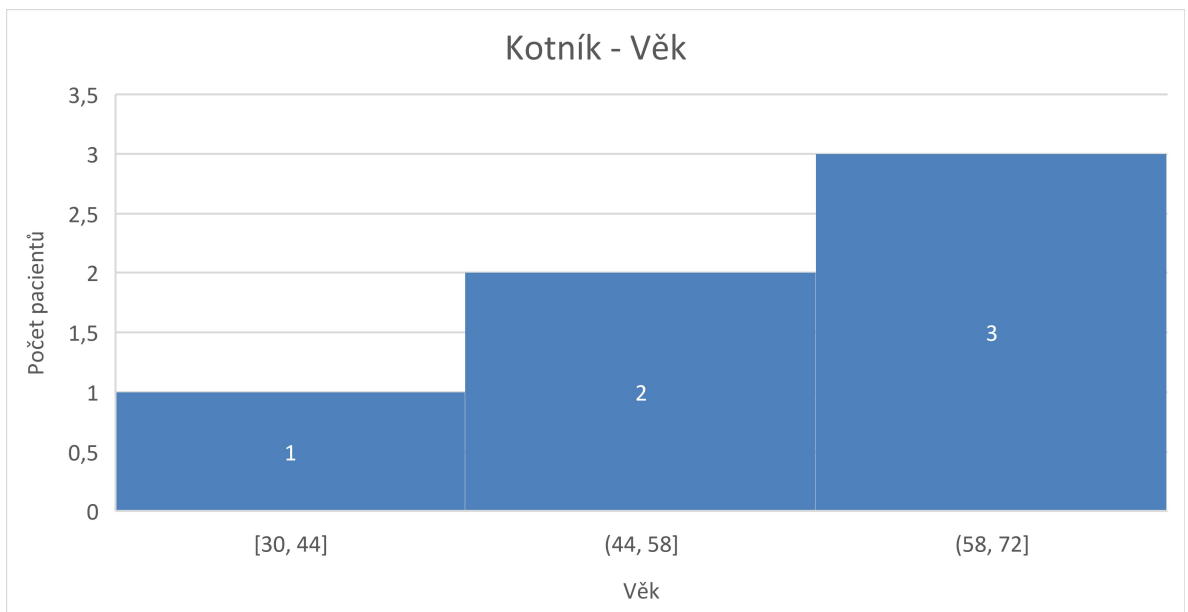
Jednotlivá dávka	Frakcionace	Celková dávka	Napětí	Pole	Hloubka
1,0 Gy	3	3 Gy	180 kV	6x6 cm	10 mm

8.10 Kotník

Celkově terapii podstoupilo pouze 6 pacientů, můžeme tedy říct, že je poměrně neobvyklá. Z hlediska pohlaví je ozařování kotníku zcela vyrovnané – 3 ženy a 3 muži, viz obr. 17. Co se týče věku, jsou zde zastoupeni jak mladší, tak starší pacienti. Nejvíce pacientů je zastoupeno ve věku od 58 do 72 let, viz obr. 18.



Obrázek 17 – Kotník, poměr pohlaví



Obrázek 18 – Kotník, věkové zastoupení

Při ozařování kotníku se používá pole o velikosti 8x8cm a ozařuje se do hloubky 10 mm. Napětí na rentgence je 180 kV. Ozařuje se 2x týdně dávkou 1,0 Gy. Celková aplikovaná dávka je 3 Gy. Tabulka 7 obsahuje ozařovací parametry pro léčbu kotníku.

Tabulka 7 – Kotník, parametry ozařování

Jednotlivá dávka	Frakcionace	Celková dávka	Napětí	Pole	Hloubka
1,0 Gy	3	3 Gy	180 kV	8x8 cm	10 mm

8.11 Kolenní kloub

Ozařování kolenního kloubu je v dnešní době tak ojedinělá terapie, že z celého vzorku pacientů se zde vyskytl pouze jediný případ. Ozařovaný pacient byl muž. Pacientův věk byl 51 let.

Kolenní kloub se ozařuje v poli 8x8cm, ozařuje se do hloubky 20 mm a napětí na rentgence je 180 kV. Ozařuje se 2x týdně dávkou 1,0 Gy. Celková aplikovaná dávka je 3 Gy. V tabulce 8 jsou vyznačeny ozařovací parametry pro léčbu kolenního kloubu.

