



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

Fakulta biomedicínského inženýrství  
Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

**Problematika stanovení dávek při celotělovém ozařování kůže  
elektronovým svazkem v Nemocnici České Budějovice**

**Problems of Determination of Doses During Total Skin Electron  
Irradiation at České Budějovice Hospital**

Bakalářská práce

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví  
Studijní obor: Radiologický asistent

Vedoucí práce: doc. Ing. František Podzimek, CSc.

**Anežka Kozlerová**

---

**Kladno, květen 2018**

## Z a d á n í   b a k a l á ř s k é   p r á c e

Student: **Anežka Kozlerová**  
Obor: Radiologický asistent  
Téma: **Problematika stanovení dávek při celotělovém ozařování kůže elektronovým svazkem v Nemocnici České Budějovice**  
Téma anglicky: Problems of Determination of Doses During Total Skin Electron Irradiation at České Budějovice Hospital

### Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :

Předmětem bakalářské práce bude problematika celotělového ozáření kůže elektronovým svazkem u mycosis fungoides na odd. onkologie v Nemocnici České Budějovice. Práce bude rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část se bude zabývat obecnou problematikou celotělového ozařování se speciálním zaměřením na problematiku ozařování kůže elektronovým svazkem.

V praktické části studentka provede experimentálně vyhodnocení výsledků měření pomocí TLD dozimetřů, které slouží ke stanovení dávek na jednotlivých částech těla. K vyhodnocení budou použity vlastní naměřené hodnoty i zpětně získané hodnoty naměřené u pacientů v roce 2017.

### Seznam odborné literatury:

- [1] BINAROVÁ, Andrea, Radioterapie, Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2010, ISBN 978-80-7368-701-4
- [2] HYNKOVÁ, Ludmila a Pavel ŠLAMPA, Základy radiační onkologie, Brno: Masarykova univerzita, 2012, ISBN 978-80-210-6061-6
- [3] ŠLAMPA, Pavel a Jiří PETERA, Radiační onkologie, Praha: Galén, 2007, ISBN 978-80-7262-469-0
- [4] ŠLAMPA, Pavel, Radiační onkologie v praxi, ed. 2. aktual. vyd., Brno: Masarykův onkologický ústav, 2007, ISBN 978-80-86793-08-5

Zadání platné do: 20.09.2019  
Vedoucí: doc. Ing. František Podzimek, CSc.  
Konzultant: Mgr. Radka Dušková

vedoucí katedry / pracoviště

děkan

V Kladně dne 19.02.2018

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Problematika stanovení dávek při celotělovém ozařování kůže elektronovým svazkem v Nemocnici České Budějovice vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně dne 18.05.2018

.....  
podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala panu doc. Ing. Františku Podzimkovi, CSc. za odborné vedení, trpělivost a pomoc při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat své konzultantce Mgr. Radce Duškové za věnovaný čas, pomoc a ochotu při hledání potřebných informací. V neposlední řadě bych ráda poděkovala také Ing. Aleně Chourové za cenné rady, připomínky a vřelý přístup a rovněž Nemocnici České Budějovice, a.s. za poskytnuté materiály.

Také děkuji své rodině a blízkým za podporu, kterou mi byli během let celého mého studia.

## **Abstrakt**

V bakalářské práci na téma „Problematika stanovení dávek při celotělovém ozařování kůže elektronovým svazkem v Nemocnici České Budějovice“ jsem popsala tuto techniku a in-vivo dozimetrii pomocí termoluminiscenčních detektorů.

V teoretické části jsem se zabývala fyzikální podstatou a rozdíly v interakcích fotonů, protonů a elektronů. Dále jsem se v současném stavu zabývala obecně problematikou celotělového ozařování se speciálním zaměřením na problematiku ozařování kůže elektronovým svazkem u onemocnění mycosis fungoides.

V praktické části jsem se věnovala termoluminiscenční dozimetrii (TLD), která se uplatňuje při měření dávek na povrchu kůže mj. i u techniky TSEI. A právě in-vivo měření pomocí TLD bylo předmětem této části bakalářské práce. Provedla jsem experimentální vyhodnocení výsledků naměřených pomocí dozimetrů a k tomuto vyhodnocení použila vlastní naměřené hodnoty i zpětně získané hodnoty naměřené u pacientů v roce 2017. Výsledkem je pět kazuistik obsahujících zpracovaná data do přehledných tabulek.

## **Klíčová slova**

Charakteristika částic; celotělové ozařování elektronovým svazkem; mycosis fungoides; termoluminiscenční dozimetrie; in-vivo dozimetrie.

## **Abstract**

In this thesis with a topic “Problems of Determination of Doses During Total Skin Electron Irradiation at České Budějovice Hospital” I described this technique and in-vivo dosimetry using thermoluminescence detectors.

In a theoretical part, I looked into physical nature and the differences of photons, protons and electrons interactions. Further, I dealt with total body irradiation with a special focus on total skin electron irradiation (TSEI) in Mycosis Fungoides disease.

In the practical part, I was devoted to thermoluminescence dosimetry (TLD) which is used for the doses measurement on the surface of the skin also for TSEI technique. I performed an experimental evaluation of the results measured by the dosimeters and for this evaluation I used my own measured values and values measured in patients in 2017. The result is five case studies containing the processed data into clear tables.

## **Keywords**

Characteristics of Particles; Total Skin Electron Irradiation; Mycosis Fungoides; Thermoluminescence Dosimetry; In-vivo Dosimetry.

## Obsah

1	Úvod.....	9
2	Teoretická část.....	13
2.1	Charakteristika částic .....	13
2.1.1	Charakteristika a interakce fotonových svazků.....	13
2.1.2	Charakteristika protonového záření.....	15
2.1.3	Charakteristika elektronových svazků.....	17
2.2	Výhody elektronových svazků.....	22
3	Současný stav.....	24
3.1	Celotělové ozařování.....	24
3.2	Celotělové ozařování elektronovým svazkem (TSEI) .....	24
3.3	Mycosis fungoides .....	27
3.3.1	Klinický obraz.....	27
3.3.2	Diagnostika .....	28
3.3.3	Léčba mycosis fungoides .....	28
3.4	TSEI v nemocnici České Budějovice, a.s.....	29
3.4.1	Metody TSEI používané na onkologickém oddělení NČB .....	30
4	Cíl práce.....	37
5	Metodika.....	38
5.1	Termoluminiscenční dozimetrie.....	38
5.1.1	Základní princip termoluminiscenčního jevu.....	38
5.2	Měření povrchové dávky pomocí TLD na onkologickém odd. NČB .....	41
5.2.1	Vyhodnocování TLD na onkologickém odd. NČB .....	45
5.2.2	Měření citlivosti a kalibrace.....	46

6	Výsledky.....	48
6.1	Kazuistika č. 1 .....	49
6.2	Kazuistika č. 2 .....	53
6.3	Kazuistika č. 3 .....	56
6.4	Kazuistika č. 4 .....	59
6.5	Kazuistika č. 5 .....	63
7	Diskuze .....	67
8	Závěr .....	70
9	Seznam použité literatury .....	72
10	Seznam použitých obrázků .....	75
11	Seznamu použitých tabulek .....	76



# 1 ÚVOD

V roce 1895 Wilhelm Conrad Röntgen díky svému objevu paprsků X položil základy mnoha lékařským a nelékařským profesím. Od tohoto roku uběhlo už více než sto let, v jejichž průběhu se zdokonalovaly všechny obory využívající ionizující záření. Mezi ně se řadí také obor radiologie.

V tomto oboru má vedle radiodiagnostiky a nukleární medicíny svůj nezastupitelný význam i radioterapie, která se řadí mezi nejmladší obory medicíny. Po chirurgické terapii je druhou nejčastější léčebnou modalitou zhoubných nádorů. Lze podotknout, že za posledních několik desetiletí se v onkologii objevilo nemálo nových poznatků, a to z jednoho prostého důvodu. Zhoubný nádor totiž není jedno onemocnění, ale představuje více než 200 samostatných onemocnění. Každá nádorová entita má své vlastní a často specifické příčiny, zvláštní biologické chování, vlastnosti, a tím i odlišnou strategii a taktiku vedení léčby. Proto se každý nádor studuje individuálně. Problematika zhoubných nádorů představuje nejen závažný medicínský problém, ale rovněž společenský. Proto dodnes poutá pozornost výzkumníků početných vědeckých společností na celém světě. Nebývalý rozvoj přírodních i technických věd, jako je molekulární biologie a genetika, bioinformatika, genové inženýrství apod., proto postupně poodhaluje další a další záhady nádorů. (Jurga, 2000)

S rozvojem radiační onkologie vyvstaly požadavky na její kvality podle nejnovějších poznatků a soudobých požadavků. Proto je nutné, aby byly pečlivě dodržovány dva principy. První se týká plánování cílových objemů. Jde o tzv. princip APARA (as precisely as really achievable), tedy princip, který má zajistit, aby plánování cílových objemů bylo tak přesné, jak je jen možné dosáhnout. Druhý princip nese zkratku ALARA (as low as reasonably achievable). Je to základní princip radiační ochrany. V překladu znamená, že ostatní tkáně by měly obdržet tak nízkou dávku, jak je jen možné rozumně dosáhnout. (Šlampa, a další, 2007)

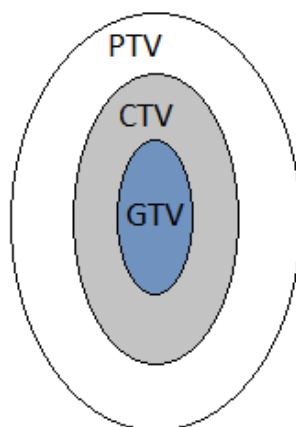
Se zlepšujícím se technickým vybavením, novými objevy a dalšími znalostmi se v terapii kromě fotonového svazku začal rovněž využívat také svazek protonový a elektronový. Každý typ má svá specifika, výhody i nevýhody. Díky svým interakcím s hmotou mají tyto tři částice rozdílné využití a dají se tak používat na rozdílné diagnózy, či se vzájemně doplňovat. V této práci se ovšem budu zabývat především elektrony, ale popíšeme si i rozdíly mezi ostatními částicemi, a proč se právě elektronový svazek využívá na ozařování kůže, např. při diagnóze mycosis fungoides.

Radioterapie lze dělit z mnoha pohledů, například podle léčebného záměru na radioterapii:

1. kurativní (s cílem zcela vyléčit nádor);
2. paliativní (s krátkodobým záměrem – nádor nelze vyléčit, ale lze zmírnit symptomy);
3. adjuvantní („zajišťovací“, kde je záměr eradikovat předpokládanou zbytkovou mikroskopickou chorobu);
4. neoadjuvantní (cílem je zmenšení nádoru před chirurgickým zákrokem) a nenádorovou (úleva od obtíží vzniklých nenádorovým onemocněním).

Nás ovšem bude zajímat spíše dělení z hlediska objemu ozařování. Tedy zda se jedná o terapii „lokální“ či celotělovou. (Šlampa, a další, 2007)

Jako lokální terapie by se dalo označit ozařování jednoho či více orgánů, pro které musíme vytvořit plán léčby – jinak řečeno musíme si vyznačit GTV, PTV a CTV.



Obrázek 1 Cílové objemy podle ICRU 50 Report

Na snímcích z plánovacího CT si lékař musí vždy vyznačit tyto tři objemy, které jsou uvedeny na *obrázku 1*. První objem, GTV (Gross Tumor Volume), znázorňuje přímo oblast nádoru. Druhým objemem je CTV (Clinical Target Volume), klinický cílový objem. Jeho lem zahrnuje GTV s lemem, kde by se potenciálně mohlo objevit mikroskopické šíření nádoru. Posledním lemem je PTV (Planning Target Volume) neboli plánovací cílový objem, který pojímá oba předešlé objemy a lem zahrnující chyby, které se mohou objevit v průběhu ozařování. Tím se rozumí např. chyby při nastavování pacienta nebo fyziologické procesy (dýchání...). (Šlampa, a další, 2007)

Cílem lokální terapie je zaměřit se na jedno určité místo a vyhnout se orgánům v okolí nádoru. Platí tedy princip APARA i ALARA. Pokud budeme ozařovat lokálně, snahou bude dodat co nejvyšší dávku do cílového objemu a zároveň maximálně šetřit kritické orgány (OaR). K tomuto účelu lze použít mnoha různých technik ozařování, např. technika dvou protilehlých polí, dvou tangenciálních polí, T technika atd. (Binarová, 2010)

Jedná-li o celotělové ozařování, můžeme ho považovat za jednu ze speciálních ozařovacích technik, kde není primárním účelem eradikovat nádor a šetřit zdravé tkáně, ale ozářit celého pacienta např. před transplantací kostní dřeně. Zvláštním typem celotělového ozařování je ozařování pomocí elektronového svazku (TBEI). Elektrony mají naprosto odlišné vlastnosti od ostatních částic, tudíž se dají používat na jiné diagnózy než protony a fotony. A právě toto téma bude stěžejním pro zbytek práce. V následujících kapitolách bude popsána technika celotělového ozařování. Rovněž budou vysvětleny rozdíly v interakcích elektronů, protonů a fotonů. A v neposlední řadě se budeme věnovat tématu TSEI, na jakých pracovištích a pro které diagnózy se primárně indikuje.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Charakteristika částic

Než se začneme zabývat tématem celotělového ozařování, musíme si nejprve uvědomit, že interakce částic, které se používají pro radioterapii, se v prostředí značně liší. V důsledku toho se rovněž liší i jednotlivé přístupy v ozařování a využití jednotlivých typů záření. Stěžejní téma zde představuje hloubková distribuce, neboť právě díky odlišnostem interakcí různých typů záření je možné využívat fotony, elektrony a protony na různé diagnózy.

Ionizující záření se podle způsobu interakce v prostředí dělí na přímo a nepřímo ionizující. Přímě ionizující záření reaguje Coulombovskými silami s jádrem atomu, nebo s elektrony v jeho obale. V radioterapii se využívají jak těžké nabitě částice (nejčastěji protony), tak lehké nabitě částice (elektrony). Druhou skupinou je nepřímo ionizující záření. Kvanta záření nenesou žádný náboj. Nemohou tedy přímo ionizovat, ale díky předání své kinetické energie vytvářejí sekundárně nabitě částice, které následně ionizují látku. Do nepřímo ionizujícího záření se řadí neutrony a pro terapii tak nezbytně nutné  $\gamma$  záření. (Hynková, a další, 2012)

#### 2.1.1 Charakteristika a interakce fotonových svazků

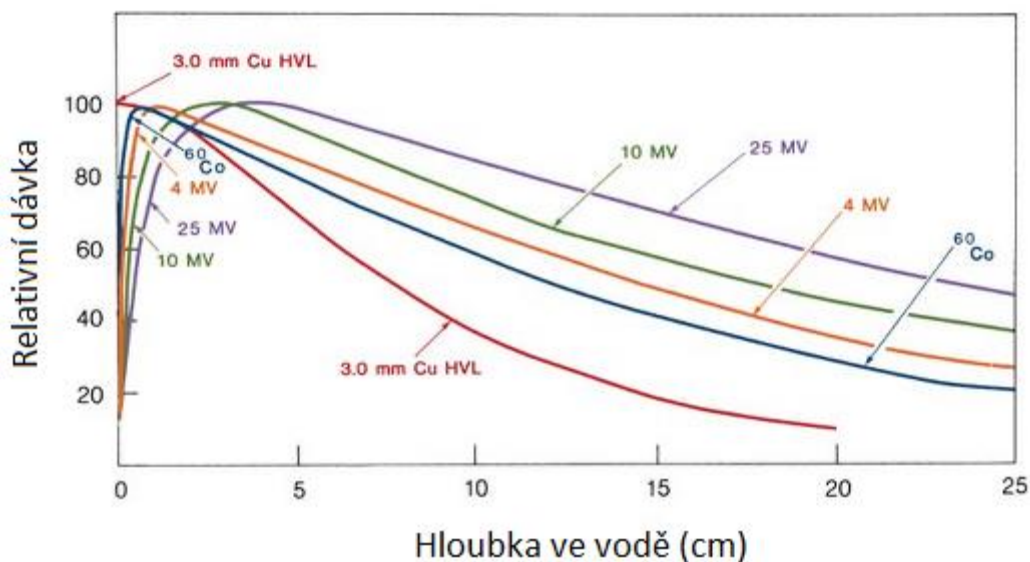
Fotony  $\gamma$  záření jsou částice, kterými popisujeme kvanta elektromagnetického záření. Jak bylo již řečeno, nemají elektrický náboj, ale při průchodu prostředím dochází k interakcím s elektronovým obalem atomů. Děje se tomu tak hlavně třemi způsoby: fotoefektem, Comptonovým jevem a tvorbou párů elektron-pozitron. (Šlampa, a další, 2007)

Při těchto interakcích je generováno sekundární záření, a to především ve formě elektronů. V radioterapii má tento efekt veliký význam. U fotonů s vyšší energií (několik MeV) mají totiž sekundární elektrony z velké části podobný směr jako

primární svazek fotonů. Sekundární elektrony vzniklé fotoefektem či Comptonovým jevem způsobují nespočet dalších ionizací a jejich energie je vysoká. Vysokoenergetické záření prostupuje látkou do hloubky. Způsobuje nárůst ionizace, neboť dochází k příbytku dalších sekundárních elektronů. Díky tomu má tvrdé X záření svou specifickou hloubkovou distribuci v látkách. Maximální radiační dávka není na povrchu, jako tomu je u měkkého záření, ale nachází se v určité hloubce, v závislosti na zvolené energii záření. (Ullmann, a)

Oblast od povrchu těla k hloubce  $D_{max}$ , hloubce maximální dávky, se označuje jako oblast build-up efektu (nástavbového). Jak je patrné z obrázku 2, dávka v tomto intervalu narůstá. Příčina narůstání dávky za povrchem je popsána výše. Důvodem, proč se tak děje, jsou sekundární částice vyvolané primárním zářením, které dopadají na povrch. Dávka tedy v hloubce roste, dokud nenastane rovnováha nabitých částic. (Šlampa, a další, 2007)

