

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Zdravotně sociální fakulta

Katedra radiologie a toxikologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Obor: Radiologický asistent

Téma: Technické a fyzikální aspekty techniky TSEI (Total Skin Electron Irradiation)
při léčbě mycosis fungoides

Autor: Eva Šimonová

Vedoucí práce: Ing. Alena Studynková

Datum odevzdání: 4. 5. 2009

Abstract: Technical and Physical Aspects of TSEI (Total Skin Electron Irradiation) in Mycosis Fungoides Treatment

Key words: *Mycosis fungoides, TSEI (Total Skin Electron Irradiation), in vivo dosimetry, TLD (Thermoluminescent Dosimetry)*

Mycosis fungoides (MF), together with Sézary syndrom, belong to the main representatives of cutaneous T-cell lymphoma. Signs of malignity are demonstrated or localized predominantly on the skin.

This disease is highly radiosensitive; radiotherapy is therefore an important part of therapeutic strategy.

Radiotherapy for MF is performed using TSEI (Total Skin Electron Irradiation) technique. TSEI aims to distribute the prescribed dose evenly on the whole skin surface into specified depth.

Two basic methods of irradiation can be used for TSEI – stationary or rotational technique.

An in vivo dosimetry with the use of TLD (Thermoluminescent Dosimetry) is performed in each patient during TSEI for the following reasons:

- determining the dose at the reference point and making a correction on number of monitoring units, if necessary
- determining the dose to underdosed areas and to higher dose areas as a base for clinical decision of patch treatment or shielding
- determining the dose in areas with residual infiltrates or tumours, where the initial dose should be increased (boost treatments)

The goal of this work was to describe technical and physical conditions for radiation therapy in patients with mycosis fungoides using rotational and stationary TSEI technique and to record dose distribution in patients treated in Oncology Department of Nemocnice České Budějovice a. s.

The results of in vivo dosimetry show that dose distribution on skin surface is not entirely homogenous in all areas, which means that in vivo dosimetry significantly contributes to the decision making regarding the application of patch or boost treatments.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Technické a fyzikální aspekty techniky TSEI (Total Skin Electron Irradiation) při léčbě mycosis fungoides vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích 4. 5. 2009

.....

podpis studenta

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala své vedoucí práce Ing. Aleně Studynkové za odborný dohled, věnovaný čas a pomoc při zpracovávání práce.

Dále bych ráda poděkovala Mgr. Evě Bílkové a Ing. Janu Pírglovi za spolupráci, věnovaný čas a pomoc při konečné úpravě práce, a MUDr. Miluši Dolečkové, Ph.D. za odborné rady.

V neposlední řadě chci poděkovat své rodině za trpělivost, toleranci a podporu.

OBSAH

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Úvod..... | 6 |
| 1. Současný stav..... | 7 |
| 1. 1 Klinický obraz, klasifikace a diagnostika mycosis fungoides..... | 7 |
| 1. 2 Léčba MF | 8 |
| 1. 3 Radioterapie MF..... | 9 |
| 1. 3. 1 Statická technika TSEI..... | 10 |
| 1. 3. 1. 1 Technika šesti polí..... | 11 |
| 1. 3. 1. 2 Technika dvou polí používaná na ONO České Budějovice..... | 11 |
| 1. 3. 2 Rotační technika TSEI | 13 |
| 1. 3. 2. 1 Rotační technika TSEI na ONO České Budějovice..... | 13 |
| 1. 4 Termoluminiscenční (TL) dozimetrie..... | 17 |
| 1. 4. 1 Přístroje pro vyhodnocování TL dozimetrů..... | 17 |
| 1. 4. 2 Vlastnosti TL materiálů a dozimetrů..... | 21 |
| 2. Cíl práce a hypotézy..... | 22 |
| 3. Metodika..... | 23 |
| 3. 1 Stanovení dávky | 23 |
| 3. 2 Vlastní in vivo dozimetrie..... | 27 |
| 4. Výsledky..... | 31 |
| 5. Diskuze..... | 38 |
| 6. Závěr..... | 41 |
| 7. Klíčová slova..... | 42 |
| 8. Seznam použitých zdrojů..... | 43 |
| 9. Přílohy..... | 46 |

ÚVOD

Mycosis fungoides (MF) se řadí mezi nízce agresivní a nízce maligní T- lymfomy. Etiologie MF není známá, uvažuje se o vlivu životního prostředí, virech nebo genetických faktorech.

Toto onemocnění je vysoce radiosenzitivní, léčba zářením je proto důležitou součástí léčebné strategie.⁽¹⁾

K radioterapii MF se používá technika celotělového ozařování kůže elektronovým svazkem - TSEI (Total Skin Elektron Irradiation). Tato technika byla poprvé popsána v roce 1952.⁽¹⁵⁾

Cílem TSEI je dodat stanovenou dávku rovnoměrně celému povrchu kůže do specifikované hloubky. Při snaze dosáhnout tohoto cíle se však objevují značné technické a dozimetrické obtíže. Ty lze hodnotit jednak z hlediska pacienta – různě silné infiltráty mycosis fungoides, anatomické nepravidelnosti lidského těla a různá tloušťka kůže na různých částech těla, tak z hlediska ozařovacího přístroje – vysoký dávkový příkon, velká pole, velká vzdálenost pacienta od zdroje záření.

Snahou radioterapie tedy je co nejhomogennější ozáření kůže s minimálními následky pro pacienta.

1. SOUČASNÝ STAV

1. 1 Klinický obraz, klasifikace a diagnostika mycosis fungoides

Mycosis fungoides (MF) patří, spolu se Sézaryho syndromem, mezi hlavní zástupce kožních T - lymfomů.