Tabulka 8 – Kolenno, parametry ozařování

Jednotlivá dávka	Frakcionace	Celková dávka	Napětí	Pole	Hloubka
1,0 Gy	3	3 Gy	180 kV	8x8 cm	10 mm

9 DISKUZE

Praktická část bakalářské práce sumarizuje onemocnění, která se nejčastěji léčí ozařováním ionizujícím zářením na pracovišti nenádorové radioterapie, poměr žen a mužů, jež podstoupili tento způsob léčby a věkové zastoupení pacientů u jednotlivých onemocnění. Vzorek obsahuje data o 700 pacientech za období téměř 2 let, jedná se tedy o poměrně velký vzorek s dostatečnou výpovědní hodnotou. Výsledek však díky svému velkému zastoupení značně ovlivnila léčba ostruhy patní kosti. Proto jsou souhrnné statistiky prováděných terapií svými hodnotami velice podobné, až totožné, s hodnotami terapie ostruhy patní kosti.

Jako nejčastěji prováděná léčba se ukázalo ozařování ostruhy patní kosti, která činí 93 % všech provedených vyšetření – takovýto výsledek není příliš překvapivý, jelikož je obecně ostruha patní kosti považována jako nejčastější nenádorové onemocnění léčené radioterapií. Zajímavější je již pohled na zastoupení pohlaví, kdy ozařování podstoupilo dvojnásobné množství žen oproti mužům. Podle H. Toumi (2014) je zvýšená prevalence výskytu ostruhy patní kosti u žen zapříčiněna chůzí v botách s vysokými podpatky. Kirkpatrick (2014) uvádí, že 98,4 % pacientů, jež trpí ostruhou patní kosti, je starších 40 let. Výsledek v této práci není od této hodnoty příliš vzdálený, konkrétně odpovídá hodnotě 94 % pacientů.

U léčby ramenního kloubu se věkové zastoupení neliší tolik, jako u ostruhy patní kosti, přesto je i zde větší zastoupení žen nežli mužů, přesněji 57 % proti 43 %. Podle Taubera (2019) je vznik zapříčiněn anatomickými či systémovými změnami, genetickými predispozicemi, ale také přetěžováním kloubů, lze se tedy domnívat, že právě větší zastoupení žen je zapříčiněno nošením těžších břemen na ramenu (např. kabelka).

Přestože nejsou zbylé terapie zastoupené v příliš vysokém počtu, stále mohou mít dostatečnou výpovědní hodnotu. Kromě ozařování kolene je terapie ozařování lokte jedinou terapií, kde je vyšší podíl mužů nežli žen, konkrétně 8 (67 %) proti 4 (33 %), poměrově tedy přesně naopak oproti ostruhy patní kosti. Goguin (2013) uvádí, že se onemocnění týká žen i mužů stejným dílem, toto tvrzení se však s výsledky v práci příliš neshoduje.

Ozařování prstů horních končetin podstoupilo pouze 6 pacientů, jimiž byly pouze ženy ve věku od 53 do 75 let. Jednou z možných příčin je trauma způsobené namáháním manuální prací v produktivním věku, např. švadleny. Tato domněnka však není nijak podložena, žádná literatura podobný názor neobsahuje a vzhledem k povaze získaných dat nelze zjistit povolání pacienta.

Podle Britského radiologického institutu (2015) jsou indikace léčby bolestivých kostních poruch pro pacienty mladší 40 let možné pouze ve výjimečných případech a po důkladném zvážení léčby. Ze získaných dat však vyplývá, že ozařování podstoupilo i nemalé množství pacientů do věku 39 let, přesněji jde o 45 pacientů, přičemž nejmladšímu pacientovi bylo 24 let, z toho většina podstoupila ozařování ostruhy patní kosti. Z tohoto faktu vyplývá domněnka, že léčba touto metodou byla v daných případech dobře opodstatněnou a nejlepší možnou volbou s ohledem na přínos proti potenciálním negativním účinkům ionizujícího záření na organismus.

Zprvu mírně překvapivým výsledkem byla absence léčby keloidních jizev, heterotopických osifikací nebo Graves-Basedowovy oftalmopatie. Podle zdrojů (Šlampa, 2014, Kolář, 2009, Vilímovský, 2014, Urbánek, 2012) se jedná o jedny z častějších onemocnění, avšak ani jedno z těchto onemocnění se na pracovišti nenádorové radioterapie v daném období nevyskytlo. Pravděpodobný důvod, proč tomu tak je, především u Graves-Basedowovy oftalmopatie, je vyšší nárok na ozařovací přístroj – je potřeba sofistikovaných stereotaktických ozařovacích systémů, které se v České republice nachází pouze na několika vybraných pracovištích.