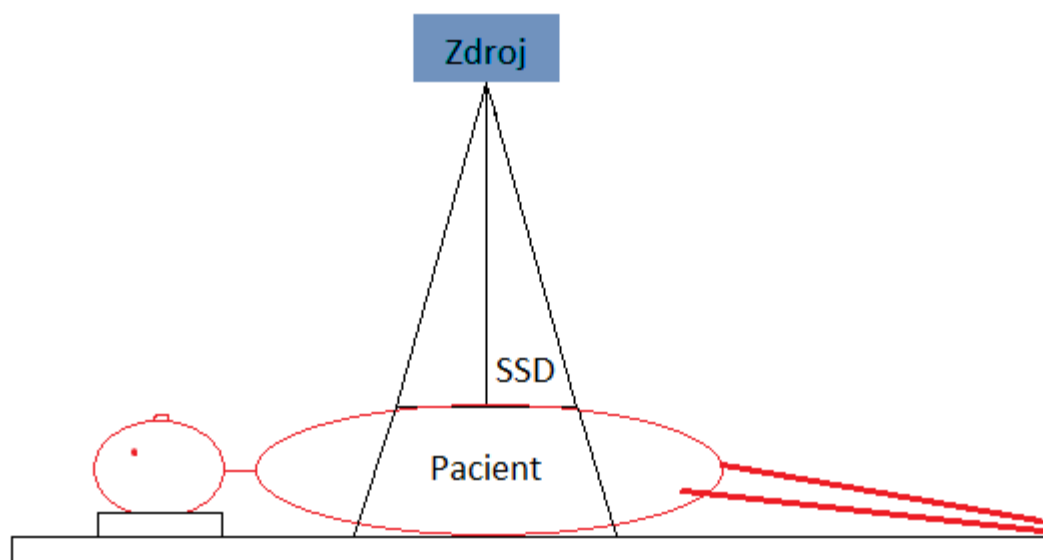
„Hloubky maximální dávky ve tkáni pro různé energie fotonového záření jsou přibližně: 1 MV ~ 4 mm, 5 MV ~ 1 cm, 10 MV ~ 2,5 cm...“ (Ullmann, a)



Obrázek 2 Distribuce hloubkové dávky pro různé svazky fotonového záření (www, 2016a)

Na obr.2 jsou křivky hloubkových dávek fotonů pro různé energie, pro pole 10x10 cm a vzdálenost zdroje od kůže 100 cm. Vzdálenost zdroj-kůže se také označuje jako SSD (Source to Skin Distance, obrázek 3) a je třeba uvádět pro každý zdroj záření.

Neboť pokud se tato vzdálenost liší, a to i u stejného zdroje, pak jsou rozdílné i křivky hloubkových dávek. Platí tedy, že u stejných zdrojů se vzrůstající SSD roste také procentuální hloubková dávka. Vyšší procentuální hloubková dávka ovšem způsobuje, že musíme použít vyšší počet monitorových jednotek nebo ozařovat pacienta delší dobu, což má za následek vyšší radiační zátěž pro pacienta. (Šlampa, a další, 2007)



Obrázek 3 Vzdálenost zdroj-kůže (SSD, Source to Skin Distance)

### 2.1.2 Charakteristika protonového záření

Kromě fotonového záření se v radioterapii pro ozařování nádorů uložených v hloubce používají i těžké částice, mezi které se řadí právě protony. Protony byly objeveny roku 1919 Ernestem Rutherfordem a o využití pro radioterapii se začalo uvažovat již v roce 1946.

Protony jsou přímo ionizující částice, které nesou kladný náboj a mají velkou hmotnost. Při průchodu prostředím interagují s elektrony v atomových jádrech prostřednictvím Coulombovy síly. Pokud vnikne protonová částice do látky (tkáně), působí touto výraznou elektrickou silou na elektrony, které vytrhává z obalu. Tyto silné ionizační účinky způsobí, že se protony poměrně rychle zabrzdí i přesto, že mají vysokou kinetickou energii. (Ullmann, a)

Zde je na místě uvést veličinu, která „popisuje míru ztráty energie podél dráhy částice v látce.“ (Hynková, a další, 2012 str. 97) Tato veličina se nazývá lineární přenos energie (LET) a „je definována jako podíl vzdálenosti  $dl$ , kterou ionizující částice prošla a  $dE$  střední energie způsobená srážkami s elektrony, při kterých dochází k přenosu energie.“ (Hynková, a další, 2012 str. 97)

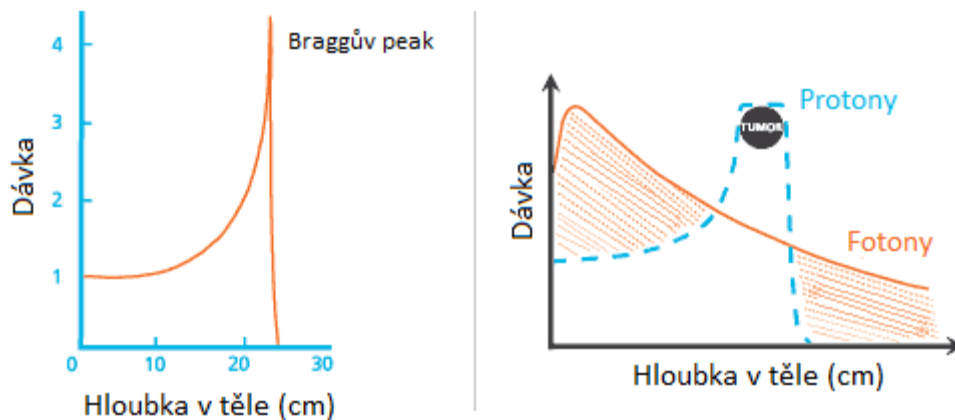
$$L_{\Delta} = \left( \frac{dE}{dl} \right)_{\Delta}$$

Její jednotkou je  $1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-1}$ , avšak v praxi se používá  $\text{keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ .

LET úzce souvisí s ukládáním dávky při průchodu prostředím. Při průletu protonu látkou je LET přímo úměrný elektronové hustotě látky, kterou prochází a nepřímo úměrný druhé mocnině rychlosti letící částice, tedy protonu. Z toho důvodu protony, které vstupují do tkáně ionizují při svém průchodu delší dobu poměrně málo. Tím, jak ztrácejí při své cestě energii (brzdí), jejich rychlost klesá a blíží se nule. V důsledku toho ionizační účinky rostou, neboť při nižší rychlosti může proton lépe využít svého Coulombovského působení a „vytrhnout“ tak více elektronů z atomů. (Ullmann, b)

Rozložení hloubkové dávky má proto svůj charakteristický tvar. U monoenergetického paprsku urychlených protonů je absorbovaná dávka poměrně dlouhou dobu téměř konstantní. K prudkému nárůstu dávky v hloubce dochází až téměř ke konci doletu částice. Zde dochází k maximálnímu nárůstu dávky a následně k rychlému poklesu až k nule. Tento rychlý nárůst dávky na konci dráhy částice se nazývá Braggův peak (vrchol). Jde o oblast, kde urychlené protony předávají nejvíce své energie neboli dochází k nejhustší ionizaci a největší radiační dávce. (Ullmann, b) (www, 2016c)





Obrázek 4 Braggova křivka – rozložení hloubkové dávky u protonového svazku (www, 2018b)

Jak můžeme vidět na obr. 4 Braggův peak nastává v určité hloubce, dle zvolené energie protonů. Např. pro protony s energií 200 MeV dosahuje hloubka asi 25 cm. Energií můžeme dobře modulovat umístění Braggova peaku do námi požadované hloubky. Dávka před Braggovo peakem je nižší zhruba o 70 % než na vrcholu. Díky tomu šetříme orgány ležící před tímto maximem a zároveň orgány ležící za maximem neobdrží dávku žádnou, jelikož protony se velmi rychle zabrzdí a dále nedolétnou. Protonové záření je tedy limitováno svým konečným dosahem. (Hynková, a další, 2012) (Ullmann, b)

Z interakcí protonů v látce jednoznačně plyne, kde můžeme tyto svazky použít. Jedná se především o nádory, které jsou v blízkosti kritických struktur, jako je mozek, mícha, oko atd. Rovněž i u pacientů dětského věku. (Hynková, a další, 2012)

### 2.1.3 Charakteristika elektronových svazků

Vysokoenergetické elektrony se používají v radioterapii od počátku 50. let minulého století. O využití elektronového záření se začalo přemýšlet proto, že fotony a protony nejsou vhodné k použití pro všechna onemocnění. Důvodem byla existence diagnóz, kde je hlavním požadavkem, aby dávka byla rozložena rovnoměrně, především na povrchu.

Interakce elektronů při průchodu prostředím je značně odlišná od fotonů i protonů. Jak elektrony procházejí prostředím, reagují s atomy různými procesy

v důsledku Coulombových sil. Tyto procesy zahrnují interakce s látkou buď pružným rozptylem (interagující částice si přerozdělí kinetické energie), nebo nepružným rozptylem, kde se část kinetické energie elektronu změní na radiační nebo brzdné ztráty. (Šlampa, a další, 2007) (www, 2016b)

### 2.1.3.1 Interakce nízko a středně energetických elektronů

Interakce elektronů s nižší nebo střední energií se od interakce vysokoenergetických elektronů liší. Pokud elektron s nižší energií vnikne do látky, začne při svém průchodu prostředím působit svými elektrickými odpudivými silami na elektrony atomů. Vyráží je z jejich obalů a atomy tímto způsobem ionizuje, nebo ve většině případů působí excitaci. Nízkoenergetický elektron po každé takovéto interakci prudce změní svůj směr, neboť jeho hmotnost je velmi malá. Svými odpudivými silami se tento elektron odráží od atomů a cestuje prostředím „cik-cak“. Tím, jak nízkoenergetický elektron neustále naráží do dalších atomů (kmitá), způsobuje jejich excitace. Vzniká tedy brzdné záření (1 % kinetické energie elektronu) a teplo (99 % kinetické energie elektronu). Tyto srážky elektronu s nízkou energií tedy látku zahřívají, nezpůsobují ionizaci a z hlediska využití v léčbě představují „ztracenou“ energii, protože nehrají roli v poškození tkáně. Teprve tehdy, když má elektron vyšší energii (a může ji tedy i více předat), dokáže způsobovat ionizaci. Předává totiž tak velkou energii, která vyrazí elektron z obalu atomu. A právě díky ionizaci může dojít k poškození buněk. (Ullmann, a)

V závislosti na energii elektronu je určeno, v jaké hloubce se zabrzdí. Avšak i elektrony, které jsou emitovány ze stejného místa, stejným směrem a mají stejnou počáteční energii se mohou zabrzdit v různých hloubkách. Je to způsobeno právě srážkami a rozptylem, v jejichž důsledku se dráha elektronů stává křivolakou. Na střední dolet elektronů má také vliv počet prodělaných kolizí. Dále dolétnou ty částice, které se při své cestě pohybovaly přímočařeji, tudíž prodělaly menší počet kolizí. Naopak částice, které ztratily při průchodu prostředím více energie,

tz. prodělaly více kolizí a mnohokrát změnilly svůj směr, mají kratší dolet. (Ullmann, a)

### 2.1.3.2 Interakce urychlených elektronů

Elektrony používané pro radioterapii se dříve urychlovaly v betatronu. Dnes jsou betatrony nahrazeny lineárními urychlovači a zde se elektrony urychlují na jednotky až desítky MeV. Tyto elektrony mají různé energie a takto vstupují i do urychlovacího procesu. Rychlé a pomalé z něho vypadnou a zbytek elektronů podléhá autofázování. To je proces, v jehož důsledku dochází k menšímu urychlování rychlých elektronů. Děje se tomu tak proto, že rychlé elektrony se vyskytují v elektrickém poli (tj. v mezeře mezi elektrodami) v době, kdy má toto pole nižší hodnotu. U pomalých elektronů je tomu tak obráceně. Z toho vyplývá, že urychlení podléhají jen elektrony v jistém energetickém rozsahu a také to, že na výstupním okénku urychlovací trubice mají všechny elektrony téměř shodnou energii – tento svazek je tedy monoenergetický. (Šlampa, a další, 2007)

Avšak energetické spektrum těchto elektronů se při dalším průchodu prostředí mění. Ať už je to vlivem kolimačního systému urychlovače, rozptylovými či homogenizačními fóliemi, měřícími komorami nebo i vzduchem. Při čemž platí závislost na konstrukčních materiálech urychlovačů. Proto také energetické spektrum, po dopadu na povrch těla nebo fantom a taktéž v hloubce, může být pro každý urychlovač jiné. Znalost energetických parametrů svazku je nezbytné, abychom mohli přesně změřit dávku v bodě. (Šlampa, a další, 2007)

Oproti elektronům s nižší energií se urychlené elektrony pohybují v prostředí téměř v původním přímém směru a jen pomalu se brzdí. Čím vyšší energii elektrony mají, tím menší jsou energetické ztráty a úhly rozptylu na jejich dráze. V důsledku toho, jak urychlený elektron ke konci své dráhy brzdí, zvyšuje se podíl předávané energie na jednotku dráhy. Zvyšuje se počet kolizí a elektrony se rozptylují do větších úhlů. Nastávají stejné interakce, které jsou popsány v předchozí kapitole.

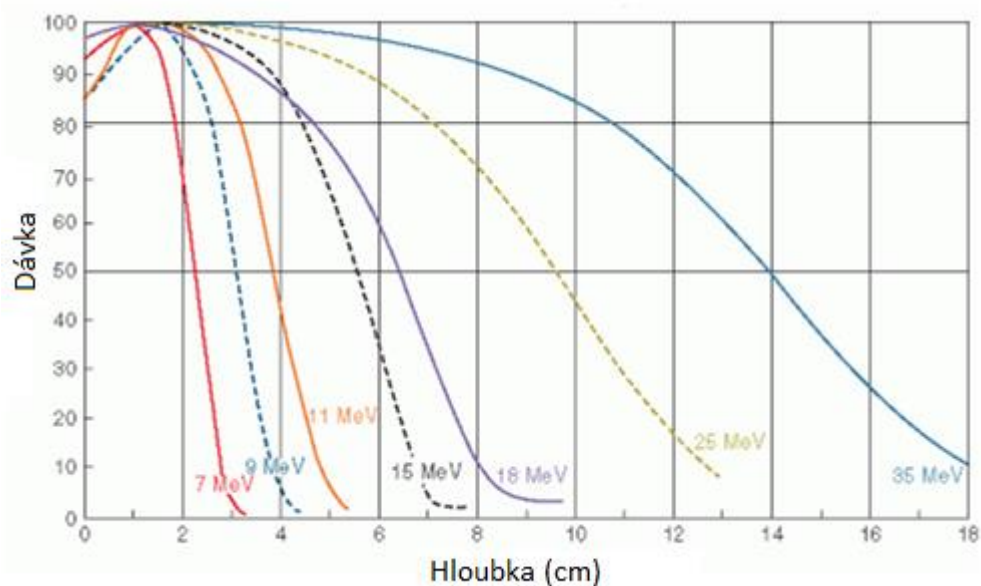
Původně téměř přímočará dráha elektronů se zakřivuje a vzniká poměrně hustý chaotický shluk ionizací a excitací atomů. (Ullmann, a)

### 2.1.3.3 Křivka hloubkové dávky elektronů

Jak bylo již více zmíněno, elektrony interagují s látkou hlavně pružným a nepružným rozptylem na elektronech elektronového obalu nebo s jádrem. Ve tkáních a vodě, tedy obecně v prostředí s nízkým protonovým číslem, převládá nepružný rozptyl na elektronech obalu. Oba typy elektronů (rozptylové a obalové) mají stejnou hmotnost. Nastává potom i značný zpětný rozptyl „a dávka na povrchu těla dosahuje 80-100 % dávky v ionizačním maximu.“ (Šlampa, a další, 2007 str. 19) Rovněž pokles dávky je velký v závislosti na hloubce v tkáni. (Šlampa, a další, 2007)

Díky energii elektronů můžeme snadno odhadnout jejich dosah ve tkáni. Neboť dosah v centimetrech se číselně rovná asi polovině energie elektronů v MeV. Tento fakt vyplývá ze znalosti energetické ztráty elektronů, který se rovná zhruba 2 MeV/cm ve vodě či tkáni pro energie elektronů běžně používaných v terapii. Pro příklad uveďme třeba 16 MeV svazek elektronů, pro který platí, že jeho dosah ve tkáni je zhruba 7,5 cm. (Šlampa, a další, 2007)

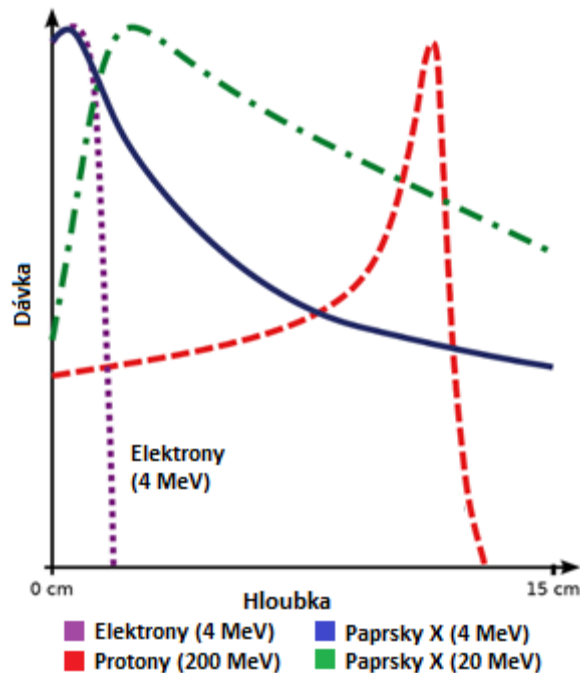
Na následujícím obrázku můžeme vidět křivky hloubkových dávek pro elektrony s různou energií. Oblast, kde dávka dosahuje 80 až 100 %, spadá do terapeutického rozsahu a zde by měl ležet ozařovaný objem. „U dnes konstruovaných lineárních urychlovačů je 80% izodóza číselně v hloubce asi  $E/2,8$  cm, kde  $E$  je nejpravděpodobnější energie elektronů na povrchu.“ (Šlampa, a další, 2007 str. 20)



Obrázek 5 Křivka hloubkových dávek elektronů různých energií (www, 2016b)

## 2.2 Výhody elektronových svazků

Z předchozí teorie vyplývá, že elektronové svazky jsou svými interakcemi velmi odlišné od zbylých dvou typů záření. Jejich využití se odvíjí od interakcí v prostředí, přesněji řečeno z hloubkové distribuce dávky.