Kožní T - lymfomy představují maligní expanzi klonů T - lymfocytů. Projevy malignity vznikají nebo jsou lokalizovány převážně na kůži. Postižení kůže obvykle prochází třemi klinickými fázemi:

- I. patch (premykotická fáze, ekzematooidní stadium),
- II. plaky (mykotická fáze, infiltrativní stadium),
- III. tumory (fungoidní fáze, tumorózní stadium).

U MF dochází většinou k progresi od jednoho stadia k druhému, lze však zachytit i projevy několika stadií simultánně. ⁽¹⁷⁾

U premykotického stadia onemocnění se na kůži objevují první projevy nespecifického charakteru, které imitují psoriázu (lupénku), povrchní mykózy, ekzémy nebo jiné dermatózy. Charakteristickým znakem změn je jejich prchavost, spontánní hojení bez následků, případně opětovný výskyt na stejném místě. ⁽¹⁷⁾ Onemocnění má zpočátku velmi nenápadný průběh, proto je zachycováno většinou až v pozdějších stadiích.

V dalších fázích onemocnění se obraz na kůži mění. Ke spontánní regresii dochází jen velmi zřídka. V kožních projevech dochází ke zvýraznění epidermotropismu (průnik buněk lymfomu do epidermis), plaky se postupně šíří a splývají. Někdy může jejich atypický vzhled připomínat psoriázu.

Pokud má onemocnění MF obvyklý průběh, přechází stadium plak ve stadium tumorózní. Tumory vznikají v místech předchozích změn nebo se objevují v předtím nepostižené kůži v důsledku šíření maligních T- buněčných klonů. Tumory mohou být i sekundárně infiltrovány, pak se kromě pruritu (svědění) objevuje i bolestivá

symptomatologie. U větších ložisek se může objevit sekrece a krvácení.⁽¹⁾ Postupně pak dochází k rozpadu tumorů.

U některých nemocných dochází k infiltraci regionálních lymfatických uzlin a vnitřních orgánů. Nejčastěji jde o asymptomatické postižení plic, jater, sleziny, osteolytické změny až fraktury kostí, makro či mikroskopické změny na myokardu, změny v nervovém systému, indurace (zatvrdnutí tkáně zmnožením vaziva) až exulcelace (zvrhodovatění) v dutině ústní a horním respiračním traktu i v gastrointestinálním traktu.⁽¹⁷⁾ Dále také vzrůstá riziko vzniku dalších malignit, především plic, prostaty a močového měchýře.

Klasifikace MF odráží průběh choroby a je základem pro další terapii. Od roku 1978 je standardní klasifikací rozsahu onemocnění pro MF TNMB (Tumor, Node, Metastasi, Blood).⁽¹⁾ Přičemž T (1-4) značí velikost kožního postižení, N (0-3) stav periferních lymfatických uzlin, M (0-1) stav vnitřních orgánů a vzdálené projevy nemoci a B (0-1) pak postižení krve.

Základem pro stanovení diagnózy MF je biopsie kůže s histologickým vyšetřením. V periferní krvi mohou být zjištěny atypické lymfocyty - Sézaryho buňky.

Důležitou součástí stagingu jsou klinická vyšetření, kdy se zjišťuje vývoj kožního onemocnění, hodnotí se kožní léze a postižení kožního povrchu v procentech. Dále pak palpační vyšetření a zhodnocení lymfatických uzlin, vyšetření jater a sleziny.

K určení stadia onemocnění je nutné doplnit radiodiagnostická vyšetření (RTG snímek srdce a plic, CT břicha a pánve, event. izotopová vyšetření) a laboratorní vyšetření (krevní obraz, biochemická vyšetření krve, vyšetření krve na přítomnost a kvantifikaci Sézaryho buněk).⁽¹⁾

1.2 Léčba MF

Při volbě léčebného postupu je zcela zásadní klinické stadium nemoci. Pokud je onemocnění omezené svým rozsahem pouze na kůži, bez histologicky zřejmé infiltrace uzlin, je základem terapie lokální léčba, případně kombinovaná s léčbou celkovou. Při

histologicky prokázaném postižení lymfatických uzlin nebo vnitřních orgánů je hlavní léčba systémová, doplněná případně o lokální terapii.

Lokální terapie spočívá především v aplikaci kortikoidů se silnými nebo velmi silnými účinky, jejichž průnik zvyšuje okluzivní folie. V lokální léčbě se dále používají cytostatika ve formě mastí či roztoků.

Rozšířeným způsobem lokální léčby je fototerapie a fotochemoterapie. Metoda PUVA (psoralen a ultrafialové světlo A), aplikovaná na kůži celého těla, je pokládána za standard u zcela povrchových forem onemocnění. Principem je využití fotosenzitizujících účinků psoralenů. Odpověď na tuto léčbu se udává až v 95 %, kompletní remise v 50- 92 %.⁽¹⁾

Variantou PUVA léčby je fotoféza- extrakorporální fotochemoterapie. Princip je stejný jako u PUVA, buňky jsou však po separaci a přidání psoralenu ozářeny mimo tělo a pak navraceny do oběhu. Fotoféza se využívá především u Sézaryho syndromu.

Velmi účinnou lokální léčbou MF je radioterapie.

Při generalizované formě MF se provádí systémová léčba – chemoterapie. Odpověď na léčbu je v 50 - 100 %, ale trvání odpovědi je krátké, většinou méně než 6 měsíců.⁽¹⁾ Systémová léčba kombinovaná s lokálními způsoby terapie přináší zlepšení výsledků léčby.

1.3 Radioterapie MF

Jak již bylo zmíněno, MF je onemocnění vysoce radiosenzitivní, proto je radioterapie důležitou součástí léčby.