Domnívám se, že práce přináší význam především v získání širšího přehledu o četnosti vykonávaných terapií na pracovišti NR a věkového zastoupení a pohlaví pacientů podstupujících léčbu nenádorových onemocnění pomocí radioterapie. Jak již bylo výše zmíněno, vzorek pacientů byl velký a sledované období dlouhé.

Limity práce spatřuji zejména ve faktu, že získaná data odráží situaci pouze na jediném pracovišti. Pokud by se jednalo o více pracovišť, zcela jistě by byly výsledky alespoň minimálně odlišné. K dalšímu výzkumu by bylo vhodné nasbírat podobná data z dalších pracovišť různých nemocnic v zemi a vzájemně výsledky porovnat a vymezit rozdíly jednotlivých pracovišť.

10 ZÁVĚR

Cílem teoretické části práce bylo objasnit postavení nenádorové radioterapie z historického hlediska a v moderní medicíně, její indikace a kontraindikace a nemoci léčené nenádorovou radioterapií. Ještě v nedaleké minulosti se jednalo o jednu z nejvýznamnějších metod hojně využívaných pro léčbu nejen nádorových, ale také nenádorových onemocnění. Přestože se její využití za dobu od jejích počátků výrazně zúžilo, je NR hojně využívanou metodou především pro paliativní léčbu nenádorových onemocnění. Největší význam představuje pro léčbu ostruhy patní kosti, výrazně se také podílí při léčbě degenerativních kloubních onemocnění.

Primárním cílem praktické části práce bylo získat širší přehled o zastoupení onemocnění, resp. o terapiích prováděných na pracovišti. Největší podíl připadá terapii ostruhy patní kosti, a to celých 93% vyšetření. Druhou nejčastější je terapie ramenního kloubu, jež činí 3,29 %. Následuje loket s podílem 1,71 %. Další jsou klouby prstů horních končetin s 1 %. U kotníku se již pohybujeme pod jedním procentem, přesněji 0,86 %. Poslední, a tedy nejméně prováděnou terapií, je ozařování kolenního kloubu, kdy se s podílem 0,14 % jednalo pouze o jediného pacienta.

Díličními cíli praktické části bylo analyzovat a interpretovat získaná data podle věku a pohlaví pacientů při jednotlivých provedených terapiích. První terapií je ostruha patní kosti. Počet ozařovaných pacientů byl 651, 65 % tedy 421 z těchto pacientů byly ženy, zbytek s podílem 25 % a počtem 225 muži. Ozařují se pacienti ve věku již od 24 let do 88 let, nejpočetnější věkové skupiny jsou od 44 do 76 let. Druhá terapie je ozařování ramenního kloubu, avšak zde je celkový počet již výrazně nižší (23). Stále převládá počet žen - 57 % (13) proti 43 % (10). Nejvíce ozařovaných pacientů bylo ve věku 63 až 79 let. Třetí nejčastější terapií je ozařování lokte. Zde je již větší počet mužských pacientů, konkrétně 67 % (8) a 33 % (4) žen. Věkové zastoupení je zde nejvíce od 36 do 50 let. Ozařování prstů bylo provedeno 7 pacientům a byly to pouze ženy. Věkové rozmezí je od 53 do 75 let. U ozařování kotníku je pohlaví vyrovnané. Věk pacientů je zde od 30 do 72 let. Velice ojedinělou terapií je ozařování kolenního kloubu. Ve vzorku se objevil pouze jediný pacient, který tuto terapii podstoupil. Jednalo se o muže ve věku 51 let.

11 POUŽITÁ LITERATURA

ASPRADAKIS, Maria M a Paolo ZUCCHETTI. Acceptance, commissioning and clinical use of the Womed T-200 kilovoltage X-ray therapy unit. *The British Journal of Radiology* [online]. 2015, **88**(1055) [cit. 2020-04-18]. DOI: 10.1259/bjr.20150001. ISSN 0007-1285. Dostupné z: <http://www.birpublications.org/doi/10.1259/bjr.20150001>

BINAROVÁ, Andrea. *Radioterapie*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2010. ISBN 978-80-7368-701-4.

BURGIO, Ernesto, Prisco PISCITELLI a Lucia MIGLIORE. Ionizing Radiation and Human Health: Reviewing Models of Exposure and Mechanisms of Cellular Damage. An Epigenetic Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018, **15**(9). DOI: 10.3390/ijerph15091971. ISSN 1660-4601. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/1660-4601/15/9/1971>

ČESKÁ REPUBLIKA. *Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky*. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, 2016, ročník 2016, částka 2. Dostupné také z: https://www.mzcr.cz/Odbornik/dokumenty/radiacni-onkologie_8776_3050_3.html

DOROTÍK, Jan. *Radioterapeutické přístroje*. Ostrava: Ostravská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2006. ISBN 80-736-8220-6.