Obrázek 6 Křivky hloubkových dávek u různých typů záření (www, 2018a)

Na obrázku 6 je dobře patrný rozdíl průběhu křivek tří typů záření za  $D_{\max}$ . Zatímco u elektronového svazku dochází po maximální dávce k následnému rychlému poklesu, u fotonového svazku dávka klesá velice pomalu. U protonového záření se hloubková křivka dávky liší už naprosto razantně, neboť dlouho dobu je dávka poměrně malá a roste až na konci své dráhy. Z toho můžeme snadno odvodit, že elektrony působí jen na povrchové vrstvy těla – kůži a blízké okolí. Rozložení dávky se tedy netýká celého těla včetně vnitřních orgánů. Tímto způsobem ozařování můžeme šetřit značnou část orgánů uložených v ozařované oblasti. Při ozařování fotony je sice největší dávka pod povrchem, ale svazek proniká dál celým tělem. Nevyhneme se tak zdravým tkáním a dochází k ozařování kritických orgánů. Pokud bychom tedy zvažovali, které částice vybrat pro celotělové ozařování kůže, jediným řešením se nabízí právě elektrony, protože stejná dávka fotonovým

svazkem by byla pro organismus smrtelná. Ozařování kůže protony by bylo naprosto zcestné.

Velikým přínosem se proto elektrony staly při celotělovém ozařování ložisek umístěných na povrchu těla nebo v jeho blízkosti. Také u ložisek, pod kterými se nacházejí kritické orgány či tkáně, které nechceme ozářit vysokou dávkou.  
(Ullmann, a)

## **3 SOUČASNÝ STAV**

### **3.1 Celotělové ozařování**

Celotělové ozařování (TBI – Total Body Irradiation) se řadí mezi speciální techniky ozařování v radioterapii. Oproti klasickým technikám je proto nutné volit nižší dávky, neboť v důsledku ozařování celého těla dochází k brzkým změnám hodnot v krevním obraze. Jinými slovy, pokud bychom chtěli použít stejnou dávku pro fotonové celotělové ozařování, jakou používáme pro elektronový svazek, stala by se tato dávka pro pacienta smrtelnou.

Pro svoji pronikavost se TBI indikuje hlavně pacientům před transplantací kostní dřeně, rovněž pacientům s leukémií, lymfomem, seminomem atd. Při plánování je u této techniky cílovým objemem celé tělo včetně kůže. Bod referenční dávky se umísťuje doprostřed břicha, zhruba v místě pupku. Ozařování probíhá většinou tak, že pacient leží v pronační a následně v supinační poloze ve speciálním lůžku tvaru kolíčky a zdroj záření se nad ním kýve. (Hynková, a další, 2012)

### **3.2 Celotělové ozařování elektronovým svazkem (TSEI)**

Jak již bylo několikrát uvedeno v předchozích kapitolách, rozdíly v interakci fotonového a elektronového záření jsou velké. Oproti fotonům má ozařování elektrony dvě velké výhody. Jednou z výhod elektronového záření je jeho distribuce. Má minimální built-up zónu, po které nastává homogenní plató, jehož hloubka lze upravovat podle zvolené energie elektronů. Následně dochází k prudkému poklesu procentové hloubkové dávky, díky čemuž jsou dobře šetřeny kritické orgány. Druhá výhoda pramení z kvality elektronového svazku. U klasických ortovoltážních přístrojů dochází k přenosu energie na živou hmotu díky fotoefektu. V důsledku převahy fotoefektu dochází k vyšší absorpci v kostech. To ovšem neplatí pro vysokoenergetické elektronové svazky, které k přenosu



energie uplatňují tvorbu párů elektron-pozitron. Z toho důvodu ho tkáně s vyšší denzitou (chrupavka, kost) tolik neabsorbují. (Šlampa, a další, 2007)

O povrchovou a podpovrchovou terapii se jedná, pokud se použijí elektronové svazky s rozsahem energie od 7 do 20 MeV. Zvlášť výhodné jsou pro léčbu nádorů v oblasti hlavy a krku včetně nádorů příušní žlázy a málo objemných karcinomů štítné žlázy. Použití elektronů je výhodné v radioterapii metastatického postižení krčních lymfatických uzlin, které obklopují míšní kanál, protože mícha v krční oblasti je obzvláště citlivá na radiační poškození. (Jurga, 2000)

Mimo tyto indikace se ozařování elektronovým svazkem využívá také k léčbě onemocnění mycosis fungoides (MF).

TSEI je pro léčbu mycosis fungoides využíváno a úspěšně uplatňováno po celém světě již několik desítek let. Ve světě existuje řada onkologických center, která léčí onemocnění mycosis fungoides právě touto technikou. Z nedávných studií vyšlo najevo, že ozařování technikou TSEI a úspěšností léčby MF je zjevný. *„Na podkladě tohoto zjištění EORTC Cutaneous Lymphoma Project Group ve spojení s experty z radioterapeutických center Severní Ameriky dosáhli konsensu: akceptovat metody a klinické indikace pro TSEI v léčbě MF.“* (Dolečková, 2005)

V Hamiltonově centru (Kanada) a na Stanfordské universitě (Kalifornie), dvou největších centrech pro léčbu MF technikou TSEI, se statisticky vyhodnocovaly klinické výsledky TSEI. Došlo se k názoru, že celkové přežití pacientů v 5 letech je přibližně 60-70 %, přežití specifické pro danou příčinu se pohybuje v rozmezí od 73 % do 82 %. Největší relaps-free survival (doba, po kterou pacient neměl příznaky choroby) byl spojen s T1, s nízkým N a u pacientů, kterým TSEI byla indikována jako primární léčba. (Dolečková, 2005)

I díky této studii má nyní TSEI zásadní postavení při léčbě MF, ať už se jedná o kurativní či paliativní léčbu. Zásadní význam je v primární léčbě – u časných stádií

MF (st. I-IIA) se jedná o kurativní léčbu, v pokročilejších stádiích (IIB-IV) už jen o paliativní, ale s velmi efektivními účinky. Paliativní terapie u MF má velký význam, „neboť dojde k ústupu pruritu, bolesti, sekrece či krvácení kožních lézí. Vzezření pacientů často odpuzuje okolí a tento hendikep je omezuje v zaměstnání, koníčcích nebo i v běžných aktivitách.“ (Dolečková, 2009) U pokročilého onemocnění lze léčebný účinek TSEI ještě navíc prodloužit systémovou léčbou. Oproti jiným léčebným metodám má ozařování elektrony hned několik výhod. Jedná se o metodu, která má nejvyšší odpověď na léčbu, a to 90 % až 100 %. U některých pacientů je zaznamenáno dlouhodobé přechodné vymizení příznaků nemoci a rovněž lepší přežití. (Dolečková, 2013)

Hlavním přínosem léčby MF pomocí TSEI je ve výrazném zlepšení kvality života pacienta. Po ústupu nepříjemných projevů onemocnění a ložiskách, která hyzdí kůži se pacientovi opět navrátí jak somatická, tak psychická pohoda. (Dolečková, 2013)

Nynějším problémem ale stále zůstává to, že většina pacientů se nejprve dostává do rukou dermatologů a hematologů. Pokud už jsou léčeni onkology, tak je to ale léčba chemoterapií, imunoterapií atd. Na radioterapeutická pracoviště se tím pádem řada pacientů dostává pozdě, nebo vůbec. „Většina pacientů, kteří se dostanou na radioterapeutická pracoviště, je předléčena (většinou několika metodami) a přichází s relapsem onemocnění a většinou již s tumorosním stadiem.“ (Dolečková, 2005)

Z tohoto důvodu by měla být léčba MF pomocí TSEI soustředěna do center, která by mohla zajistit správné indikace k léčbě a v důsledku toho léčit i větší počty pacientů. Zároveň by vyhodnocované výsledky měly větší validitu. Pokud by onkologická centra začala takto mezi sebou spolupracovat, byl by to další důležitý krok na cestě pro zlepšení TSEI a tím i prospěch pro pacienty s mycosis fungoides. (Dolečková, 2005)

### 3.3 Mycosis fungoides

Mycosis fungoides (MF) spadá mezi onemocnění extranodálních nehodgkinských lymfomů (NHL). NHL jsou oproti lymfomům hodgkinského typu značně heterogenní skupinou onemocnění, která může mít různé stupně malignit a proměnlivou senzitivitu v onkologické léčbě. Jejich výskyt je asi 10x častější než Hodgkinovy lymfomy a počet nově se vyskytujících případů onemocnění nadále roste. Stávají se tak větším a závažnějším problémem než Hodgkinova choroba.

Pro MF je typická kožní symptomatologie a histopatologie. Etiologie onemocnění je v současné době neznámá, avšak v potaz se bere vliv prostředí, virů i genetické faktory. Incidence kožních T-cell lymfomů, stejně tak jako obecně i všech NHL, se zvyšuje.

MF patří mezi nízké agresivní a maligní onemocnění. V počátečních stádiích, která mohou trvat i mnoho let, se projevy nemoci omezují pouze na kůži. Onemocnění ve svém průběhu běžně prochází třemi klinickými fázemi: patch (premykotická fáze), plaky (mykotická fáze), tumory (fungoidní fáze). (Šlampa, a další, 2007)

#### 3.3.1 Klinický obraz

*„Většina běžných iniciálních kožních lézí jsou svědící, šupinaté načervenalé plochy – políčka nebo infiltrované plaky.“* (Šlampa, a další, 2007 str. 357) Typickým znakem je plazivý a ostře ohraničený okraj. U některých pacientů se objevují tvary soustředěných kruhů s centrální vkleslinou. V průběhu onemocnění se plaky a tumory stávají palpovatelnými lézemi, které mají tendenci k progresi a spojování se s okolními ložisky, s kterými vytvářejí velké nepravidelné léze. Někdy může dojít k sekundární infekci lézí, a tak se kromě pruritu objevují i bolestivé příznaky. *„U větších ložisek se může objevit sekrece a krvácení. Pokročilejší onemocnění je charakteristické heterogenitou kožního postižení. Asi 17 % pacientů s kožním T-cell*

*lymfomem má generalizovanou erythrodermu a asi 50 % z nich má Sézaryho syndrom.“*  
(Šlampa, a další, 2007 str. 357)

### **3.3.2 Diagnostika**

Pro stanovení diagnózy MF je základem biopsie kůže s histologickým vyšetřením.

Standardní klasifikace rozsahu onemocnění TNMB (Tumor, Node, Metastasi, Blood) pro MF byla ustanovena roku 1978. Z ní vychází rozdělení nemoci na 4 stádia:

- I. omezené patch, plaky (zaujímají méně než 10 % celkového kožního povrchu) nebo generalizované patch, plaky (10 % a více kožního povrchu); žádné postižení periferních lymfatických uzlin ani vnitřních orgánů;
- II. omezené či generalizované patch, plaky, tumory (jeden nebo více); postižení lymfatických uzlin; žádné postižení vnitřních orgánů;
- III. patch, plaky, tumory i generalizovaná erythroderma; postižení lymfatických uzlin; žádné postižení vnitřních orgánů;
- IV. patch, plaky, tumory i generalizovaná erythroderma; postižení lymfatických uzlin; postižení vnitřních orgánů. (Šlampa, a další, 2007)

### **3.3.3 Léčba mycosis fungoides**

Pro léčbu MF může být kromě TSEI zvolena i jiná léčba. U stádia, které je omezeno svým rozsahem jen na kůži, postačuje léčba lokální. Lze lokálně aplikovat kortikoidy či cytostatika. Další vhodnou léčbou je fototerapie nebo fotochemoterapie, mezi kterou se řadí metoda PUVA (psoralen a ultrafialové světlo A). Drobné léze se dají také ozařovat rentgenovým svazkem, nebo malými poli elektronového svazku s nízkou energií. (Šlampa, a další, 2007)

Systemová léčba (chemoterapie, interferon  $\alpha$ , retinoidy...) se volí v případě, je-li histologicky potvrzeno postižení lymfatických uzlin nebo vnitřních orgánů. (Šlampa, a další, 2007)

### **3.4 TSEI v nemocnici České Budějovice, a.s.**

V České republice techniku celotělového ozařování elektrony v historii využívalo jen málo onkologických center. Mezi jedno z posledních patří právě onkologické oddělení v Nemocnici České Budějovice, a.s. (OO NČB)

V Českých Budějovicích se technika TSEI využívá již od roku 1975. Zprvu se ozařovalo elektronovým svazkem urychleným v betatronu. Pacienti byli ozařováni a fixováni ve speciálním stojanu, používaná byla statická technika se skládáním velkých polí a SSD 200 cm. (Dolečková, 2007a)

Od roku 1993 se podmínky TSEI přizpůsobily lineárnímu urychlovači. Díky němu se mohla zvětšit SSD, a tudíž zmenšit počet polí potřebných k ozáření. Nadále se však používala statická technika. Až po určité době se objevila snaha zlepšit homogenitu dávky. A tak byla statická technika nahrazena rotační, která byla inspirována technikou vyvinutou C. R. Freemannem na McGillově univerzitě v Montrealu (Kanada). V roce 2005 technický tým s pomocí fyziků onkologického oddělení vytvořili novou točnu, která byla vhodnější pro rotační techniku. Pro svou náročnost je rotační technika od začátku svého vzniku do nyní využívána v ČR jen na OO NČB. (Dolečková, 2007a)

Obdobná statistická studie jako v Hamiltonově centru a na Standfordské univerzitě byla provedena také na OO NČB. Do souboru bylo zahrnuto 36 nemocných, u kterých byla hodnocena odpověď na léčbu. U všech 36 pacientů byla odpověď na léčbu 100%, z toho kompletní odpověď činila 95 %, což odpovídá všeobecně udávaným výsledkům kompletní odpovědi 52-92 %. Celkové přežití

v 5 letech u tohoto malého souboru byl 52 %, tento údaj rovněž odpovídá publikovaným údajům. (Dolečková, 2009)

V ČR byla rovněž provedena studie, která měla za cíl zhodnotit postavení TSEI v naší zemi. Osloveno bylo 14 největších radioterapeutických pracovišť ČR (následující údaje se vztahují k roku 2005). Ukázalo se, že 11 z nich TSEI vůbec neprovádějí a většinu svých pacientů posílají právě na OO NČB. V Českých Budějovicích bylo statickou či rotační technikou TSEI ozářeno v letech 1985-2005 celkem 43 pacientů. Mezi zbývajících dvě pracoviště z oslovených 11 se řadí radioterapeutické oddělení v Plzni, kde byli rotační technikou ozářeni 2 pacienti, a Masarykův onkologický ústav v Brně, který od roku 1998 do roku 2005 ozářil statickou metodou TSEI 13 pacientů. (Dolečková, 2005)

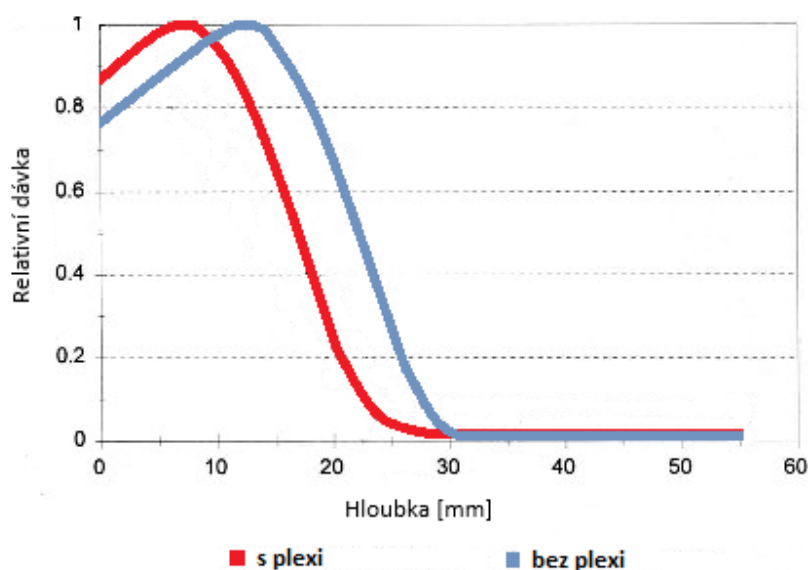
### **3.4.1 Metody TSEI používané na onkologickém oddělení NČB**

Na onkologickém oddělení Nemocnice České Budějovice, a.s. se kromě ozařování fotonovými svazky provádí technika TSEI. Celotělové ozařování elektronovým svazkem lze provádět dvěma způsoby. Pokud to pacientův stav dovolí, vždy je snaha, aby byla použita rotační technika. Je-li pacient v horším tělesném stavu, hůře pohyblivý a fyzicky by nezvládl podstoupit tuto techniku, pak se volí technika statická.