Ojedinelé drobné kožní léze lze léčit RTG terapií nebo malými elektronovými poli elektronového záření nízké energie. Dávka záření se volí podle velikosti ozařované plochy a podle efektu během ozařování (30- 40 Gy / 5krát 2,0 Gy / týden).⁽¹⁾

Vzhledem k charakteru onemocnění a obvykle velkému rozsahu kožního postižení je většinou indikováno velkoplošné ozařování elektronovými svazky (4 – 6 MeV), tedy

celotělové ozáření kůže TSEI. U stadia I jde vždy o léčbu kurativní, u stadií II – IV se jedná vždy o léčbu paliativní. Odpověď na léčbu touto speciální technikou je v 90 – 100 % a kompletní remise je dosaženo v 52 – 92 %. ⁽¹⁾

Optimální frakcionační schéma a dávka záření pro frakci nejsou přesně určeny, nejčastěji se využívá klasická frakcionace (5krát 2,0 Gy / týden) do celkové dávky 30 – 40 Gy.

Pro TSEI lze použít dva základní způsoby ozáření – statickou nebo rotační techniku. Obě tyto varianty lze aplikovat v mnoha modifikacích. Lišit se mohou počtem polí, polohou pacienta při ozařování nebo vzdáleností SSD (skin source distance, neboli vzdálenost ohnisko - kůže), způsobem monitorování dávky na kůži, dávkou i frakcionačním režimem.

Optimální vzdálenost pacienta od zdroje záření je v obou případech mezi 3 a 8 metry.⁽¹²⁾ Pokud je tato vzdálenost menší, zhoršuje se značně homogenita dávky a zvyšuje se kontaminace fotony. Při vzdálenosti větší než 8 m, se prodlužuje doba potřebná k dodání frakce záření.

1. 3. 1 Statická technika TSEI

Při statickém TSEI se ozařuje ze 2 - 6 protilehlých polí.

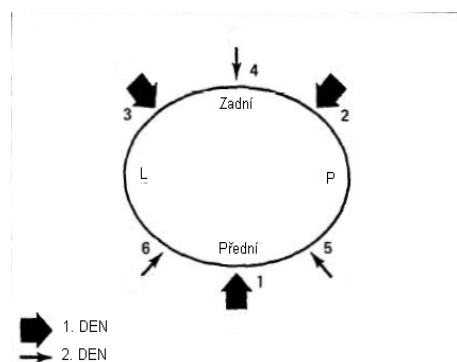
S výhodou se zde použije plexi deska ke zmenšení build – up efektu. U záření s energií > 1 MeV mají sekundární elektrony převážně směr primárního záření. Tím, jak prochází primární záření jednotlivými vrstvami tkáně pod ozařovaným povrchem, přibývá sekundárních elektronů a narůstá ionizace, tedy i množství předané energie. V určitém bodě dojde k dosažení maxima a dále do hloubky záření ubývá díky absorpci a divergenci svazku. Tato oblast narůstání dávky pod povrchem se nazývá zóna narůstání elektronové rovnováhy - build up efekt.

1. 3. 1. 1 Technika šesti polí

Při použití ozařovací techniky 6 polí se jedná většinou o modifikace techniky z doporučení IAEA (International Atomic Energy Agency) číslo 23 . Zde jsou uvedeny dvě techniky skládající 6 polí (úpravy tzv. Stanfordské techniky):

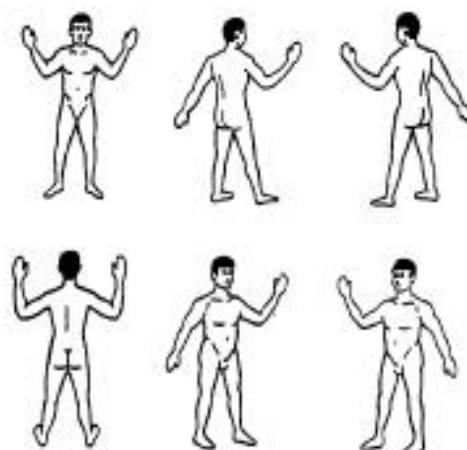
- šest jednoduchých polí - úhel otočení gantry je v tomto případě 270° , kolimátor je stočen na 45° (při dostatečném SSD, které závisí na velikosti ozařovací místnosti, může být kolimátor i na 0°). Používá se zde filtr k homogenizaci dávkové distribuce a plexi k omezení kontaminace svazku (např. 1 mm Al + 12 mm plexi).
- šest složených polí – každé z šesti polí je rozděleno na dvě, přičemž úhel odklonu gantry od 270° je doporučován $+ 20^\circ$ a $- 20^\circ$. Kolimátor je na 0° .

Obr. 1: Schéma techniky 6 polí



Zdroj: Medical Dosimetry, Vol. 28, No. 1, 2003

Obr. 2: Pozice pacienta při technice 6 polí



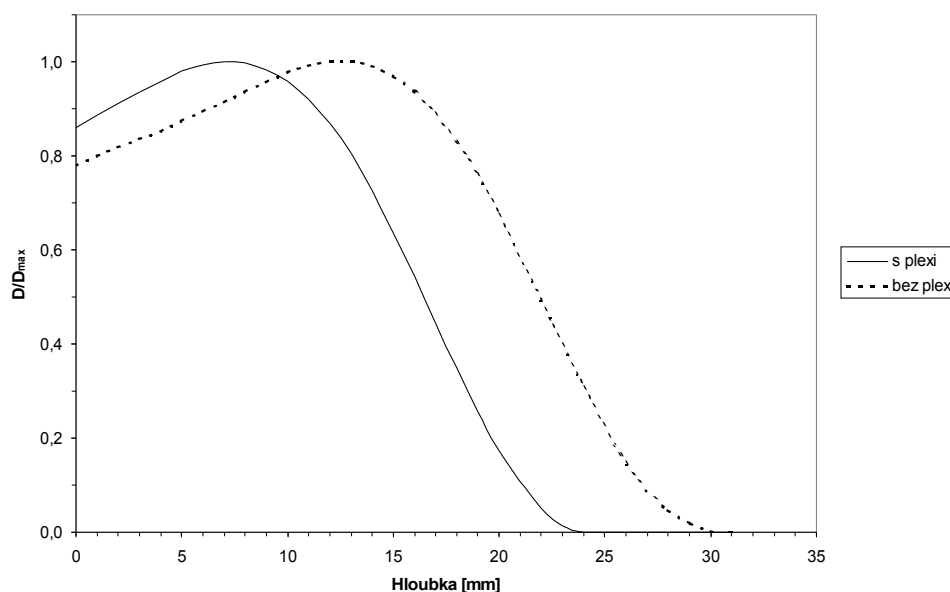
Zdroj: Medical Dosimetry, Vol. 28, No. 1, 2003