FELTL, David a Jakub CVEK. *Klinická radiobiologie*. Havlíčkův Brod: Tobiáš, 2008. ISBN 978-80-7311-103-8.

FREITINGER SKALICKÁ, Zuzana a Jiří HALAŠKA. *Radiobiologie* [online]. [cit. 2020-004-20]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>

Gonartróza. In: *Nemocnice Jihlava* [online]. Jihlava: Vismo®, 2011, 10.5.2011 [cit. 2020-10-29]. Dostupné z: <https://m.nemji.cz/konzervativni-ortopedicka-lecba/d-4118/p1=7901>

GOGUIN, J.P. and Rush, F. (2003) Lateral Epicondylitis. What Is It Really? *Current Orthopaedics*, 17, 386-389. [http://dx.doi.org/10.1016/S0268-0890\(03\)00111-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0268-0890(03)00111-7)

Gynekomastie. In: <https://www.esthe-plastika.cz/> [online]. Praha: Webdesign PragueBest, 2014, 1.1.2014 [cit. 2020-10-29]. Dostupné z: https://www.esthe-plastika.cz/aktuality/detail/48_677-operace-prsou-gynekomastie

HALPERIN, Edward C., David E. WAZER, Luther W. BRADY a Carlos A. PEREZ. *Perez and Brady's principles and practice of radiation oncology*. 6. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 2013. ISBN 9781451116489.

HAVRÁNKOVÁ, Renata, ed. *Klinická radiobiologie*. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0.

HYNKOVÁ, Ludmila a Pavel ŠLAMPA. *Základy radiační onkologie*. Brno: Masarykova univerzita, 2012. ISBN 978-80-210-6061-6.

Chemical elements listed by ionization energy. *Lenntech* [online]. Delfgauw: Lenntech B.V., 2018 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.lenntech.com/periodic-chart-elements/ionization-energy.htm>

KIRKPATRICK, Joshua, Omid YASSAIE a Seyed Ali MIRJALILI. The plantar calcaneal spur: a review of anatomy, histology, etiology and key associations. *Journal of Anatomy*. 2017, **230**(6), 743-746. DOI: 10.1111/joa.12607. ISSN 00218782. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/joa.12607>

KLOUDA, Pavel. *Základy biochemie*. 2., přeprac. vyd. Ostrava: Pavel Klouda, 2005. ISBN 80-863-6911-0.

KOLÁŘ, Pavel. *Rehabilitace v klinické praxi*. Praha: Galén, 2009. ISBN 978-80-7262-657-1.

Lineární urychlovač Varian. In: *Multiscan.cz* [online]. Pardubice: AKESO holding, 2020, 9.1.2020 [cit. 2020-10-29]. Dostupné z: <https://www.multiscan.cz/novinky/s-novym-rokem-byl-uvaden-do-provozu-moderni-linearni-urychlovac-1708>

MAREK, Josef a Marie BRODANOVÁ. *Vnitřní lékařství*. Praha: Galén, 2002. Scripta. ISBN 80-726-2169-6.

Nežádoucí účinky radioterapie. *Společnost radiační onkologie, biologie a fyziky ČLS JEP* [online]. Praha: Pankrea, 2020, 2020 [cit. 2020-11-11]. Dostupné z: <https://www.srobf.cz/cs/pro-pacienty/nezadouci-ucinky-radioterapie>

Ostruha patní. In: *RC Mozaika* [online]. Lovosice, 2010, 11.3.2018 [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <http://www.rcmozaika.cz/blog/ostruha-patni-17>

OTT, Oliver J., Carolin JEREMIAS, Udo S. GAJPL, Benjamin FREY, Manfred SCHMIDT a Rainer FIETKAU. Radiotherapy for benign calcaneodynia. *Strahlentherapie und Onkologie*. 2014, **190**(7), 671-675. DOI: 10.1007/s00066-014-0618-0. ISSN 0179-7158. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00066-014-0618-0>

PAVELKA, Karel. Osteoartróza jako součást metabolického syndromu? *Vnitřní lékařství* [online]. 2017, **63**(10), 707-711 [cit. 2020-04-28]. ISSN 1801-7592. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/vnitri-lekarstvi/2017-10/osteoartróza-jako-soucast-metabolickeho-syndromu-62146>

PODZIMEK, František. *Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05319-5.