#### **3.4.1.1 Statická technika dvou polí**

Při použití statické techniky 2 polí se pacient ozařuje svazkem elektronů o energii 6 MeV z SSD 355 cm. Stojí na 20 cm vysoké točně, která byla zhotovena pro rotační techniku. Poloha nohou je zakreslena pomocí černých šlapek – pacient tedy stojí rozkročmo a rukama se drží madel, která jsou připevněna k točně v úrovni boků. Ozařování probíhá předozadně (AP) a zadopředně (PA). Úhel gantry pro první pole

je 287°, pro druhé pole 253°. U statické techniky se využívá 5 mm silná plexi deska, která se umísťuje 20 cm před pacienta a má za úkol snížit build-up efekt.



Obrázek 7 Procentuální hloubková distribuce dávky u TSEI – statická technika s a bez plexi desky (Dolečková, 2007b)

Problémem u statické techniky bývá sčítání polí z AP a PA roviny. V důsledku toho dochází k předávkování oblastí ležících laterálně, u končetin i oblastí mediálních. Na kůži tak vznikají poiradiační reakce časně (erytém) nebo pozdní (teleangiektázie). Proto pokud je to alespoň trochu možné, je snahou využít techniku rotační.

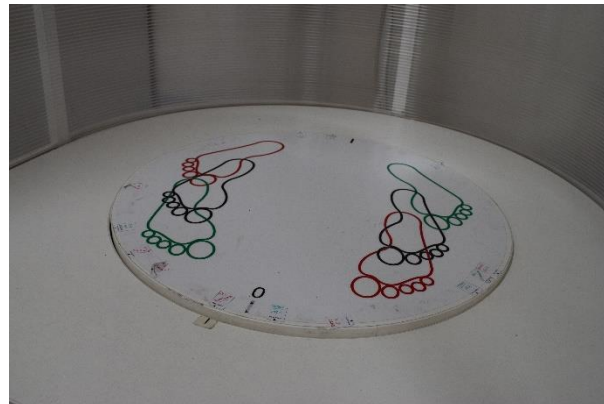
#### 3.4.1.2 Rotační technika

Rotační technika se svým nastavením od statické v zásadě neliší. Rovněž se využívají 2 pole elektronového svazku o energii 6 MeV a SSD 355 cm. Úhel gantry je 253° a 287°. U této techniky stojí pacient na točném stole (obr. 8), který se otáčí zhruba 4,5 otáčky/min. Rotace se automaticky zapne se spuštěním ozařování. Poloha nohou je dána zakreslením dvou šlapek (zelená a červená) na spodní ploše točny (obrázek 9). Pacient je tedy nakročen vždy jednou nohou vpředu a protilehlou rukou se drží madla nad hlavou, které je fixováno kulovým ložiskem ke stropu ozařovny. Tento postoj se nazývá poloha „baletky“ (obr. 10). Zelená a červená poloha se každý den střídá, čímž se minimalizuje vlastní stínění v některých problematických oblastech (laterální strany krku, axily, perineum...). Na spodní ploše točny jsou rovněž

zakresleny úhly, které „slouží k zaznamenání polohy točny, vzhledem k centrálnímu paprsku“ (Dolečková, 2007a) po skončení ozařování.



Obrázek 8 Točna zepředu (autor)



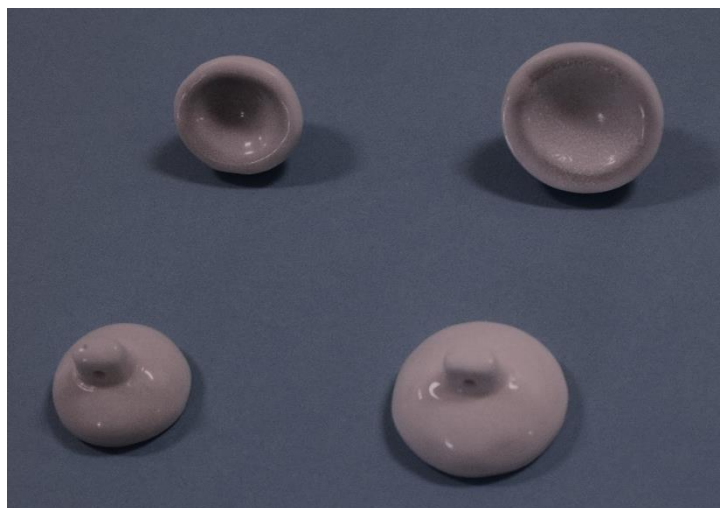
Obrázek 9 Tři polohy šlapek (autor)



Obrázek 10 Pacient na točně v poloze „baletky“ (Dolečková, 2007a)

Jak u techniky rotační, tak statické je požadováno stínění očních čoček. Pro tento účel se dříve používal 2 mm olověný plech potažený pryží, který kopíroval tvar bulbu. Dnes se do spojivkového vaku zavádí komerční konvexní stínění (wolfram potažený 2 mm vrstvou polymetylmakrylátem). Aplikace je prováděna lékařem za pomoci radiologického asistenta. Pacient je v leže, po předchozí lokální anestezii a po zavedení stínění jsou oči následně fixovány gázou, náplastí a elastickým síťovým obvazem (prubanem). Vizuální podoba stínících čoček a jejich aplikace je na následujících dvou obrázcích. (Dolečková, 2007a)





Obrázek 9 Stínící čočky (autor)



Obrázek 10 Zavádění očního stínění (Dolečková, 2007a)

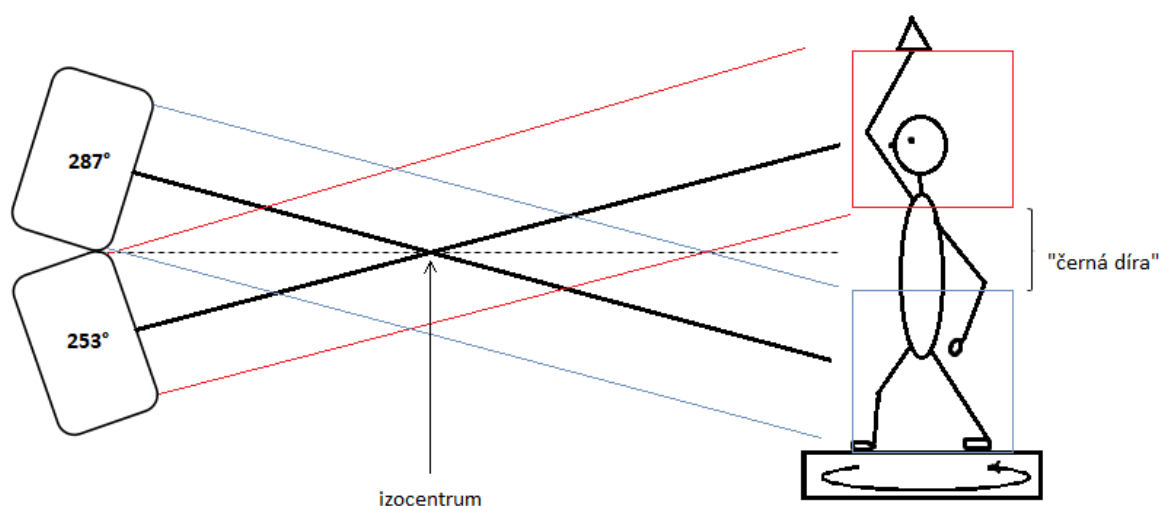
### 3.4.1.3 Ozařovací režim na onkologickém oddělení v ČB

U obou uvedených technik se používá stejný frakcionační režim. Ozařování probíhá 5x týdně, přičemž dávka na frakci činí 2 Gy a celková dávka 30-40 Gy.

V minulosti však bylo problémem ozařování pacientů vkuse (5 dní ozařování, 2 dny pauza, 5 dní ozařování atd.). U pacientů nastávaly enormní vedlejší reakce a z tohoto důvodu muselo být ozařování přerušeno třeba i na 14 až 21 dní. Proto byl zaveden „týdenní timing“ - po týdnu ozařování je vždy týdenní pauza, která má za následek jednak to, že pacienti nemají tak výrazné časné poiradiační reakce.

Za druhé mají týdenní pauzy mezi ozařováním pozitivní psychický dopad. I pacienti z větší dálky, kteří jsou hospitalizovaní (OO NČB navštěvují pacienti z celé republiky, neboť je to poslední pracoviště využívající rotační techniku TSEI) se mohou vrátit domu a být se svými blízkými.

V průběhu prvního ozařování (pro červenou a zelenou polohu) se u každého pacienta provádí monitorace dávky pomocí termoluminiscenčních dozimetrů (TLD). Vždy se umísťují do oblasti „černé díry“, tzn. na střední čáru trupu AP a PA. „Černá díra“ vzniká v důsledku dvou poloh gantry, neboť poprvé je v úhlu  $253^\circ$  a podruhé  $287^\circ$ . Uprostřed pacienta se tak vytváří pruh, který je tvořen jen z radiačního pole. Vlivem polostínu sem totiž nesahá viditelné světelné pole (viz obrázek 13).



Obrázek 11 Schematické zobrazení „černé díry“ (autor)

Další umístění TLD je individuální, protože každý pacient je postižen v jiných místech těla. O rozmístění dalších TLD rozhodují výsledky in vivo dozimetrie a rovněž pohled lékaře, který určí, zda je třeba některé oblasti stínit, nebo naopak dosytit poddávkové oblasti.

„Patch treatments“, tedy dozařování oblastí, které si pacient sám stínil se zahajuje po ukončení TSEI a odeznění akutních poiradiačních reakcí. Zpravidla se jedná o laterální strany krku, temeno, axily, plosky nohou, perineum a horní vnitřní plochy stehen, u žen také submammární oblast. Dalšími místy, kde se navyšuje

dávka jsou místa s lokálními projevy, jako jsou tumory a velké infiltráty. Zde se jedná o „boost treatments“ Pro ozařování poddávkových oblastí se používají samostatná pole elektronového svazku s energií 6 MeV a pacient je v různých polohách na ozařovacím stole. Také jsou pro každého pacienta a každou oblast vyráběny odlišné tubusy, které se umísťují na hlavici lineárního urychlovače místo klínů. Mají za úkol vytvarovat elektronový svazek do požadovaného tvaru.

Dozařování těchto oblastí je tedy velmi náročné a zdlouhavé, neboť na každou oblast musí radiologický asistent vstoupit do ozařovny, manuálně nastavit jednotlivá pole a polohu pacienta do složitých pozic. Zároveň se z ekonomických důvodů (proplácení výkonů pojišťovnou) může ozařovat jen 5 oblastí za den, tudíž dozařování může trvat dalších několik týdnů. (Dolečková, 2007a)

V mnoha případech se naopak stává, že je potřeba některé oblasti kůže stínit. Stínění může být indikováno již od začátku terapie, a to pro oblasti těla, která nejsou postižena (nejsou zde infiltráty). Jedná se např. o obličejovou část, pro kterou se vyrábějí různě velké olověné masky na míru. Stínění je ale také nezbytné již během probíhající léčby TSEI. Zde se jedná o místa, která již obdržela dostatečnou dávku a předávkované oblasti, kde se objevují časné poiradiační reakce. Pro tyto oblasti, kde se předpokládá vyšší dávka (ruce, nohy, lokty...) se vyrábějí speciální stínící pomůcky – rukavičky, botičky, brýle, hlavová maska atd.



Obrázek 13 Brýle pro stínění očí (autor)



Obrázek 12 Stínící maska (autor)

Pokud dojde k recidivě nemoci je možné, aby pacient znovu podstoupil ozařování, tzv. retreatment. K připuštění k opětovné léčbě pomocí TSEI musí ovšem od předchozího ozařování uplynout minimálně rok a mezi těmito ozařováními by měla proběhnout léčba jiného druhu.

## 4 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je popsat problematiku celotělového ozařování elektronovým svazkem. Dále stanovení dávky pomocí termoluminiscenčních dozimetrů a jejich experimentální vyhodnocení u ozařování pacientů s onemocněním mycosis fungoides metodou TSEI. K vyhodnocení budou použity vlastní neměřené hodnoty i zpětně získané hodnoty naměřené u pacientů v roce 2017.

## 5 METODIKA

V následujících kapitolách popíši termoluminiscenční metodu ke stanovení dávek během ozařování technikou TSEI, která se používá na onkologickém oddělení Nemocnice České Budějovice, a.s.

### 5.1 Termoluminiscenční dozimetrie

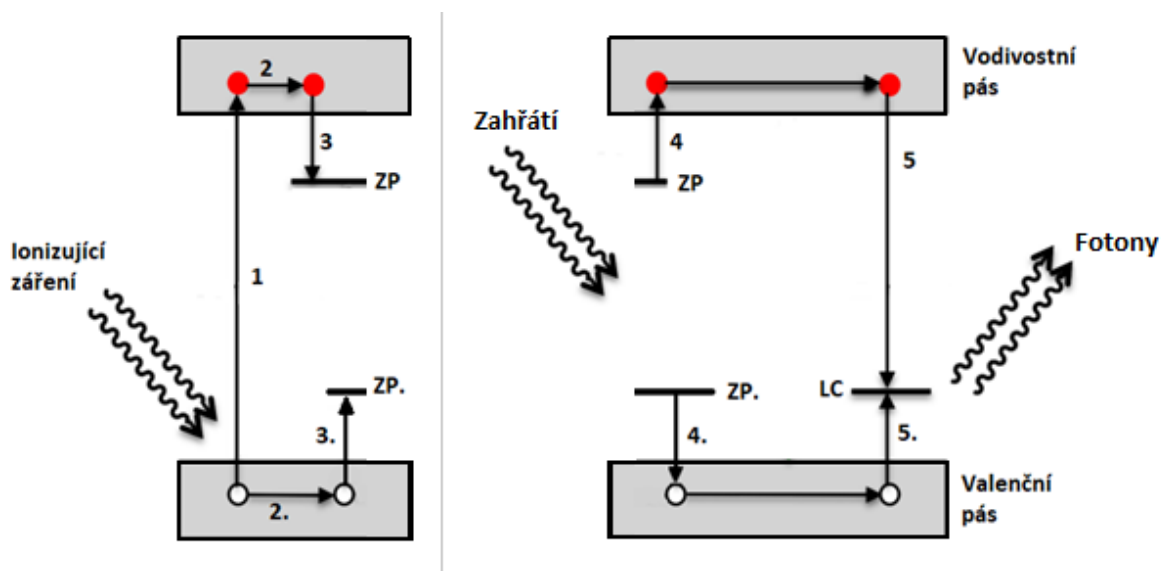
Termoluminiscenční dozimetrie je založena, jak již z názvu vyplývá, na termoluminiscenčním jevu, při kterém dochází k emisi světla z látky při jejím ohřevu. Touto látkou je dnes nejčastěji fluorid lithný aktivovaný manganem, titanem a mědí  $\text{LiF}(:\text{Mg},\text{Ti},\text{Cu})$ . LiF má hlavní výhody v tom, že má nízkou energetickou závislost, je chemicky stabilní, a hlavně jeho fading je poměrně nízký.

Fading je termín, kterým se označuje slábnutí odezvy a lze na něj narazit v souvislosti s materiálovými kumulativními detektory. K tomuto slábnutí signálu (odezvy detektoru) s časem dochází průběžně od ozáření detektoru po jeho vyhodnocení. Stává se tomu tak v důsledku fyzikálních a chemických vlivů v materiálu detektoru. Kvůli těmto vlivům nastávají v termoluminiscenčních detektorech spontánní deexcitace metastabilních elektronových hladin. (Ullmann, c)

#### 5.1.1 Základní princip termoluminiscenčního jevu

Dodnes není fyzikální podstata termoluminiscence úplně vyjasněna. Pro pochopení jevu však postačí vědět, že při ozáření termoluminiscenčního materiálu ionizujícím zářením v něm začnou probíhat dva procesy – vznik elektron-děrových párů a záchyt uvolněných nosičů náboje. Pokud dojde k zahřátí látky nastane rekombinace elektronů a děr, díky níž se emituje fotonové záření. Fotony jsou obvykle ve škále viditelného nebo ultrafialového záření. Tento proces tedy následně vede ke vzniku měřitelného signálu. (Musílek, a další, 1992)

Podstatu termoluminiscenčního jevu si můžeme vysvětlit také na následujícím obrázku, který je zpracován podle (Silva, 2015).



Obrázek 14 Přechody při termoluminiscenci

Pokud je termoluminiscenční krystal vystaven ionizujícímu záření, vede tato absorpce energie k ionizaci čili k uvolnění elektronů. Elektrony rychle přecházejí z valenčního pásu do vodivostního (1). Zde se pak elektrony mohou pohybovat (2), nebo jsou zachyceny v „záchytných pastech“ (ZP). To jsou místa přerušení krystalové mřížky materiálu s vybuzenými energetickými hladinami. Elektrony v „záchytných pastech“ mohou dlouhodobě přetrvávat v metastabilním stavu.

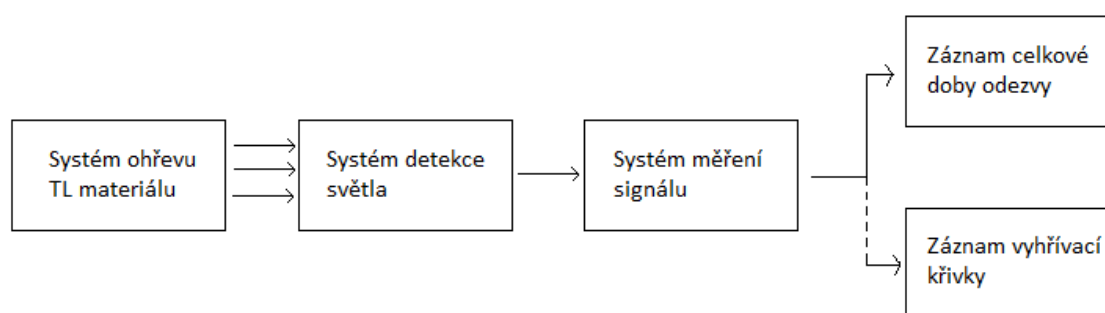
Při vzniku volných elektronů se současně vytvářejí i volné díry, které se pohybují valenčním pásem (2.). Stejně tak jako elektrony mohou být i díry zachyceny v „záchytných pastech“ (ZP.)