1. 3. 1. 2 Technika dvou polí používaná na ONO České Budějovice

Při této technice je pacient ozařován zepředu a zezadu (čelem a zády ke zdroji) z SSD 355 cm jedním polem s kolimátorem stočeným o 45° a úhlem gantry 270° , nebo složením dvou polí s kolimátorem 0° . Úhel gantry je $+ 17^\circ$ a $- 17^\circ$ od 270° . Volba

techniky závisí na výšce pacienta, technika jednoho pole zepředu a zezadu vyžaduje malou postavu. Pacient stojí na točně (viz. obr. 7 a 8 Přílohy) používané k rotačnímu TSEI (kap 1. 3. 2) a přidržuje se madel v úrovni boků. Ve vzdálenosti 20 cm před pacientem je zavěšena 5 mm silná plexi deska ke snížení build-up efektu.

Graf 1: Hloubkové křivky při statické technice ozařování – s použitím a bez použití plexi desky



Problémem u statické techniky složení předních a zadních polí je předávkování v oblasti laterálních okrajů trupu pacienta a u končetin laterálních i mediálních okrajů, kde vzniká poirradiační reakce charakteristického pruhovitého tvaru označovaná v literatuře jako „lampasy“. Předávkování v této oblasti je způsobeno sumací dávky z předních a zadních polí. Při d. l. d. 2 Gy může být na bocích dávka i 4 Gy, tedy dvojnásobek oproti předepsané dávce. Proto je tento způsob ozáření praktikován pouze u pacientů, kteří nejsou schopni absolvovat rotační techniku TSEI, většinou velmi staří pacienti. „Lampasy“ jsou ošetřovány jako klasická časná poirradiační reakce na kůži (většinou významný erytém), pozdní reakce - teleangiektazie (trvalé rozšíření kapilár viditelné na kůži) nevyžaduje ošetřování, jde o typ kosmetické reakce. Zároveň se také

většinou snižuje celková dávka ze 40 Gy event. až na 30 Gy s následným „patch treatment“ (záplatováním) poddávkováných oblastí. Z dosavadních praktických zkušeností vyplývá, že dávka 30 Gy je dostačující pro dobrou odpověď na léčbu.

1. 3. 2 Rotační technika TSEI

Rotační technika ozařování byla zavedena s cílem zlepšit rozložení dávky a odstranit build-up efekt. Provádí se za otáčivého pohybu pacienta a to jedním polem nebo složením dvou polí.

V České republice se v současné době rotační TSEI používá pouze na Onkologickém oddělení Nemocnice České Budějovice a. s. Je modifikací techniky vyvinuté na McGillově univerzitě v Montrealu.⁽¹⁰⁾

Na McGillově univerzitě se při tomto způsobu ozařování využívá jednoho pole z SSD 380 cm. Úhel otočení gantry je 270° a kolimátor je stočen na 45°. Na hlavici urychlovače je umístěn filtr vlastní výroby, který se skládá z několika vrstev. Mezi dvěma plastovými deskami z polymethylmetakrylátu (PMMA) o tloušťce 0,8 mm je umístěn olovený disk o průměru 220 mm a tloušťce 0,1 mm. Na střed tohoto disku je ještě připevněn hliníkový disk s průměrem 70 mm a tloušťkou 1,6 mm. Účelem tohoto filtru je homogenizovat dávkovou distribuci.

1. 3. 2. 1 Rotační technika TSEI na ONO České Budějovice

K ozařování při TSEI se používá svazek elektronů lineárního urychlovače ve speciálním módu s vysokým dávkovým příkonem 888 MU/min - HDTSe (High Dose Rate Total Skin elektron) s nominální energií 6 MeV. V tomto módu je velikost pole 36 cm x 36 cm ve vzdálenosti 100 cm od zdroje.

Stabilita dávkového příkonu HDTSe ve vzdálenosti 355 cm od zdroje je kontrolována měsíčně v rámci zkoušek provozní stálosti. Měření se provádí pro

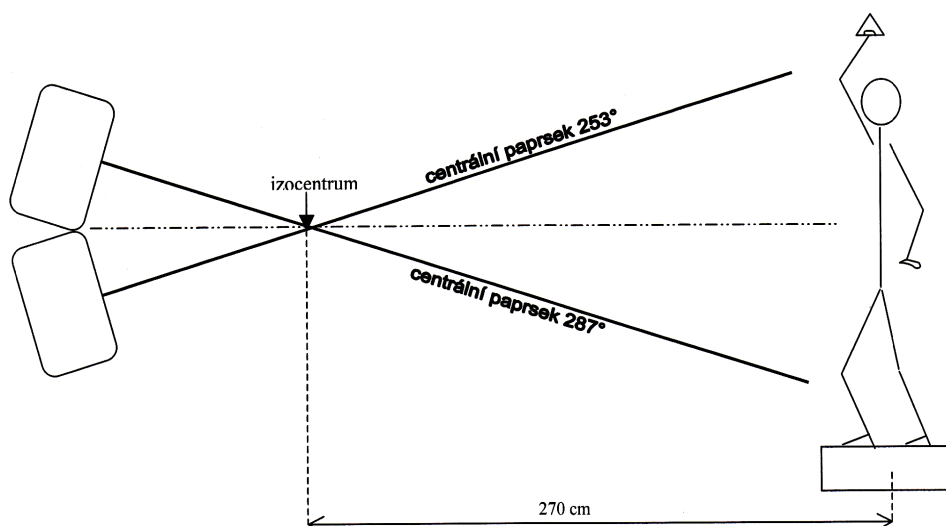
statickou techniku ozařování ve fantomu z vodě-ekvivalentního materiálu planparalelní ionizační komorou.