RTG ozařovací přístroj. In: *Multiscan.cz* [online]. Pardubice: AKESO holding, 2018, 22.11.2018 [cit. 2020-10-29]. Dostupné z: <https://www.multiscan.cz/novinky/rentgenovy-ozarovac-pro-lecibu-nenadorovych-onemocneni-opet-v-provozu-1473>

ŘEZÁČOVÁ, Martina a Jiřina VÁVROVÁ. *Molekulární mechanismy účinku ionizujícího záření*. Hradec Králové: Nucleus HK, 2011. ISBN 978-80-87009-82-6.

SEEGENSCHMIEDT, M H, O MICKE a R MUECKE. Radiotherapy for non-malignant disorders: state of the art and update of the evidence-based practice guidelines. *The British Journal of Radiology* [online]. 2015, **88**(1051) [cit. 2020-06-08]. DOI: 10.1259/bjr.20150080. ISSN 0007-1285. Dostupné z: <http://www.birpublications.org/doi/10.1259/bjr.20150080>

SOSNA, Antonín. *Základy ortopedie*. Praha: Triton, 2001. ISBN 80-725-4202-8.

Stručný přehled činnosti oboru radiační onkologie, klinická onkologie za období 2007–2018: NZIS REPORT č. K/13 (08/2019). In: *Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR* [online]. Praha: ÚZIS ČR, 2020, 2019 [cit. 2020-11-14]. Dostupné z: <https://www.uzis.cz/res/f/008289/nzis-rep-2019-k13-a033-radiacni-onkologie-klinicka-onkologie-2018.pdf>

ŠIFFNEROVÁ, Hana. Pozdní vedlejší účinky onkologické léčby u dlouhodobě přežívajících pacientů. *Onkologieh* [online]. 2012, 2012, **2012**(6), 31-33 [cit. 2020-11-13]. Dostupné z: <https://www.onkologiecs.cz/pdfs/xon/2012/01/09.pdf>

ŠLAMPA, Pavel. *Radiační onkologie v praxi*. 4. vydání. Brno: Masarykův onkologický ústav, 2014. ISBN 978-80-86793-34-4.

ŠLAMPA, Pavel a Jiří PETERA. *Radiační onkologie*. Praha: Galén, c2007. ISBN 978-80-246-1443-4.

TAUBER, Mark a Frank MARTETSCHLÄGER. Omarthrose – Pathogenese, Klassifikation, Diagnostik und Therapie. *Der Orthopäde* [online]. 2019, **48**(9), 795-808 [cit. 2020-06-08]. DOI: 10.1007/s00132-019-03792-9. ISSN 0085-4530. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00132-019-03792-9>

TOUMI H., DAVIES R., MAZOR M. ,et al. (2014) Changes in prevalence of calcaneal spurs in men & women: a random population from a trauma clinic. *BMC Musculoskelet Disord* 15,87

ULLMANN, Vojtěch. Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření. *Astronuklfyzika.cz* [online]. Ostrava: RNDr. Vojtěch Ullmann, 2020 [cit. 2020-11-11]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.htm>

ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. ISBN 978-80-7368-669-7.

URBÁNEK, Jaroslav. *Současné možnosti terapie keloidů* [online]. *Dermatologie pro praxi*, 2012, **6**(3), 144-147 [cit. 2020-04-20]. ISSN 1803-5337. Dostupné z: <https://www.dermatologiepropraxi.cz/pdfs/der/2012/03/10.pdf>

VÁVROVÁ, Jiřina a Stanislav FILIP. *Radiosenzitivita hematopoetického systému*. Praha: Galén, 2003. Alma mater. ISBN 80-726-2200-5.

VILÍMOVSKÝ, Michal. Keloid: příčiny, příznaky, diagnostika a léčba. <https://cs.medlicker.com/> [online]. 12. dubna 2014 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://cs.medlicker.com/379-keloid-priciny-priznaky-diagnostika-a-lecba>

ZÁMEČNÍK, Jiří. *Radiobiologie a technika léčby ionizujícím zářením: učební text pro střední zdravotnické školy - studium absolventů stř. všeobec. vzdělávacích škol - obor rentgenových laborantů*. Praha.

ZÁMEČNÍK, Jiří. *Radioterapie: učebnice pro střední zdravotnické školy, studijní obor ázradiologický laborant*. 2.vyd. Praha: Avicenum, 1990. Učebnice pro střední zdravotnické školy (Avicenum). ISBN 80-201-0051-2.

ŽÁČKOVÁ, H., Horáková, I., Koniarová, I., & Dufek, V. (2014). Current implementation of non-tumor radiotherapy in Czech Republic. XXXVI Days of Radiation Protection Book of Presentations and Posters, (p. 1171). Slovensko