Z těchto pastí se elektrony i díry mohou dostat teprve tehdy, pokud jim je dodána energie, tzn. je-li materiál podroben tepelné stimulaci (4 a 4.). Po zahřátí tedy elektrony deexcitují a vracejí se na nižší energetické hladiny. Dochází k rekombinaci s děrami (5 a 5.) v luminiscenčních centrech (LC). Jejich přebytečná energie je vyzářena ve formě fotonů viditelného nebo UV záření. Takovéto světélkování materiálu se nazývá luminiscence. (Ullmann, c) (Musílek, a další, 1992)

„Protože počet zachycených nosičů náboje je v určitých mezích úměrný energii ionizujícího záření absorbované TL materiálem, vzniká měřitelný optický signál úměrný dávce.“ (Musílek, a další, 1992 str. 70) Platí tedy, že čím větší radiální dávku materiál obdržel, tím víc elektronů je zachyceno v pasti a setrvává v metastabilním stavu. A tím pádem je termoluminiscencí vyzářeno i více fotonů během vyhodnocovacího cyklu. (Ullmann, c)

Po proběhnutí expozice ionizujícím zářením se TLD umísťují do vyhodnocovacího zařízení, kde probíhá ohřev a detekce. Nejprve tedy dojde k ohřevu TLD při teplotě v rozmezí 160-300 °C, pak nastává v krystalu termoluminiscence. Emitované viditelné světlo se snímá pomocí fotonásobičů, odtud se svádí elektrický signál a zaznamenává se v závislosti na teplotě. Výstupem vyhřívacího zařízení je tzv. „vyhřívací (glow) křivka“. Plocha pod touto křivkou (integrál) je úměrný dávce v dozimetru. (Ullmann, c)

Výše popsané funkce vyhodnocovacího zařízení je schematicky zobrazeno na obrázku 17.



Obrázek 15 Funkce vyhodnocovacího zařízení pro TLD (Musílek, a další, 1992)

Po vyhodnocení TLD je nutné provést annealing, během kterého dojde k vyprázdnění i těch pastí, které se během předchozího ohřevu nevyprázdnily. Tím dojde k odstranění zbytkového signálu, a tedy i obnovení původních vlastností TLD. Při annealingu se TLD rovněž zahřejí v peci ovšem na vyšší teplotu (400 °C a víc) a poté jsou připraveny k opětovnému použití.



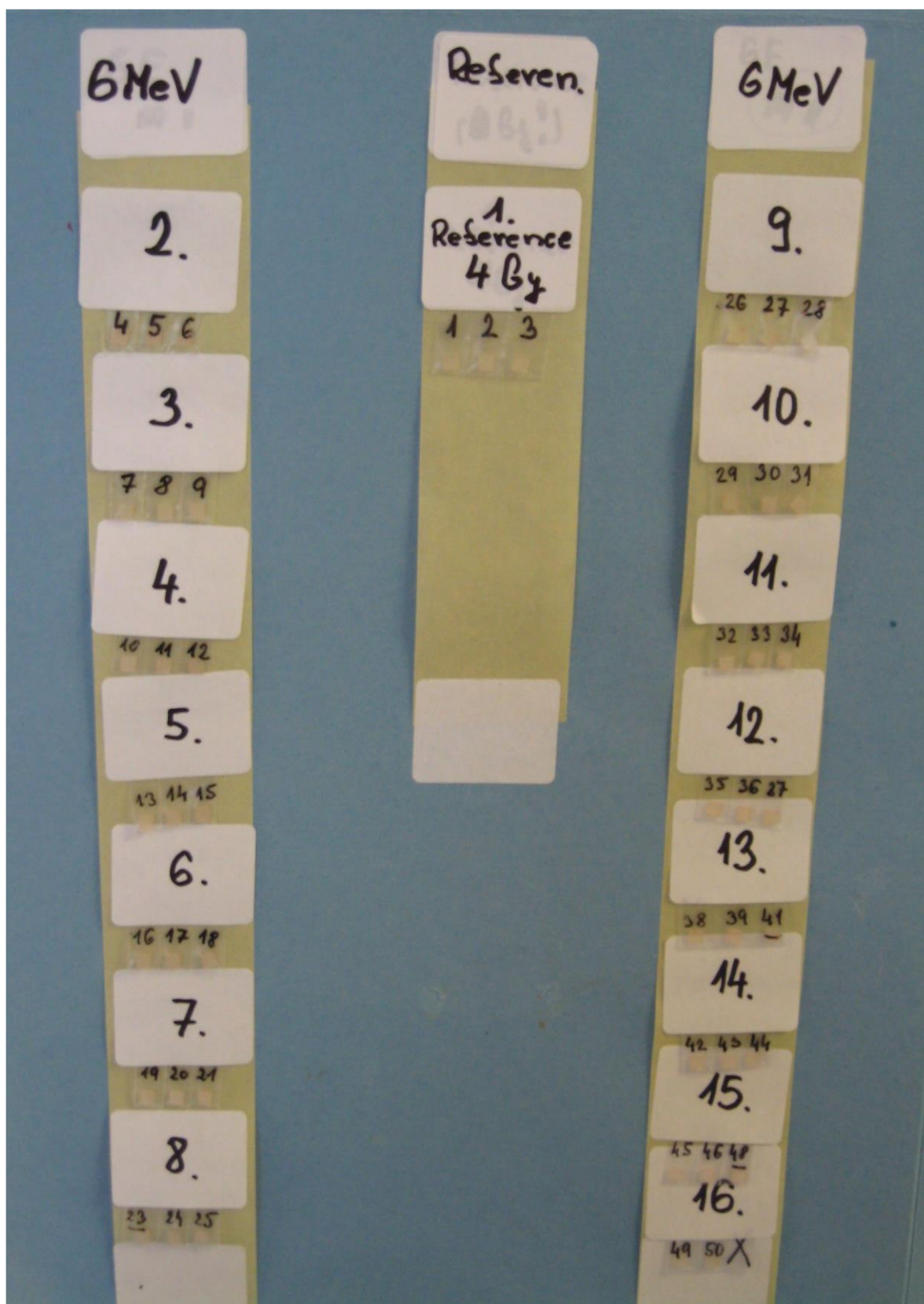
## 5.2 Měření povrchové dávky pomocí TLD na onkologickém odd. NČB

K tomu abychom zjistili, zda je dávka homogenně rozložena při ozařování technikou TSEI, se používají právě TLD. V Českých Budějovicích se používá 50 kusů TLD, jejichž krystal je z fluoridu lithného (LiF). Mají čtvercový tvar o rozměru 3,2 mm x 3,2 mm x 0,9 mm, vyrábí je firma SOLON TECHNOLOGIES, INC. s označením TLD 100.

Těchto 50 dozimetrů se po předchozím vynulování (annealingu) přendává pinzetou z kovového plata do speciálně vytvořených sáčků (obrázek 18). Tyto sáčky vyrobené z folie jsou označeny číslem a každý obsahuje 3 TLD. Sáček 1 tedy obsahuje TLD 1, 2 a 3; sáček 2 obsahuje TLD 4, 5 a 6; atd. Takto očíslované a rozdělené TLD se přilepí na desky (obrázek 19) a odnesou na ozařovnu.



Obrázek 16 Očíslované TLD a vložené do sáčků (OO NČB)



Obrázek 17 Sada TLD umístěných na desky a připravených k měření (OO NČB)

Na ozařovně se TLD lepí na pacienta. Každé sadě tří dozimetrů náleží jedno místo, které si radiologický fyzik musí zapsat, aby nedošlo k záměně. Před samotným ozařovacím cyklem se oddělí zpravidla jedna sada TLD, která slouží jako referenční hodnota. Referenční měření probíhá v deskovém fantomu. Fantom se ozáří předem známou dávkou – pro klasickou frakcionaci dávka činí 2 Gy, pro retreatment 4 Gy. Toto měření zajistí nejenom informaci o referenční dávce, ale rovněž díky ní lze korigovat naměřené hodnoty. Pokud se naměřené hodnoty velmi liší (povolená odchylka je od 3 % do 5 %), je nezbytné udělat před dalším ozařováním novou kalibraci.

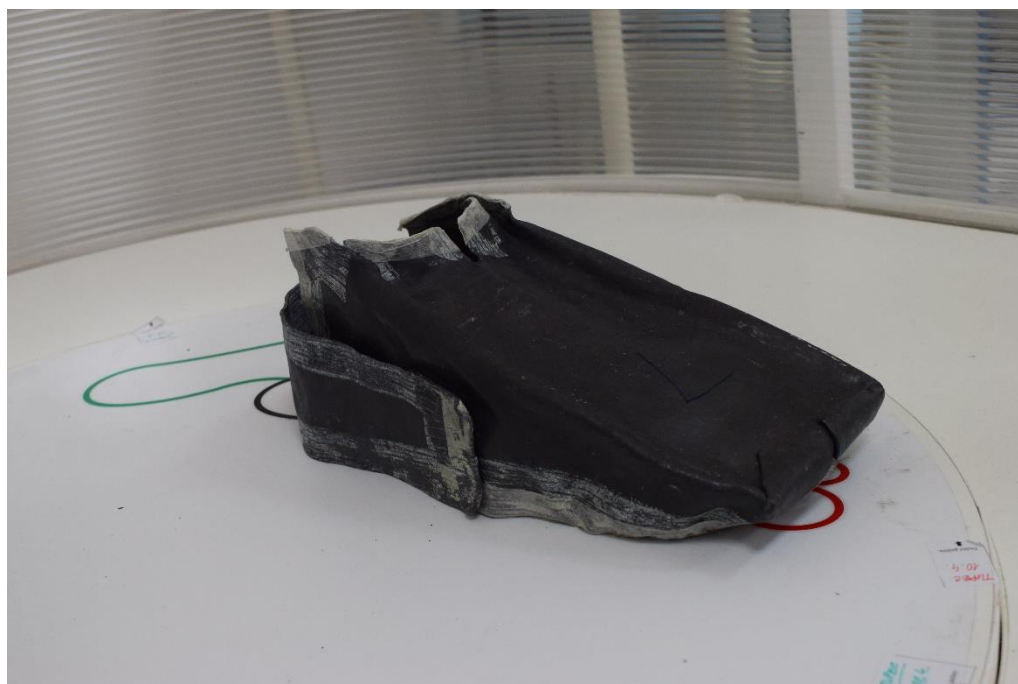
Při in-vivo dozimetrii se na OO NČB měří tyto body:

1. body standartní = oblast „černé díry“;
2. body, kde nás zajímá dávka z důvodu:
  - a) poddávkování oblasti, které nastává např. kvůli samostínění;
  - b) předávkování oblasti, tj. oblasti povětšinou vyčnívající (brada, lokty...);
3. body zájmu = oblasti s tumorem nebo reziduálními infiltráty.

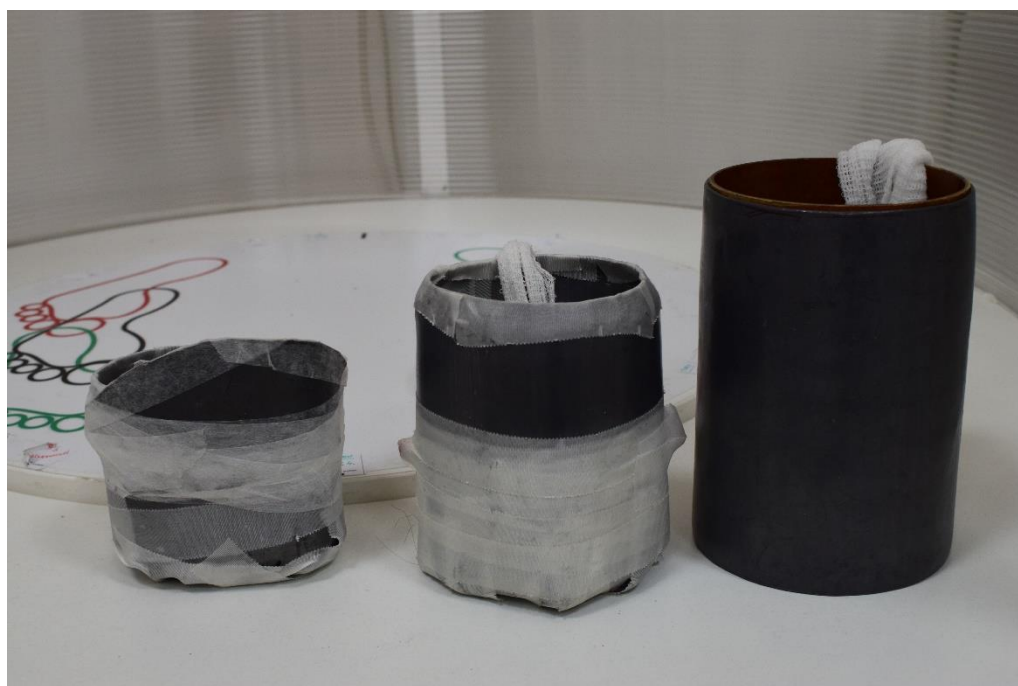
Ozařovací cyklus tedy začíná lepením TLD do oblasti černé díry. První den pro jednu pozici (např. červená) a další den pro druhou pozici (např. zelená). Na pacienta se umisťuje celkem 6 sad dozimetrů. První sada je vyhrazena pro referenční bod na pacientovi, tj. bod na bříše v úrovni izocentra (střed černé díry AP). Další dvě sady se umisťují rovněž zepředu na horní a dolní okraj světelného pole (horní a dolní okraj černé díry AP). Poslední tři sady TLD se rozmístí ve stejných pozicích, ale na záda pacienta. Označují se pak horní a dolní okraj černé díry PA a střed černé díry PA.

V průběhu dalších dnů se měří dávka v oblastech, kde se předpokládá vyšší nebo nižší dávka. U poddávkových oblastí může lékař rozhodnout o dosycení dávky, tzv. patch treatments. Naopak u předávkových oblastí může rozhodnout o použití

stínících pomůcek. Ty se pro každého pacienta vyrábějí na míru a může se jednat o olověné botičky, rukavičky či masky na obličej (*obrázek 20 a 21*).



*Obrázek 18 Botičky na stínění nohou (autor)*



*Obrázek 19 Rukavičky na stínění rukou (autor)*

Posledními body, kde se měří dávka, jsou oblasti s infiltráty a tumory. Tyto oblasti se nechávají „zmapovat“, aby lékař mohl určit, zda indikuje „boost treatment“ či nikoli. Tumory a infiltráty se u každého pacienta vyskytují v jiných místech, proto jsou tyto pozice umístění TLD variabilní a individuální.

### 5.2.1 Vyhodnocování TLD na onkologickém odd. NČB

Po ozáření se TLD vyjmou ze sáčků a znovu se umístí do kovového plata. Takto jsou připraveny na předohřev, který probíhá ve vyhřívací pídce PTW-TLD od firmy PTW Freiburg. Na OO NČB předohřev dozimetrů probíhá po dobu 10 minut při teplotě 100 °C. Vlivem předohřevu se vyprázdní mělké pasti, které by jinak zapříčinily vznik nízkoteplotních píků na vyhřívací křivce. Po skončení předohřevu se dozimetry nechají vychladnout zhruba na pokojovou teplotu a teprve pak se vyndají z pece. Nyní může začít vlastní ohřev TLD a jejich vyhodnocení. Vyhodnocuje se vždy jeden dozimetr po druhém (manipuluje se jen pomocí vakuové pinzety). Dozimetr se umístí do zásuvky vyhodnocovacího přístroje Thermo Scientific™ HARSHAW TLD™ Model 3500 Manual Reader a začíná následující proces:

1. předohřev na 100 °C po dobu 5 s;
2. ohřev na teplotu 240 °C rychlostí 10 °C/s;
3. odečet;
4. zchlazení na teplotu 50–60 °C.

V této fázi nastává ohřev dozimetrů, detekce a sběr emitovaného světla, nakonec se změří a zobrazí záznamy příslušného signálu. Tyto hodnoty jsou udávány v nanocoulombech a zapisují se do počítače, kde je pro ně v programu Excel vytvořený vzorec.

Na konci celého vyhodnocovacího cyklu jsou opět všechny dozimetry v kovovém platu, které se umístí do pece. Tentokrát z důvodu annealingu. Nyní se TLD zahřejí na 400 °C na 1 hodinu, poté na 100 °C na 2 hodiny. Po třech hodinách začne teplota postupně klesat až na 45 °C, čímž je celý proces ukončen.

### 5.2.2 Měření citlivosti a kalibrace

Před samotným ozařováním je zapotřebí, aby proběhlo stanovení faktoru citlivosti jednotlivých TLD a kalibrace.

Měření citlivosti probíhá na ozařovně onkologického oddělení. Na ozařovací stůl se umístí 6 až 8 desek z tzv. tvrdé vody (polystyren a cca 5 % latexu). Mezi poslední vrstvou dvou desek je pevně přilepen papír s mřížkou, na které jsou napsána čísla od 1 do 50. Na tyto čísla se pinzetou přenesou TLD z kovového plata dle pořadí. Ozařuje se elektrony s následujícím nastavením: pole 10 cm x 10 cm vymezené tubusem, SSD 100 cm, gantry 0°, kolimátor 0° a energie 6 MeV. Podstata měření faktoru citlivosti tedy spočívá v ozáření všech TLD stejnou a nám známou dávkou (zde 2 Gy). Vyhodnocení dozimetrů se provádí stejným způsobem jako u in-vivo dozimetrie (včetně předohřevu a annealingu).

Z hodnot, které jsme naměřili, vypočítáme dle následujícího vztahu faktor citlivosti jednotlivých TLD:

$$C_i = \frac{R}{O_i}$$

$C_i$  = faktor citlivosti dozimetru;

$R$  = průměrná hodnota odezvy všech dozimetrů;

$O_i$  = odezva jednotlivého dozimetru.