Pacient při ozařování stojí na speciální točně. Rychlost otáčení je přibližně 4,5 otáčky/ min (závisí na zatížení točny). Povrch točny je 21 cm nad podlahou, osa rotace točny je ve vzdálenosti 270 cm od izocentra. Při AP pacienta 30 cm je vzdálenost izocentrum- povrch těla 255 cm, SSD je tedy přibližně 355 cm.

Ve vzdálenosti 355 cm od zdroje záření je velikost světelného pole 128 cm x 128 cm, velikost radiačního pole je 158 cm.

Při ozařování pacienta se skládají dvě pole s ramenem urychlovače otočeným 17° nad a 17° pod horizontální polohu ramene, tedy úhel otočení gantry 253° a 287° .

Obr. 3: Schematický pohled na geometrii ozařování rotační techniky TSEI



Pacient stojí na točně v pozici "baletky" s jednou nohou nakročenou vpřed a protilehlou rukou se drží otočného úchyty nad hlavou. Pozice rukou a nohou se denně střídají, aby se minimalizovalo samostínění v problematických oblastech (axilly, pravá a levá strana krku). Na točně jsou vyznačeny barevně odlišné dvojí pozice nohou (viz obr. 8 Přílohy) a je on-line spojena s urychlovačem - začíná se točit se spuštěním svazku a zastavuje se při přerušení záření. Točna je také vybavena úhlovou stupnicí a denně se

zaznamenává konečná poloha točny vzhledem k bočnímu vertikálnímu laserovému zaměřovači. Do této polohy je pak nastavena při následujícím ozáření u dané pozice nohou a rukou.

Při ozařování jsou oční čočky chráněny stíněním zasunutým pod oční víčka. Zpočátku byly používány olověné plátky obalené sterilní pryží, nyní se používá komerčně vyráběné wolframové stínění pokryté 2 mm vrstvou PMMA (polymethylmetakrylát) k redukci rozptýleného záření (viz obr. 10 a 11 Přílohy).

U každého pacienta se v průběhu ozařování provádí individuální in vivo dozimetrie pomocí TLD (termoluminiscenční dozimetrie).

Podle výsledků in vivo dozimetrie a reakce na kůži jsou po dosažení určité dávky oblasti s vyšší dávkou (akra - ruce a nohy, střední část obličeje) vykryty speciálně tvarovaným olověným stíněním (viz obr. 9 Přílohy).

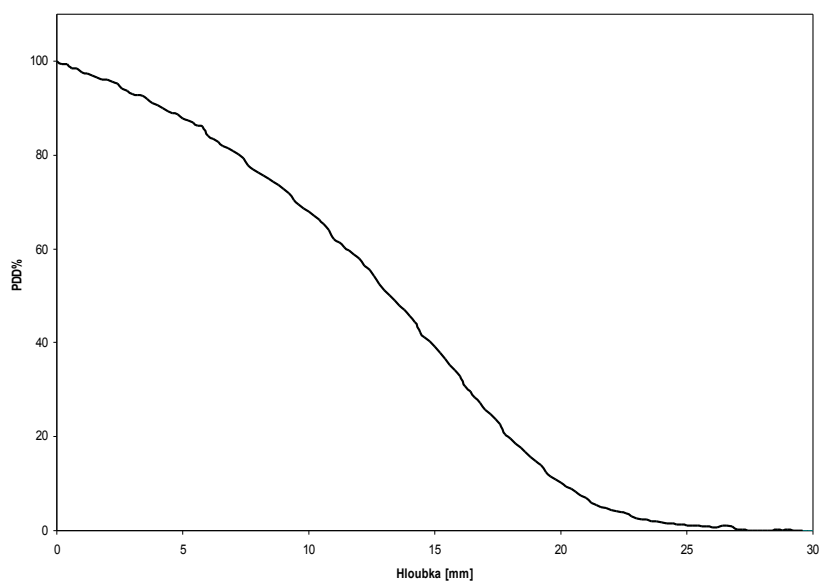
Ozáření je aplikováno 5x týdně s denní ložiskovou dávkou 2 Gy do celkové dávky 30- 40 Gy. Po skončení celotělového ozáření následuje doplnění dávky na oblasti kůže, kde dochází k samostínění - temeno, pravá a levá strana krku, pravá a levá axilla, perineum s vnitřní horní plochou stehen, plošky nohou, inframammární oblasti - tzv. „patch treatments“. V případě tumorů či reziduálních infiltrátů se navyšuje dávka v těchto oblastech - tzv. „boost treatments“. K tomu se používají speciálně tvarovaná elektronová pole s energií 6 MeV, příkon 200 - 300 MU/ min, s SSD 100 - 120 cm.

Dávka a počet frakcí na poddávkové oblasti se určí podle výsledků in vivo dozimetrie a kožní reakce.

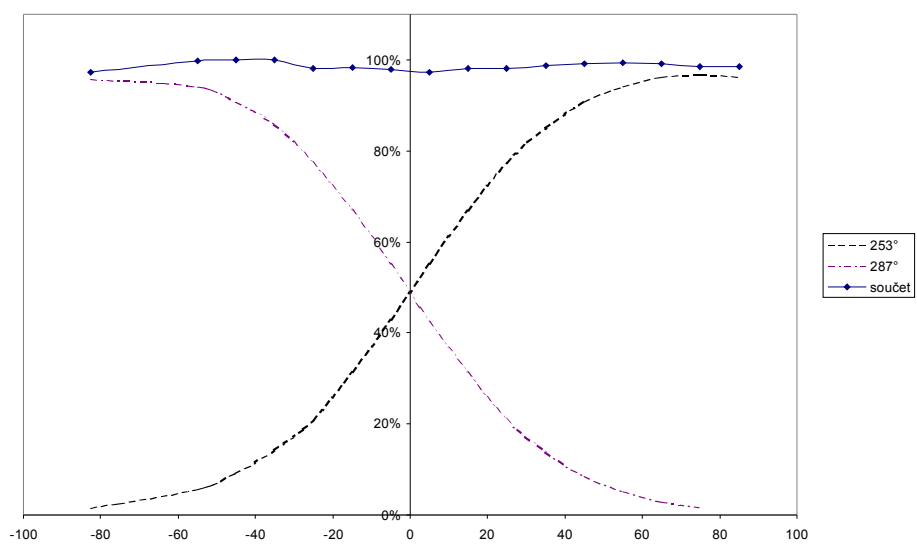
Vzhledem k charakteru onemocnění a častým recidivám je možné zopakovat ozařovací sérii, tzv. retreatment. Využívá se klasické frakcionační schéma - 2 Gy/ den / 5x týdně do celkové dávky 30 - 40 Gy. Odstup od předchozí série ozařování by měl být dostatečně velký (alespoň 1 rok), aby mohlo dojít k dostatečné regeneraci ozářené kůže. Navíc musí mezi jednotlivými sériemi radioterapie proběhnout jiný druh léčby.

Nově se nyní zavádí retreatment s frakciovací 2x 4 Gy nebo 1x 8 Gy každé 3 měsíce po dobu 18 měsíců, aby došlo k včasnému zachycení eventuální recidivy onemocnění.

Graf 2: Hloubková křivka při rotační technice TSEI na ONO Č. Budějovice



Graf 3: Vertikální profil pole HDTSe pro dvě složená pole na ONO Č. Budějovice



1. 4 Termoluminiscenční (TL) dozimetrie

Některé materiály mají tu vlastnost, že pokud jsou vystaveny ionizujícímu záření a následně zahřáty, emitují světlo. Tento jev je nazýván termoluminiscence. Při ozáření ionizujícím zářením dochází v těchto látkách ke vzniku párů elektron – díra a záchytu uvolněných elektronů v poruchách mřížky látky (elektronové pasti). Zde elektron zůstane tak dlouho, dokud nezíská dostatečnou energii k uvolnění z pasti. Velikost této energie závisí na hloubce elektronové pasti. V tomto případě je energie dodávána zvenčí prostřednictvím tepla. Při ohřevu roste kinetická energie tepelného pohybu elektronů a tedy i pravděpodobnost jejich uvolnění. Dochází k rekombinaci elektronů a děr a přebytečná energie je vyzářena v podobě viditelných nebo ultrafialových fotonů.

Počet zachycených elektronů je do určité míry úměrný energii ionizujícího záření, kterou absorbuje TL látka, proto vzniká měřitelný optický signál úměrný dávce záření.

Závislost světelného toku na teplotě TL materiálu vyjadřuje vyhřívací křivka. V TL materiálech existuje několik typů elektronových pastí. Každý typ pasti má svou závislost počtu uvolňovaných elektronů a zářivého toku na teplotě. Vyhřívací křivka je složitým proložením dílčích průběhů pro jednotlivé pasti. Křivky pro různé TL materiály se od sebe liší teplotou maxima i počtem těchto maxim. Plocha a výška každého maxima závisí na počtu elektronových pastí, které odpovídají danému maximu. Počet pastí závisí na počtu mřížkových defektů, na druhu a množství atomů nečistot a na dřívějším tepelném zpracování materiálu. Každá látka má ve své křivce jedno hlavní maximum, které se označuje jako dozimetrický pík.

1. 4. 1 Přístroje pro vyhodnocování TL dozimetrů

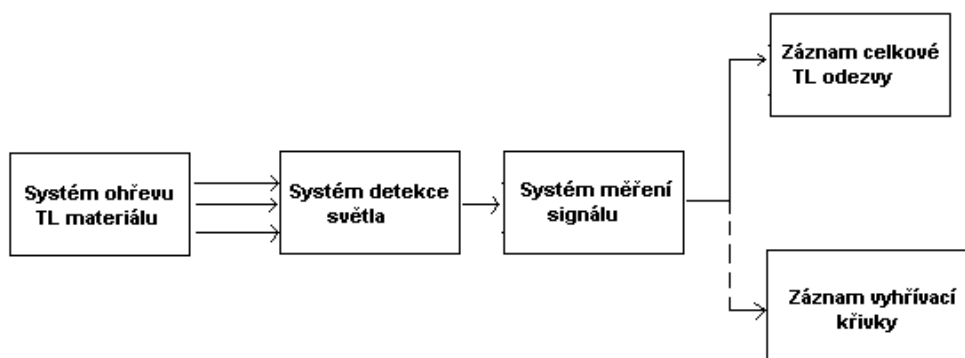
Termoluminiscence se uplatňuje v řadě aplikací, z čehož vyplývá i rozmanitost termoluminiscenčních vyhodnocovacích zařízení a požadavků na tato zařízení.

Pro rutinní dozimetrii se používají přístroje s vysokou rychlostí odečtu.