Měření citlivosti v rámci celé sady se opakuje 5x až 6x, dokud není odchylka u jednotlivých TLD do 3 %. V celé sadě se ještě toleruje, když mají 3 nebo 4 TLD odchylku trochu větší (vždy však maximálně do 5 %).

Po této fázi se provede kalibrace dozimetrů. Sada TLD se rozdělí do několika skupin, z nichž každá je ozářena jinou dávkou (nám známou) od 0,5 Gy do 3 Gy. Nastavení i stanovení odezvy je totožné jako u in-vivo dozimetrie. Z následujícího vztahu se vypočítá korigovaná odezva:

$$O_{ki} = O_i \cdot C_i$$

$O_{ki}$  = odezva korigovaná na citlivost;

$O_i$  = odezva jednotlivého dozimetru;

$C_i$  = faktor citlivosti dozimetru.

Poté se pro každou skupinu TLD stanoví průměrná hodnota korigované odezvy. Za předpokladu, že odezva je lineárně závislá na absorbované dávce, se regresní analýzou stanoví koeficienty  $k$  a  $q$  rovnice křivky této závislosti:

$$D = k \cdot O_k + q$$

$D$  = absorbovaná dávka;

$k$  (koeficient  $k$ ) = hodnota stanovená regresní analýzou;

$O_k$  = korigovaná odezva;

$q$  (koeficient  $q$ ) = hodnota stanovená regresní analýzou (kolmá odchylka).

Díky této rovnici můžeme určit při měření na pacientovi absorbovanou dávku z odezvy TLD. Proto než se na pacienta lepší dozimetry, vždy musí být alespoň jedna sada TLD oddělena a ozářena známou dávkou ve fantomu (obvykle 2 Gy). Tato sada pak slouží k informaci o referenční dávce (jak už bylo popsáno výše).

## 6 VÝSLEDKY

Ozařování metodou TSEI není tak časté, jako jiné techniky používané v radioterapii. V roce 2017 byl proveden relativně malý počet ozařování na onkologickém oddělení Nemocnice České Budějovice, a.s., a proto můj výsledný soubor zahrnuje pouze 5 pacientů.

Do výsledkové části tedy zařadím 4 pacienty, kteří byli ozařováni v průběhu roku 2017 a jednu pacientku, která byla ozařována v době, kdy jsem měla možnost zúčastnit se měření. Toto měření, kterého jsem se účastnila je uvedeno v kazuistice č. 5.

Z obdrženého množství neuspořádaných dat jsem sestavila přehledné tabulky, ve kterých jsou uvedena a popsána pouze data potřebná pro mou práci. Výsledky jsou zpracovány ve formě kazuistik.

První tabulka kazuistiky popisuje, jak by zhruba vypadal ozařovací cyklus daného pacienta. Zelenou barvou jsou označeny dny, ve kterých pacient chodil na ozařování rotační technikou TSEI. Červená barva reprezentuje dny, kdy se nezářilo. Jedná se o týdenní pauzy nebo svátky. Modrou barvou jsou zaznamenány dny, ve kterých pacient mohl chodit na patch treatment a boost treatment.

V druhé tabulce jsou vždy uvedeny naměřené hodnoty černé díry. Výsledky měření oblastí zájmu, tumorů a infiltrátů jsou obsaženy ve zbývajících tabulkách.



## 6.1 Kazuistika č. 1

Základní diagnóza: C 84.0 – Mycosis fungoides

Klasifikace: T3N0M0B0 (stádium II.B)

Pohlaví: žena

Pacientka č. 1 byla po předchozí léčbě sledována. V březnu 2017 jí byla zjištěna progresse ve stávajících i nových lokalitách. Klasifikace onemocnění byla T3N0M0B0, což odpovídá stádiu II.B. Pacientka měla tedy jeden nebo více tumorů, žádné postižení periferních lymfatických uzlin, vnitřních orgánů ani krve. Postižena byla nejvíce obličejová část, dále různě velké léze rozesety po celém těle. Z toho důvodu byla od 10. 4. 2017 hospitalizována v NČB. Ozařovací cyklus trval od 10. 4. do 8. 6. 2017 s týdenními pauzami.

Od 10. 4. 2017 byla tedy pacientka č. 1 ozařována rotační technikou TSEI. Při ozařování byl použit svazek elektronů o energii 6 MeV. Ozařovala se kůže celého těla složením dvou polí dávkou 2 Gy do celkové dávky 24 Gy. Mezi týdny ozařování se vždy vkládala týdenní pauza (týdenní timing).

Tabulka 1 Ozařovací cyklus pacientky č. 1

PO	10.4.2017	17.4.2017	24.4.2017	1.5.2017	8.5.2017	15.5.2017	22.5.2017	29.5.2017	5.6.2017
ÚT	11.4.2017	18.4.2017	25.4.2017	2.5.2017	9.5.2017	16.5.2017	23.5.2017	30.5.2017	6.6.2017
ST	12.4.2017	19.4.2017	26.4.2017	3.5.2017	10.5.2017	17.5.2017	24.5.2017	31.5.2017	7.6.2017
ČT	13.4.2017	20.4.2017	27.4.2017	4.5.2017	11.5.2017	18.5.2017	25.5.2017	1.6.2017	8.6.2017
PÁ	14.4.2017	21.4.2017	28.4.2017	5.5.2017	12.5.2017	19.5.2017	26.5.2017	2.6.2017	9.6.2017

- Ozařování rotační technikou TSEI
- Boost
- Neozářovalo se

Do oblasti černé díry se TLD lepily první dva dny ozařovacího cyklu. První den pro zelenou pozici a druhý den pro červenou. U tohoto měření přebýval 1 set TLD, proto aby se využil, lékař s radiologickým fyzikem rozhodli o měření oblasti dolního rtu vlevo, kde se nacházel největší infiltrát. Po vyhodnocení dozimetrů byly zjištěny tyto hodnoty:

Tabulka 2 Měření černé díry u pacientky č. 1

	10.4.2017: zelená		11.4.2017: červená		Průměr 10.+11.4.
	Dávka [Gy]	Průměr [Gy]	Dávka [Gy]	Průměr [Gy]	
Horní okraj AP	1,93	1,89	1,88	1,94	1,91
	1,89		1,93		
	1,83		2,00		
Střed AP	1,95	1,93	1,95	2,03	1,98
	1,93		2,11		
	1,91		2,02		
Dolní okraj AP	2,03	2,00	2,10	2,12	2,06
	1,99		2,06		
	1,96		2,19		
Horní okraj PA	1,88	1,85	1,80	1,80	1,82
	1,86		1,79		
	1,82		1,80		
Střed PA	1,83	1,75	1,73	1,69	1,72
	1,75		1,67		
	1,68		1,66		
Dolní okraj PA	1,99	1,97	1,96	1,94	1,96
	1,99		1,93		
	1,92		1,95		
Dolní ret vlevo	2,02	1,96	2,27	2,28	2,12
	1,95		2,29		
	1,90		2,28		
Ref 2 Gy	1,99	1,98	2,00	2,02	/
	1,97		2,04		
	1,99		2,03		
Ref 2 Gy	/		1,94	1,99	/
			2,03		

Následující dva dny se měřily ty oblasti, kde lékaře zajímala dávka. Jednalo se o oblasti potencionálně poddávkové či předávkové. Převážně šlo o systematická místa, která mají více méně všichni pacienti.

Tabulka 3 Měření oblastí zájmu u pacientky č. 1

	12.4.2017	13.4.2017	Průměr 12.+13.4.
	Průměr [Gy]	Průměr [Gy]	
Pravá strana krku	2,04	1,07	1,55
Levá strana krku	1,21	2,32	1,77
Pravá axilla	0,32	2,14	1,23
Levá axilla	1,77	1,16	1,46
Submammárně vpravo	1,44	0,46	0,95
Submammárně vlevo	0,10	2,02	1,06
Oblíčeť horní ret pod nosem	2,17	2,23	2,20
Palec pravé ruky	2,13	3,02	2,57
Palec levé ruky	2,84	2,21	2,52
Palec pravé nohy	3,27	3,51	3,39
Palec levé nohy	3,73	3,72	3,72
Tumor pod pravým okem	2,14	1,68	1,91
Vnitřní plocha stehen pravá	1,31	1,22	1,27
Vnitřní plocha stehen levá	1,41	1,22	1,31
Subgluteálně	1,71	0,51	1,11
Ref 2 Gy	1,92	1,97	
Ref 2 Gy	1,97	1,96	

Poté na základě tohoto a předešlého měření, pohledu a pohmatu lékař určil, zda se použijí stínící pomůcky a jejich umístění.

Jako třetí měření pomocí TLD se u pacientky č. 1 mapovaly oblasti s tumory nebo infiltráty (inf.).

Tabulka 4 Měření infiltrátů a tumorů u pacientky č. 1

	24.4.2017	25.4.2017	Průměr
	Průměr [Gy]	Průměr [Gy]	24.+25.4.
Inf. na pravé tváři strupy	2,26	1,86	2,06
Strupy brada vlevo	1,87	2,52	2,20
Strupy před pravým uchem	2,15	1,52	1,83
Strupy před levým uchem inf.	1,39	2,20	1,79
Inf. od pupku vpravo	2,16	2,18	2,17
Inf. nad pupkem	2,02	2,04	2,03
Inf. na levém boku	2,30	1,79	2,05
Pravá paže zezadu	2,08	2,20	2,14
Levá paže nad loktem zevně	2,24	2,07	2,16
Inf. nad levou lopatkou	2,15	1,94	2,04
Inf. SI kloubem vlevo	2,14	1,91	2,02
Inf. nad C7	2,01	2,06	2,03
Pravé lýtko zezadu podkol.jam	2,03	2,08	2,05
Levé lýtko zezadu podkol.jam	2,19	2,17	2,18
Inf. nad sternem mezi prsy	1,55	1,92	1,73
Ref 2 Gy	2,05	2,02	
Ref 2 Gy	1,95	1,98	

Podle těchto měření dávek pomocí TLD se lékař rozhoduje, zda indikuje patch treatment či boost, popř. kam a s jakou dávkou. U pacientky č. 1 bylo rozhodnuto o patch treatmentu jedním polem elektronového svazku o energii 6 MeV. Ozařování probíhalo od 22. 5. do 8. 6. 2017. Dávkou 2 Gy na 1 pole se ozařovaly následující oblasti:

- temeno do celkové dávky 6 Gy;
- levá a pravá axilla do celkové dávky 6 Gy;
- submammární oblast do celkové dávky 10 Gy;
- plosky pravé a levé nohy do celkové dávky 20 Gy;
- perineum a horní vnitřní plocha stehen do celkové dávky 10 Gy;
- krk vlevo a vpravo do celkové dávky 6 Gy.

## 6.2 Kazuistika č. 2

Základní diagnóza: C 84.0 – Mycosis fungoides

Klasifikace: T2N0M0B0 (stádium I.B)

Pohlaví: muž

Pacient č. 2 nastoupil k léčbě na onkologickém oddělení Nemocnice České Budějovice, a.s. 15. 5. 2017 s onemocněním mycosis fungoides, jehož klasifikace byla T2N0M0B0. Pacient měl tedy generalizované patch a plaky na více než 10 % kožního povrchu. Nejvíce postižená byla oblast hlavy a krku a výrazný flek na břichu. Ozařovací cyklus trval od 15. 5. do 18. 7. 2017.

Pacient č. 2 byl ozařován 13 dní rotační technikou TSEI do celkové dávky 26 Gy. Použit byl svazek elektronů s energií 6 MeV, dávka na frakci 2 Gy. Mezi 5 dnů, kdy se zářilo, se opět vkládal týden bez ozařování. Schéma ozařovacího plánu mohlo vypadat následovně:

Tabulka 5 Ozařovací cyklus pacienta č. 2

PO	15.5.2017	22.5.2017	29.5.2017	5.6.2017	12.6.2017	19.6.2017	26.6.2017	3.7.2017	10.7.2017	17.7.2017
ÚT	16.5.2017	23.5.2017	30.5.2017	6.6.2017	13.6.2017	20.6.2017	27.6.2017	4.7.2017	11.7.2017	18.7.2017
ST	17.5.2017	24.5.2017	31.5.2017	7.6.2017	14.6.2017	21.6.2017	28.6.2017	5.7.2017	12.7.2017	19.7.2017
ČT	18.5.2017	25.5.2017	1.6.2017	8.6.2017	15.6.2017	22.6.2017	29.6.2017	6.7.2017	13.7.2017	20.7.2017
PÁ	19.5.2017	26.5.2017	2.6.2017	9.6.2017	16.6.2017	23.6.2017	30.6.2017	7.7.2017	14.7.2017	21.7.2017

- Ozařování rotační technikou TSEI
- Boost
- Neozařovalo se

Oblast černé díry se měřila opět na začátku ozařovacího cyklu, tedy 15. 5. a 16. 5. 2017. Kromě černé díry se měřila dávka na pravý a levý loket kvůli nezvyklé pozici, kdy byly lokty vystrčeny.

Tabulka 6 Měření černé díry u pacienta č. 2

	15.5.2017: červená		16.5.2017: zelená		Průměr 15.+16.5
	Dávka [Gy]	Průměr [Gy]	Dávka [Gy]	Průměr [Gy]	
Horní okraj AP	2,11	2,13	1,96	1,96	2,04
	2,15		1,98		
	2,13		1,92		
Střed AP	2,04	2,10	1,87	1,93	2,01
	2,11		1,94		
	2,14		1,97		
Dolní okraj AP	2,26	2,27	2,06	2,05	2,16
	2,26		1,98		
	2,27		2,12		
Horní okraj PA	1,92	1,89	2,21	2,08	1,98
	1,94		2,04		
	1,82		1,98		
Střed PA	1,94	1,90	2,06	2,10	2,00
	1,91		2,00		
	1,85		2,24		
Dolní okraj PA	1,95	1,84	2,07	1,99	1,92
	1,86		1,97		
	1,71		1,94		
Vystrčený pravý loket	2,32	2,35			
	2,35				
	2,38				
Vystrčený levý loket			2,32	2,35	
			2,38		
			2,36		
Ref 2 Gy	1,98	1,97	2,04	2,02	
	1,95		2,00		
	1,98		2,03		
Ref 2 Gy	1,90	1,92			
	1,95				

Oblasti potencionálně poddávkové a předávkové se měřily 17. 5. a 29. 5. 2017. Časový rozestup mezi měřeními mohl být způsoben nedostatkem času či nepřítomností fyziků, odstavkou na ozařovači apod. V zásadě není podstatné, kdy měření proběhne, ale je třeba dbát na to, aby měření byla provedena pro obě pozice.

Tabulka 7 Měření oblastí zájmu u pacienta č. 2

	17.5.2017	29.5.2017	Průměr
	Průměr [Gy]	Průměr [Gy]	17.+29.5.
Levá strana krku	1,29	0,22	0,74
Pravá strana krku	0,16	1,79	0,98
Levá axilla	0,27	2,06	1,17
Pravá axilla	2,13	0,32	1,22
Podbřišek	2,27	1,97	2,12
Vnitřní plocha stehen L nahoře	0,68	0,85	0,77
Vnitřní plocha stehen P nahoře	0,85	0,53	0,69
Palec L nohy	2,94	2,83	2,89
Palec P nohy	3,03	3,10	3,07
Palec L ruky	2,79	2,83	2,81
Palec P ruky	3,04	2,13	2,58
Subgluteálně vlevo	1,89	1,96	1,92
Subgluteálně vpravo	1,96	1,86	1,91
Intergluteálně nahoře	1,35	1,07	1,21
Pravá pata	2,55	2,45	2,50
Ref 2 Gy	2,00	2,01	
Ref 2 Gy	2,01	1,99	

Měření infiltrátu a tumorů se u pacienta č. 2 neprovádělo, jelikož jeho postižení na kůži nebylo tak vážné.

V časovém intervalu od 26. 6. do 18. 7. 2017 pacient navštěvoval onkologické oddělení, kde mu byl indikován patch treatment. Ozařovalo se jedním elektronovým polem o energii 6 MeV a dávkou 2 Gy na jedno pole. Ozařovány byly tyto oblasti:

- temeno do celkové dávky 10 Gy;
- pravá a levá strana krku do celkové dávky 16 Gy;
- pravá a levá axilla do celkové dávky 8 Gy;
- perineum do celkové dávky 10 Gy;
- plosky pravé a levé nohy do celkové dávky 20 Gy.

### 6.3 Kazuistika č. 3

Základní diagnóza: C 84.0 – Mycosis fungoides

Klasifikace: T2N0M0B0 (stádium I.B)




Pohlaví: žena

Pacientka č. 3 podstoupila v minulosti radioterapii fotonovým svazkem na RTO Znojmo, kde byla ozařována 12 MeV do celkové dávky 40 Gy. První celotělové ozařování elektronovým svazkem na OO NČB podstoupila koncem roku 2009. Ozařována byla do celkové dávky 30 Gy.

V roce 2017 je rozhodnuto o prvním retreatmentu (znovuozářování relapsu MF po předchozí léčbě technikou TSEI s časovým odstupem). Pacientka č. 3 začala s ozařováním rotační technikou TSEI 18.7.2017. Celková dávka činila 18 Gy, to odpovídá 9 dnům (nepočítáme-li týdenní pauzy). Svazek elektronů měl energii 6 MeV a dávka na frakci byla 2 Gy. Jak mohl vypadat ozařovací cyklus je uvedeno v *tabulce 8*.