Dozimetr ozářený ionizujícím zářením je nutno zahřát a následně zachytit emitované světlo. Z toho také vyplývá podstata zařízení pro vyhodnocování TL dozimetrů. Základními funkcemi těchto přístrojů jsou:

- ohřev dozimetru
- sběr a detekce emitovaného světla
- změření, zobrazení a event. i záznam signálu

Obr. 4: Schéma základních funkcí TL vyhodnocovacího zařízení



Zdroj: MUSÍLEK, L., ŠEDA, J., TROUSIL J. Dozimetrie ionizujícího záření (Integrované metody)

Systém ohřevu v přístroji musí zajistit vlastní ohřev, jeho regulaci a ovládání a především reprodukovatelnost režimu.

Nejsložitější tepelné zpracování dozimetru se skládá ze tří fází: předohřev, vlastní ohřev a annealing.

Předohřev, kdy dochází k zahřátí dozimetru na teplotu kolem 100 °C, se aplikuje proto, aby došlo k vyprázdnění mělkých pastí, které vedou ke vzniku nízkoteplotních píků na křivce. V průběhu předohřevu se nezaznamenává výstupní signál.

Dalším krokem je ohřev dozimetru s odečtem signálu. Ohřev může být zajištěn několika způsoby. Nejčastěji je to kontakt TL materiálu s odporovým topným tělískem, které je ohříváno elektrickým proudem. Tento postup má však nevýhodu v často nedostatečném přestupu tepla mezi tělískem a dozimetrem. Navíc neradiačně indukované záření z topného tělesa a přítomnost kyslíku v komoře zvyšují pozadí.

Další způsob vyhřívání zajišťuje dokonalý tepelný kontakt nezávislý na tvaru dozimetru. V tomto případě je dozimetr ve vyhřívací komůrce obtékán proudem horkého inertního plynu, nejčastěji dusíku. Celková doba ohřevu je kratší a snižuje se i pozadí. Nelze však takto vyhodnocovat všechny typy dozimetrů (např. práškové) a může dojít i k zahřátí částí v blízkosti, hlavně fotonásobiče, což může ovlivňovat stabilitu měření.

Protože v řadě materiálů nedojde při ohřevu k úplnému vyprázdnění všech pastí, je zapotřebí další tepelné zpracování, tzv. annealing. Při něm se dozimetr se vyhřeje na teplotu vyšší než je maximální teplota odečtu. Annealing slouží k odstranění zbytkového signálu a obnovení původních dozimetrických vlastností.

Předohřev i annealing se mnohdy provádí mimo vyhodnocovací přístroj ve vhodných pískách, které mají nastavitelnou teplotou ohřevu.

Citlivost některých materiálů může být ovlivněna i rychlostí chladnutí. Proto i tento proces by měl být snadno reprodukovatelný (např. nechat dozimetr ve vyhodnocovacím přístroji, dokud nezchladne na pokojovou teplotu).

Důležitou součástí vyhodnocovacích přístrojů je fotonásobič, sloužící k převodu světelného signálu na signál elektrický, který lze snadno změřit. Citlivost fotokatody fotonásobiče musí být přizpůsobena spektru emitovaného světla z dozimetru. Dalším požadavkem na fotonásobič je nízký temný proud. Ten je způsoben termoemisí elektronů z fotokatody. K jeho potlačení je nutné fotonásobič chladit (např. dusíkem), čímž se i stabilizuje jeho režim.

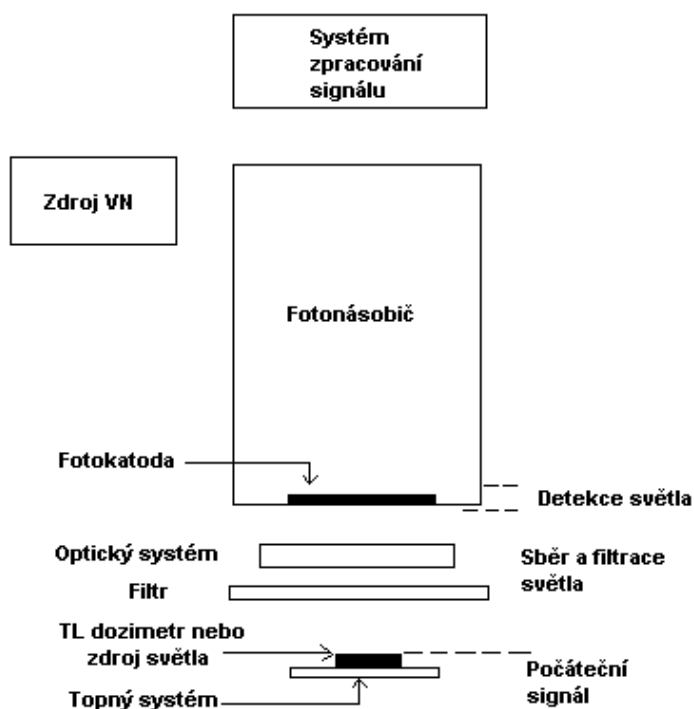
Před fotonásobič je umístěn optický systém, aby byl zajištěn přenos světelného signálu na fotokatodu a potlačen dopad nežádoucích složek pozadí (např. infračerveného záření). Tento systém se skládá z komory, kde je produkován TL signál,

optického filtru (k zamezení vedení tepla k fotonásobiči a již zmíněnému potlačení infračerveného záření) a světlovodu.

Výstupní signál z fotonásobiče může být zpracován několika způsoby. Lze měřit proud fotonásobiče převedený na napěťové impulsy. Je možné i zesílení proudu stejnosměrným zesilovačem a odezva se určí pomocí elektrometru. Další možností je počítání jednotlivých fotonů.

K zajištění reprodukovatelnosti měření je nutná pravidelná kontrola parametrů detekčních a vyhodnocovacích částí přístroje. K tomuto účelu slouží referenční světelné zdroje v kontrolních obvodech přístroje, které mohou upravovat citlivost systému. Navíc je třeba kontrolovat stabilitu parametrů i pomocí kalibračních dozimetrů, které jsou ozářeny za referenčních podmínek.