Tabulka 8 Ozařovací cyklus pacientky č. 3

PO	17.7.2017		24.7.2017		31.7.2017		7.8.2017		14.8.2017	
ÚT	18.7.2017		25.7.2017		1.8.2017		8.8.2017		15.8.2017	
ST	19.7.2017		26.7.2017		2.8.2017		9.8.2017		16.8.2017	
ČT	20.7.2017		27.7.2017		3.8.2017		10.8.2017		17.8.2017	
PÁ	21.7.2017		28.7.2017		4.8.2017		11.8.2017		18.8.2017	

-  Ozařování rotační technikou TSEI
-  Boost
-  Neozářovalo se



Na začátku ozařovacího cyklu se opět lepily dozimetry do oblasti černé díry a přebývající sady TLD do oblasti zájmů – zde to byly tři místa s infiltráty, konkrétně pravá podkolenní jamka, pravá paže zevnitř a rozhraní pravého prsu a horní končetiny. Po vyhodnocení TLD byly získány tyto hodnoty:

Tabulka 9 Měření černé díry u pacientky č. 3

	18.7.2017: zelená		19.7.2017: červená		Průměr 15.+16.5
	Dávka [Gy]	Průměr [Gy]	Dávka [Gy]	Průměr [Gy]	
Horní okraj AP	2,08	2,01	1,86	1,88	1,95
	2,01		1,90		
	1,95		1,90		
Střed AP	1,91	1,98	1,76	1,77	1,87
	1,98		1,79		
	2,04		1,75		
Dolní okraj AP	2,12	2,14	2,11	2,16	2,15
	2,11		2,23		
	2,20		2,15		
Horní okraj PA	2,10	2,12	2,11	2,14	2,13
	2,17		2,25		
	2,10		2,06		
Střed PA	2,12	2,00	2,00	1,84	1,92
	1,98		1,82		
	1,89		1,70		
Dolní okraj PA	2,03	2,00	1,95	1,92	1,95
	2,05		1,97		
	1,92		1,85		
Inf. v P podkolenní jamce	2,15	2,35	2,20	2,34	2,34
	2,35		2,27		
	2,55		2,54		
Inf. P paže zevnitř	1,35	1,34	1,78	1,70	1,52
	1,34		1,69		
	1,33		1,63		
Inf. P plastického řešení prsu, rozhraní HK	1,64	1,77	1,93	1,95	1,86
	1,81		1,94		
	1,86		1,99		
Ref 2 Gy	1,99	2,00	1,97	1,95	
	1,98		1,91		
	2,02		1,95		
Ref 2 Gy	2,01	1,99			
	1,97				

Následující dva dny se pomocí TLD měřily oblasti zájmu. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v *tabulce 10*.

Tabulka 10 Měření oblastí zájmu u pacientky č. 3

	20.7.2017	21.7.2017	Průměr 20.+21.7.
	Průměr [Gy]	Průměr [Gy]	
Axilla P	1,15	1,92	1,54
Axilla L	2,06	0,81	1,44
P strana krku	1,20	0,71	0,96
L strana krku	0,84	1,84	1,34
Palec ruky P	2,43	3,10	2,77
Palec ruky L	3,29	2,54	2,91
Palec nohy P	3,46	3,60	3,53
Palec nohy L	3,17	3,23	3,20
P stehno nahoře zevnitř	0,50	0,85	0,67
L stehno nahoře zevnitř	0,97	0,43	0,70
Submammárně vpravo	0,11	0,56	0,34
Submammárně vlevo	0,14	0,09	0,12
Intergluteálně	0,45	0,21	0,33
Subgluteálně vlevo	1,59	0,67	0,13
Subgluteálně vpravo	0,63	0,36	0,50
Ref 2 Gy	1,98	2,04	
Ref 2 Gy	1,96	2,15	

Po skončení rotační techniky TSEI bylo lékařem rozhodnuto o boostu na reziduální patch. V tomto případě se však ozařovalo rentgenovým zářením. Vždy se zářilo dávkou 2 Gy na 1 pole. K boostu byla indikována tato ložiska:

- pravá a levá paže do celkové dávky 4 Gy;
- levá kubitální jamka do celkové dávky 4 Gy;
- pravé stehno do celkové dávky 8 Gy;
- levé stehno do celkové dávky 6 Gy;
- levá zadní část axillární do celkové dávky 4 Gy;
- levý bok do celkové dávky 8 Gy;
- pravá hýždě do celkové dávky 4 Gy;
- levé stehno zezadu do celkové dávky 6 Gy;
- pravá popliteální jamka do celkové dávky 6 Gy;
- subgluteálně vpravo do celkové dávky 6 Gy;
- levé stehno zevnitř do celkové dávky 6 Gy.

## 6.4 Kazuistika č. 4

Diagnóza: C 84.0 – Mycosis fungoides

Klasifikace: T3NXM0B? (stádium IV.A)

Pohlaví: muž

Pacient č. 4 byl přijat na OO NČB 27. 11. 2017 a tento den začal s léčbou. Jeho onemocnění bylo klasifikováno jako IV.A stádium, přičemž nejvýraznější postižení bylo v oblasti hrudníku, hlavy, rukou a předloktí. Při ozařování rotační technikou TSEI byl zvolen svazek elektronů o energii 6 MeV. Dávka na frakci činila 2 Gy a celková dávka 30 Gy. Bylo tedy 15 dní, kdy se ozařovalo a mezi tyto dny se opět vkládal týden volna. Ozařovací cyklus mohl vypadat následovně:

Tabulka 11 Ozařovací cyklus pacienta č. 4

PO	27.11.2017	4.12.2017	11.12.2017	18.12.2017	25.12.2017	1.1.2018
ÚT	28.11.2017	5.12.2017	12.12.2017	19.12.2017	26.12.2017	2.1.2018
ST	29.11.2017	6.12.2017	13.12.2017	20.12.2017	27.12.2017	3.1.2018
ČT	30.11.2017	7.12.2017	14.12.2017	21.12.2017	28.12.2017	4.1.2018
PÁ	1.12.2017	8.12.2017	15.12.2017	22.12.2017	29.12.2017	5.1.2018
PO	8.1.2018	15.1.2018	22.1.2018	29.1.2018	5.2.2018	
ÚT	9.1.2018	16.1.2018	23.1.2018	30.1.2018	6.2.2018	
ST	10.1.2018	17.1.2018	24.1.2018	31.1.2018	7.2.2018	
ČT	11.1.2018	18.1.2018	25.1.2018	1.2.2018	8.2.2018	
PÁ	12.1.2018	19.1.2018	26.1.2018	2.2.2018	9.2.2018	

- Ozařování rotační technikou TSEI
- Možný patch treatment
- Neozářovalo se

Černá díra se začala měřit na začátku ozařovacího cyklu v pondělí 27.11., ale pro nepřesnost měření a chybu ze strany personálu bylo toto měření pro červenou pozici opakováno. Tudíž výsledky pro dvě pozice jsou brány až z následujících dvou dní.

Tabulka 12 Měření černé díry u pacienta č. 4

	28.11.2017: zelená		29.11.2017: červená		Průměr 27.+28.11.
	Dávka [Gy]	Průměr [Gy]	Dávka [Gy]	Průměr [Gy]	
Horní okraj AP	2,20	2,02	2,28	2,23	2,13
	1,96		2,27		
	1,90		2,17		
Střed AP	2,02	2,03	2,11	2,04	2,03
	2,03		1,95		
	2,02		2,08		
Dolní okraj AP	2,08	2,10	2,14	2,09	2,1
	2,08		2,08		
	2,14		2,08		
Horní okraj PA	2,01	1,95	1,83	1,95	1,95
	1,93		2,01		
	1,92		2,02		
Střed PA	1,92	1,81	1,88	1,79	1,8
	1,74		1,84		
	1,77		1,66		
Dolní okraj PA	2,00	1,91	1,78	1,73	1,82
	1,84		1,70		
	1,89		1,73		
Ref 2 Gy	1,84	2,00	1,88	1,93	
	2,06		1,89		
	2,10		2,03		
Ref 2 Gy	2,04	1,98	1,91	1,90	
	1,98		1,88		
	1,94		1,91		
Ref 2 Gy			1,92	1,92	
			1,92		

Dále se měřily obvyklé body zájmu, jako jsou strany krku, axilly apod.

Tabulka 13 První měření oblastí zájmu u pacienta č. 4

	30.11.2017	1.12.2017	Průměr
	Průměr [Gy]	Průměr [Gy]	30.11.+1.12.
Pravá strana krku	1,48	0,76	1,12
Levá strana krku	0,81	1,42	1,11
Pravá axilla	0,49	2,23	1,36
Levá axilla	2,12	1,11	1,61
Vnitřní plocha stehen P nahoře	1,1	1,54	1,32
Vnitřní plocha stehen L nahoře	1,4	1,41	1,41
Palec ruky P	2,33	3,1	2,72
Palec ruky L	2,81	2,59	2,7
Ohryzek	2,04	2,58	2,31
Prominující sternum	1,93	2,16	2,05
P paže dorzálně kraniálně	2,16	2,46	2,31
L paže dorzálně kraniálně	2,21	2,12	2,17
Krk PA	2,27	2,01	2,14
Za levým uchem	1,47	2,06	1,76
Za pravým uchem	2,25	1,38	1,81
Ref 2 Gy	1,94	1,97	
Ref 2 Gy	1,93	2,03	

V druhém týdnu ozařování se lékař rozhodl pro další měření oblastí zájmu.

Měřené oblasti jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 14 Druhé měření oblastí zájmu u pacienta č. 4

	11.12.2017	12.12.2017	Průměr
	Průměr [Gy]	Průměr [Gy]	11.12.+12.12.
Pravá strana krku	1,86	1,52	1,69
Levá strana krku	0,88	2,16	1,52
Sternum	2,12	2,23	2,17
Pravá axilla	1,24	1,88	1,56
Levá axilla	1,96	2,24	2,10
Ohryzek	2,28	2,85	2,57
Brada	2,76	2,66	2,71
Zápěstí P ruky dorzálně	1,64	2,16	1,90
Zápěstí L ruky dorzálně	2,38	2,12	2,25
P předloktí dorzálně	1,92	2,14	2,03
L předloktí dorzálně	2,37	2,33	2,35
P loket zevně	2,18	2,33	2,25
L loket zevně	2,37	2,06	2,22
Krk PA	2,17	2,24	2,20
Intergluteálně	1,42	1,37	1,40
Ref 2 Gy	1,88	1,96	
Ref 2 Gy	1,98	2,04	

Na základě těchto měření si lékař spočítal obdržanou dávku na jednotlivé orgány a podle toho se rozhodl o patch treatmentu, tedy dozáření oblastí, které obdržely menší dávku, než bylo zamýšleno v původním plánu. Poddávkované anatomické oblasti byly ozařovány 1 polem elektronového svazku o energii 6 MeV v časovém období od 8. 1. do 8. 2. 2018. U pacienta č. 4 se po 2 Gy dozařovaly tyto oblasti:

- temeno do celkové dávky 10 Gy;
- levá a pravá strana krku do celkové dávky 12 Gy;
- levá a pravá axilla do celkové dávky 6 Gy;
- perineum a horní vnitřní plocha stehen do celkové dávky 10 Gy;
- plosky levé a pravé nohy do celkové dávky 6 Gy.

## 6.5 Kazuistika č. 5

Diagnóza: C 84.0 – Mycosis fungoides




Klasifikace: T3N1M0? (stádium II.B)

Pohlaví: žena

Pacientce č. 5 byla v červenci roku 2017 diagnostikována MF ve stádiu II.B. Postižení bylo nejvýraznější v oblasti hrudníku, předloktí a kraniálních částí dolních končetin. K léčbě na OO NČB byla přijata 12. 2. 2018. Ozařování rotační technikou TSEI trvalo do 16. 3. 2018. Kůže celého těla byla ozařována elektronovým svazkem o energii 6 MeV dávkou 2 Gy na frakci do celkové dávky 30 Gy. Ozařování trvalo 15 dní plus týdenní pauzy.

Tabulka 15 Ozařovací cyklus pacientky č. 5

PO	12.2.2018		19.2.2018		26.2.2018		5.3.2018		12.3.2018		19.3.2018		26.3.2018	
ÚT	13.2.2018		20.2.2018		27.2.2018		6.3.2018		13.3.2018		20.3.2018		27.3.2018	
ST	14.2.2018		21.2.2018		28.2.2018		7.3.2018		14.3.2018		21.3.2018		28.3.2018	
ČT	15.2.2018		22.2.2018		1.3.2018		8.3.2018		15.3.2018		22.3.2018		29.3.2018	
PÁ	16.2.2018		23.2.2018		2.3.2018		9.3.2018		16.3.2018		23.3.2018		30.3.2018	

-  Ozařování rotační technikou TSEI
-  Patch treatment/boost
-  Neozářovalo se

První dva dny se lepily sady TLD do oblasti černé díry. Díky jedné sadě, která přebývala, se při prvním nastavení mohl změřit i tumor na pravé ruce, který zajímal lékaře. Naměřené hodnoty můžeme vidět v *tabulce 16*.

Tabulka 16 Měření černé díry u pacientky č. 5

	12.2.2018: červená			13.2.2018: zelená			Průměr 12.+13.2.
	Dávka [Gy]	Průměr [Gy]	Po korekci [Gy]	Dávka [Gy]	Průměr [Gy]	Po korekci [Gy]	
Horní okraj AP	1,75	1,84	1,95	1,84	1,81	1,92	1,93
	1,84			1,79			
	1,92			1,80			
Střed AP	1,92	1,89	2,01	1,81	1,80	1,91	1,96
	1,89			1,82			
	1,87			1,78			
Dolní okraj AP	2,04	1,95	2,07	1,94	1,88	1,99	2,03
	1,97			1,83			
	1,85			1,86			
Horní okraj PA	1,88	1,81	1,91	1,83	1,82	1,93	1,92
	1,83			1,84			
	1,78			1,78			
Střed PA	1,85	1,71	1,81	1,82	1,76	1,86	1,84
	1,64			1,72			
	1,65			1,73			
Dolní okraj PA	1,60	1,62	1,72	1,65	1,59	1,68	1,70
	1,58			1,56			
	1,69			1,55			
Tumor na dorzu P ruky	2,45	2,38	2,53	2,31	2,50	2,65	2,59
	2,41			2,63			
	2,30			2,57			
Ref 2 Gy	1,91	1,89		1,35	1,83		
	1,92			1,83			
	1,83			1,82			
Ref 2 Gy				2,00	1,94		
				1,87			

V této tabulce se objevuje nový sloupec „po korekci“. Korekce naměřených dávek (přepočít) se dělá v případě, že hodnota reference poklesne pod 1,95 Gy. Přepočít dávek je tedy individuální a rozhoduje o něm radiologický fyzik. Korekce se vypočítá jako průměrná hodnota dávek jednoho setu vynásobená podílem 2 Gy a průměrnou hodnotou dávek reference. Např. pro horní okraj AP černé díry by vzoreček vypadal takto:  $1,84 \cdot \frac{2}{1,89} \doteq 1,95$ .



Další čtyři měření se vztahovala k poddávkováným a předávkováným oblastem, ze kterých následně lékař vypočítal, ve kterých oblastech bude třeba udělat patch treatment. Naměřené hodnoty jsou prezentovány v *tabulce 17 a 18*.

*Tabulka 17 První měření oblastí zájmu u pacientky č. 5*

	14.2.2018	15.2.2018	Průměr 14.+15.2.
	Průměr [Gy]	Průměr [Gy]	
Pravá strana krku	0,82	1,82	1,32
Levá strana krku	1,94	0,36	1,15
Pravá axilla	2,16	1,61	1,88
Levá axilla	0,68	2,18	1,43
Palec pravé nohy	3,36	3,20	3,28
Palec levé nohy	3,35	3,09	3,22
Podbřišek	2,01	1,95	1,98
Palec pravé ruky	3,26	2,47	2,86
Palec levé ruky	2,44	3,23	2,84
Vnitřní plocha stehen pravá nahoře	0,27	1,12	0,69
Vnitřní ploch stehen levá nahoře	0,66	0,99	0,82
TU pravá podlíček	1,94	1,90	1,92
TU pravé předloktí	2,38	1,77	2,08
Submamárně vpravo	0,09	0,28	0,18
Submamárně vlevo	0,20	0,09	0,15
Ref 2 Gy	1,94	1,82	
Ref 2 Gy	1,97	1,96	

*Tabulka 18 Druhé měření oblastí zájmu u pacientky č. 5*

	26.2.2018	27.2.2018	Průměr 26.+27.2.
	Průměr [Gy]	Průměr [Gy]	
Pravá strana krku	1,89	0,95	1,42
Levá strana krku	0,66	1,78	1,22
Pravá axilla	0,62	2,10	1,36
Levá axilla	2,27	1,31	1,79
Palec pravé nohy	3,63	3,39	3,51
Palec levé nohy	3,60	3,43	3,51
Podbřišek	2,06	2,04	2,05
Palec pravé ruky	2,52	3,18	2,85
Palec levé ruky	3,17	2,06	2,61
Vnitřní plocha stehen pravá nahoře	1,30	0,98	1,14
Vnitřní ploch stehen levá nahoře	1,14	0,89	1,01
TU pravá podlíček	1,89	2,03	1,96
TU pravé předloktí	1,87	2,81	2,34
Submamárně vpravo	0,56	0,21	0,39
Submamárně vlevo	0,23	0,09	0,16
Ref 2 Gy	1,88	1,83	
Ref 2 Gy	1,98	1,97	

Od 19. 3. do 28. 3. 2018 byla tedy pacientka ozařována jedním polem elektronového svazku s energií 6 MeV. Dávka činila opět 2 Gy na jedno pole. Pro patch treatment byly zvoleny tyto oblasti:

- temeno do celkové dávky 6 Gy;
- pravá a levá strana krku do celkové dávky 10 Gy;
- submammární oblast do celkové dávky 16 Gy;
- perineum do celkové dávky 16 Gy;
- plosky pravé a levé nohy do celkové dávky 10 Gy;
- pravá a levá axilla do celkové dávky 6 Gy.

Po skončení elektronové terapie byla pacientka dozařována ještě rentgenovým zářením na vybrané oblasti s infiltráty. Zvolená dávka na frakci byla 2 Gy. Boost byl indikován v těchto oblastech:

- infiltráty na hrudníky do celkové dávky 6 Gy;
- infiltráty na hřbetu pravé ruky do celkové dávky 6 Gy;
- infiltráty na pravém předloktí do celkové dávky 8 Gy.

## 7 DISKUZE

V teoretické části bakalářské práce jsem se pokusila objasnit fyzikální podstatu a rozdíly v interakcích fotonů, protonů a elektronů. Pozornost jsem věnovala hlavně posledně zmíněným elektronům, neboť těmi se zbytek práce zabývá.

V současném stavu jsem popsala léčbu právě elektronovým svazkem. Stěžejním tématem v této části bylo onemocnění mycosis fungoides, pro které se celotělová terapie elektronovým svazkem využívá.

Dále jsem se věnovala termoluminiscenční dozimetrii, která se uplatňuje při měření dávek na povrchu kůže mj. u techniky TSEI. A právě měření pomocí TLD bylo předmětem praktické části bakalářské práce. Cílem bylo, aby dávka během jednoho ozařování byla 2 Gy, a to rovnoměrně po celém těle. Vzhledem k tomu, že projevy onemocnění se u každého pacienta různí, tak i výsledné hodnoty měření jsou u každého pacienta odlišné a individuální. Z tohoto důvodu nebylo ani možné zpracovat statistiku. Ve výsledkové části jsem proto ze zdravotnické a obrazové dokumentace, a především dat od radiologických fyziků vypracovala přehledné kazuistiky. Tyto kazuistiky obsahovaly tabulky, na kterých šlo jednoduše popsat, jakou dávku obdržel jednotlivý pacient. Potřebné informace jsem získala v Nemocnici České Budějovice, a.s.

Neboť metoda TSEI není příliš častá, vybrala jsem pro svůj výsledný soubor pouze 5 pacientů. Čtyři z tohoto výběru byli ozařováni v roce 2017 a u poslední pacientky (kazuistika č. 5) jsem se na nastavování a měření podílela osobně.

V **kazuistice č. 1** byla pacientka s onemocněním mycosis fungoides ve II.B stádiu. Kožní postižení bylo nejvýraznější v oblasti hlavy. Pacientka č. 1 měla dále různě velká ložiska rozmístěná po celém těle. K léčbě na onkologickém oddělení v nemocnici v Českých Budějovicích nastoupila v březnu 2017. Ozařování probíhalo rotační technikou TSEI do celkové dávky 24 Gy. V referenčním bodě (střed černé díry AP) bylo naměřeno 1,98 Gy. To lze považovat za uspokojivý výsledek uvážíme-li, že cílem bylo v tomto bodě dosáhnout 2 Gy. Po skončení ozařování bylo na základě naměřených hodnot z TLD dozimetřů lékařem určeno, že je potřeba provést dozařování elektronovým svazkem v těchto poddávkových oblastech: temeno, axilly, submammární oblast, plosky nohou, obě strany krku, perineum a horní vnitřní plochy stehen.

V **kazuistice č. 2** byla zpracována data pacienta s onemocněním mycosis fungoides se stádiem I.B. Jeho onemocnění se projevovalo nejvíce v oblasti hlavy a krku. Kromě toho se ještě v oblasti břicha vyskytoval výrazný infiltrát. Pacient nastoupil k léčbě v květnu 2017. Ozařování rotační technikou TSEI probíhalo do celkové dávky 26 Gy. V referenčním bodě po dvou měřeních byla zaznamenána hodnota 2,01 Gy, která splňovala požadavek na obdržanou dávku v tomto bodě. Po ukončení celotělového ozařování byl pacientovi indikován patch treatment elektronovým svazkem na oblast temene, obou stran krku, axilly, perineum a obě plosky nohou.

**Kazuistika č. 3** obsahuje data pacientky, jejíž onemocnění mycosis fungoides bylo rovněž ve stádiu I.B. Zde se ovšem jednalo o první retreatment, ke kterému pacientka nastoupila v červenci 2017. Celková dávka, kterou byla ozařována rotační technikou TSEI činila pouze 18 Gy. Ve středu černé díry AP byla po dvou dnech průměrná dávka 1,87 Gy. Po rozhodnutí lékaře byl proveden boost na oblasti, kde se vyskytovaly lokální projevy onemocnění. Nicméně zde se již ozařovalo rentgenovým svazkem, a to následující oblasti těla: obě paže, levá kubitální jamka,

obě stehna, levá zadní část axillární, levý bok, pravá hýždě a levé stehno, pravá popliteální jamka, subgluteálně vpravo a levé stehno zevnitř.

**Kazuistika č. 4**, tedy poslední z roku 2017, zpracovává informace o pacientovi s onemocněním mycosis fungoides ve stádiu IV.A. Tento pacient zahájil svou léčbu v listopadu 2017 pro své onemocnění, které bylo nejnápadnější v oblasti hlavy, hrudníku, předloktí a rukou. Při ozařování rotační technikou TSEI byla celková dávka 30 Gy. V referenčním bodě byla opět dávka dostačující. V průměru činila 2,03 Gy. Na základě výsledků měřených dávek termoluminiscenčními dozimetry lékař určil oblasti pro patch treatment elektronovým svazkem. Jednalo se o temeno, obě strany krku, axilly, plosky nohou, perineum a horní vnitřní plochy stehen.

Poslední **kazuistika (č. 5)**, je ta, u které jsem měla možnost nastavovat pacientku a účastnit se měření pomocí TLD. Jednalo se o pacientku s onemocněním mycosis fungoides ve stádiu II.B. Největší infiltráty měla v oblasti hrudníku, předloktí a kraniálních částech dolních končetin. Ozařování rotační technikou TSEI podstoupila v únoru a březnu tohoto roku. Celková dávka dosahovala 30 Gy. V referenčním bodě pacientka obdržela uspokojující dávku 1,96 Gy. Pode vyhodnocených měření z TLD se lékař rozhodl pro patch treatment elektronovým svazkem v oblasti temena, obou stran krku, submammární oblasti, perinea, plosek nohou a obou axil. Po skončení elektronové terapie pacientka podstoupila ještě boost rentgenovým svazkem na infiltráty na hrudníku, hřbetu pravé ruka a na pravém předloktí.

Z těchto kazuistik lze odvodit, že technika TSEI je pro každého pacienta velmi individuální. Záleží na stádiu nemoci, jejím rozvoji a lokálním projevu. Obecně lze však podotknout, že je snaha, aby pacienti byli ozařováni rotační technikou do dávky určené lékařem. Následně pacienti podstupují patch treatment či boosty, a to podle individuálních lokálních projevů.

## 8 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce na téma „Problematika stanovení dávek při celotělovém ozařování kůže elektronovým svazkem v Nemocnici České Budějovice“ bylo popsat problematiku celotělového ozařování elektronovým svazkem. Dále stanovení dávky pomocí termoluminiscenčních dozimetrů a jejich experimentální vyhodnocení u ozařování pacientů s onemocněním mycosis fungoides metodou TSEI.

Z přibližně deseti pacientů, kteří byli ozařováni na onkologickém oddělení Nemocnice České Budějovice, a.s. v roce 2017, jsem pro svou výslednou praktickou část vybrala 4 pacienty. Rovněž jsem do výsledků zahrнула experimentální měření, kterého jsem se sama účastnila. Z těchto dat a měření jsem zpracovala pět kazuistik.

Důvodem tak malého počtu pacientů je zaprvé náročná metoda tohoto ozařování. Pokud by radioterapeutické oddělení nabralo více než dva pacienty, kteří by měli začínat ve stejný den s rotační technikou TSEI, znamenalo by to velký organizační i technický nápor na oddělení. Při příjmu pacienta musí být přítomen lékař, je třeba domluvit týdenní hospitalizaci a termíny, v kterých bude pacient ozařován. Dále příprava TLD před měřením zabere radiologickým fyzikům minimálně 3 týdny, neboť je nezbytné změřit citlivosti sad, udělat kalibraci dozimetrů atd. Pokud je vše nachystáno, může se dostavit pacient. Ovšem v tuto chvíli nastává další příprava. Pacient musí být před každým ozařováním vyfocen. Tato obrazová dokumentace slouží lékaři k rozhodnutí o následující léčbě. Dále lékař pacientovi zavádí stínící čočky, radiologický fyzik provede referenční měření, a nakonec nalepí sady TLD na pacienta v pořadí, které si musí zapsat, aby nedošlo k záměně dozimetrů. Teprve po těchto všech výkonech může nastat samotné rotační či statické ozařování. Celý tento proces může trvat okolo hodiny. Pokud se jedná o boosty a patch treatment, je ozařování možná ještě náročnější. Lze ozařovat jen 5 nebo 6 elektronovými poli za den (na každého pacienta) a každé takovéto pole se musí nastavovat zvlášť. To znamená, že technici musejí pro každé pole vyrobit speciální rámeček a následně

radiologičtí asistenti podle simulátoru nastavit pacienta někdy do velmi neobvyklých a složitých poloh. Toto dozařování může zabrat snadno více než hodinu. Při ozařování technikou TSEI je třeba, aby byl k dispozici lékař, tým techniků, radiologický fyzik a radiologičtí asistenti. Proto pokud by na oddělení byli ve stejný termín ozařováni více než dva pacienti za den, byl by to neuvěřitelný nápor na toto oddělení. Zkoordinování této techniky s běžným provozem radioterapeutického oddělení je tedy velmi náročná. Nejspíš i právě proto je onkologické oddělení v Českých Budějovicích posledním pracovištěm, kde se technikou TSEI zabývají.

Druhé úskalí, proč pacientů s mycosis fungoides ozařovaných technikou TSEI je tak málo, pramení z nedostatečného povědomí o této technice. Ačkoli např. MUDr. Miluše Dolečková, Ph.D. techniku celotělového ozařování elektronovým svazkem v ČR velmi propaguje, nevědomost odborné veřejnosti není stále zanedbatelná. A tak se stává, že místo toho, aby pacienti s časnými stádii této nemoci profitovali z léčby pomocí TSEI, dostávají se k radioterapii příliš pozdě a často i ve velmi špatném stavu. Otázkou proto zůstává, zda nepříliš častá volba techniky TSEI pro léčbu pacientů s onemocněním mycosis fungoides pramení z nedostatečného povědomí, či radiofobii některých lékařů a pacientů.

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

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

**DOLEČKOVÁ, Miluše. 2005.** Postavení TSEI (total skin electron irradiation) u mycosis fungoides ve světě a v ČR. *Linkos*. [Online] 2005.

Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/postaveni-tsei-total-skin-electron-irradiation-u-mycosis-fungoides-ve-svete-a-v/>.

**DOLEČKOVÁ, Miluše. 2007a.** Celotělové ozáření kůže elektronovým svazkem (TSEI) u mycosis fungoides. *Linkos*. [Online] 2007a.

Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/celotelove-ozareni-kuze-elektronovym-svazkem-tsei-u-mycosis-fungoides/>.

**DOLEČKOVÁ, Miluše. 2007b.** Postavení TSEI v léčbě mycosis fungoides - současná problematika a léčebné výsledky. *Linkos*. [Online] 2007b.

Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/postaveni-tsei-v-lecbe-mycosis-fungoides-soucasna-problematika-a-lecebne-vysledk/>.

**DOLEČKOVÁ, Miluše. 2009.** Význam TSEI (total skin electron irradiation) v léčbě kožních T-cell lymfomů. *Linkos*. [Online] 2009.

Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/vyznam-tsei-total-skin-electron-irradiation-v-lecbe-koznich-t-cell-lymfomu/>.



**DOLEČKOVÁ, Miluše. 2013.** Role radioterapie u mycosis fungoides. *Linkos*. [Online] 2013. Dostupné z: <https://www.linkos.cz/lekar-a-multidisciplinari-tym/kongresy/po-kongresu/databaze-tuzemskych-onkologickych-konferencnich-abstrakt/role-radioterapie-u-mycosis-fungoides/>.

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

**JURGA, Ľudovít. 2000.** *Onkológia a rádioterapie*. Bratislava : SAP - Slovak Academic Press, 2000. ISBN 80-88908-71-X.

**MUSÍLEK, Ladislav, ŠEDA, Josef a TROUSIL, Jaroslav. 1992.** *Dozimetrie ionizujícího záření*. Praha : ČVUT v Praze, 1992. ISBN 80-01-00812-6.

**SILVA, Marcia Dutra R. 2015.** Ionizing Radiation Detectors. NENOI, Mitsuru, ed. Evolution of Ionizing Radiation Research [Online]. InTech, 2015, 17. 09. 2015 [Citace: 15. 04 2018]. DOI: 10.5772/60914.

Dostupné z: <https://www.intechopen.com/books/evolution-of-ionizing-radiation-research/ionizing-radiation-detectors>

**ŠLAMPA, Pavel a PETERA , Jiří. 2007.** *Radiační onkologie*. Praha : Galén, 2007. ISBN 978-80-7262-469-0.

**ŠLAMPA, Pavel. 2007.** *Radiační onkologie v praxi. 2. aktual. vyd.* Brno : Masarykův onkologický ústav, 2007. ISBN 978-80-86793-08-5.

**ULLMANN, Vojtěch. a.** Jaderná a radiační fyzika. *AstroNuklFyzika*. [Online] a. [Citace: 01. 03 2018.]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.htm>.

**ULLMANN, Vojtěch. b.** Aplikace ionizujícího záření. *AstroNuklFyzika*. [Online] b. [Citace: 15. 03 2018.]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/JadRadMetody.htm>.

**ULLMANN, Vojtěch. c.** Detekce a spektrometrie ionizujícího záření. *Astronuklfyzika*. [Online] c. [Citace: 03. 04 2018.].

Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>.

**www. 2016a.** Dose Distribution and Scatter Analysis. *RadiologyKey*. [Online] 2016a. [Citace: 09. 04 2018.]. Dostupné z: <https://radiologykey.com/dose-distribution-and-scatter-analysis-2/>.

**www. 2016b.** Electron Beam Therapy. *RadiologyKey.com*. [Online] 2016b. [Citace: 16. 03 2018.]. Dostupné z: <https://radiologykey.com/electron-beam-therapy/#R1-14>.

**www. 2016c.** Proton Beam Therapy. *Radiologykey*. [Online] 2016c. [Citace: 17. 03 2018.] Dostupné z: [www.radiologykey.com](http://www.radiologykey.com).

**www. 2018a.** Applications of Ions. *DREEBIT. Ion Beam Technologies*. [Online] 2018a. [Citace: 14. 04 2018.]. Dostupné z: <http://www.dreebit-ibt.com/applications-of-ion-beams.html>.

**www. 2018b.** Proton Therapy and Cancer Treatment Terms and Definitions. *Floridaproton.org*. [Online] 2018b. [Citace: 15. 04 2018.] Dostupné z: <https://www.floridaproton.org/what-is-proton-therapy/terms>.

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Cílové objemy podle ICRU 50 Report.....	11
Obrázek 2 Distribuce hloubkové dávky pro různé svazky fotonového záření (www, 2016a).....	14
Obrázek 3 Vzdálenost zdroj-kůže (SSD, Source to Skin Distance).....	15
Obrázek 4 Braggova křivka – rozložení hloubkové dávky u protonového svazku (www, 2018b).....	17
Obrázek 5 Křivka hloubkových dávek elektronů různých energií (www, 2016b) ..	21
Obrázek 6 Křivky hloubkových dávek u různých typů záření (www, 2018a).....	22
Obrázek 7 Procentuální hloubková distribuce dávky u TSEI – statická technika s a bez plexi desky (Dolečková, 2007b).....	31
Obrázek 8 Točna zepředu (autor).....	32
Obrázek 9 Tři polohy šlapek (autor).....	32
Obrázek 10 Pacient na točně v poloze „baletky“ (Dolečková, 2007a) .....	32
Obrázek 11 Stínící čočky (autor).....	33
Obrázek 12 Zavádění očního stínění (Dolečková, 2007a) .....	33
Obrázek 13 Schematické zobrazení „černé díry“ (autor).....	34
Obrázek 15 Stínící maska (autor) .....	35
Obrázek 14 Brýle pro stínění očí (autor) .....	35
Obrázek 16 Přejechy při termoluminiscenci .....	39
Obrázek 17 Funkce vyhodnocovacího zařízení pro TLD (Musílek, a další, 1992) ...	40
Obrázek 18 Očíslované TLD a vložené do sáčků (OO NČB).....	41
Obrázek 19 Sada TLD umístěných na desky a připravených k měření (OO NČB) .	42
Obrázek 20 Botičky na stínění nohou (autor).....	44
Obrázek 21 Rukavičky na stínění rukou (autor) .....	44

## 11 SEZNAMU POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 Ozařovací cyklus pacientky č. 1.....	49
Tabulka 2 Měření černé díry u pacientky č. 1.....	50
Tabulka 3 Měření oblastí zájmu u pacientky č. 1.....	51
Tabulka 4 Měření infiltrátů a tumorů u pacientky č. 1.....	52
Tabulka 5 Ozařovací cyklus pacienta č. 2.....	53
Tabulka 6 Měření černé díry u pacienta č. 2.....	54
Tabulka 7 Měření oblastí zájmu u pacienta č. 2.....	55
Tabulka 8 Ozařovací cyklus pacientky č. 3.....	56
Tabulka 9 Měření černé díry u pacientky č. 3.....	57
Tabulka 10 Měření oblastí zájmu u pacientky č. 3.....	58
Tabulka 11 Ozařovací cyklus pacienta č. 4.....	59
Tabulka 12 Měření černé díry u pacienta č. 4.....	60
Tabulka 13 První měření oblastí zájmů u pacienta č. 4.....	61
Tabulka 14 Druhé měření oblastí zájmu u pacienta č. 4.....	61
Tabulka 15 Ozařovací cyklus pacientky č. 5.....	63
Tabulka 16 Měření černé díry u pacientky č. 5.....	64
Tabulka 17 První měření oblastí zájmu u pacientky č. 5.....	65
Tabulka 18 Druhé měření oblastí zájmu u pacientky č. 5.....	65