Obr. 5: Schéma detekce u TL vyhodnocovacího přístroje



Zdroj: MUSÍLEK, L., ŠEDA, J., TROUSIL J. Dozimetrie ionizujícího záření (Integrované metody)

1. 4. 2 Vlastnosti TL materiálů a dozimetrů

Základním požadavkem na TL materiály je tzv. linearita odezvy, tedy odezva úměrná dávce. Tato závislost by měla být lineární v dostatečně velkém rozsahu dávek. Při překročení prahové dávky daného TL materiálu se objevuje superlinearita- odezva je větší nebo sublinearita - odezva je menší. U těchto vyšších dávek se mění i citlivost detektoru, a to přináší problémy při opakovaném použití dozimetru a výsledky jsou zatíženy chybou. K obnovení původních vlastností dozimetru nemusí pak dojít ani po pečlivém annealingu. Je tedy nutné vybírat pro konkrétní měření vhodný dozimetr s patřičnou prahovou dávkou. Odezva dozimetru by také neměla být závislá na dávkovém příkonu.

Důležitým kritériem TL materiálu je jeho energetická závislost. Pro fotonové záření je to poměr energie absorbované v materiálu dozimetru a v referenčním materiálu (vzduch nebo měkká tkáň), při jejich stejném ozáření. Energetická závislost by měla být co nejmenší, čehož lze docílit vhodnou kombinací kompenzačních filtrů vložených před dozimetr.

Při hodnocení odezvy se bere v potaz i závislost citlivosti dozimetru na lineárním přenosu energie (LET) daných částic. Tato je výrazně menší pro částice s vysokým LET (částice α , neutrony a protony), které hustě ionizují a dojde brzy k naplnění všech pastí.

Neméně významnou vlastností TL dozimetru je jeho fading - tedy slábnutí intenzity signálu v čase, neboli pravděpodobnost uvolnění zachyceného elektronu z pasti. Velký fading mají tedy zjevně materiály s mělkými pastmi, u kterých dochází k vyprazdňování již při pokojové teplotě. Jedná se o tzv. tepelný fading a lze mu předejít předehřevem dozimetru. Změna odezvy dozimetru po jeho osvětlení se nazývá optický fading. Světlotěsným uzavřením dozimetru lze tomuto jevu předejít.

Mezi další vlastnosti TL dozimetrů patří reprodukovatelnost odezvy při opakovaném použití, jeho fyzikální a chemická stabilita a odolnost proti vzniku odezvy z jiných než radiačně vyvolaných efektů.

2. CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY

Cílem práce je popsat technické a fyzikální podmínky pro ozařování pacientů s mycosis fungoides technikou rotační a statické TSEI a zdokumentovat rozložení dávky u pacientů ozařovaných na ONO České Budějovice a. s.

Hypotézou je tvrzení, že pro kvalitní provedení léčby technikou TSEI je nezbytná in vivo dozimetrie.

3. METODIKA

U pacientů s mycosis fungoides, ozařovaných na Onkologickém oddělení Nemocnice České Budějovice a. s. technikou TSEI, jsem pod vedením vedoucí práce prováděla individuální in vivo dozimetrii a následné vyhodnocení TL dozimetrů. Pacienti byli ozařováni rotační nebo statickou technikou TSEI.

K měření jsem použila sady 50 kusů LiF (lithium-fluorid) TL dozimetrů čtvercového tvaru o rozměrech 3,2 mm x 3,2 mm x 0,9 mm vyráběné firmou SOLON TECHNOLOGIES, INC. a označované TLD 100 (viz. obr. 11 Přílohy).

LiF je nejrozšířenějším TL dozimetrickým materiálem. Existují tři varianty s různým izotopickým zastoupením ^6Li a ^7Li a s různou citlivostí na pomalé neutrony-TLD 100, TLD 600 (větší odezva na pomalé neutrony) a TLD 700 (nízká odezva na pomalé neutrony). TLD 100 obsahuje přírodní zastoupení 7,5 % ^6Li a 92,5 % ^7Li .

Hlavními klady LiF jsou jeho relativně malý fading (slábnutí signálu v čase), nízká energetická závislost a chemická stabilita.

Naopak jeho nevýhodou je složitá struktura záchytných center a z toho vyplývající složitý průběh vyhřívací křivky. Z tohoto důvodu je nutný náročný annealing.

Teplota hlavního maxima vyhřívací křivky je přibližně 200 °C, vlnová délka emitovaných fotonů leží v modré oblasti kolem 400 nm.

3.1 Stanovení dávky

Termoluminiscenční dozimetrie je relativní dozimetrický systém. Neznámé dávky jsou měřené srovnáváním dozimetrů ozářených neznámou dávkou se stejnými dozimetry ozářenými dávkou známou. Vyhodnocení dávky lze provést skupinovou nebo individuální kalibrací, kdy se skupina dozimetrů rozdělí na dozimetry kalibrační a dozimetry pro určení neznámé dávky. Kalibrační dozimetry pak slouží jednak pro určení citlivosti čtecího přístroje, jednak pro určení pozadí.

V tomto případě bylo použito metody individuální kalibrace, která se využívá právě v radioterapii, kdy je vyžadována vyšší přesnost měření. Měří se citlivost každého dozimetru relativně k průměrné citlivosti experimentální skupiny. Přitom se předpokládá, že celá skupina bude stejně tepelně zpracována, a že relativní citlivosti mezi dozimetry se zachovají po jednotlivých měřicích cyklech (ozáření, vyhodnocování, annealing).

Při individuální kalibraci musí být pečlivě dodržována identifikace jednotlivých dozimetrů. Změny citlivosti dozimetrů se rovněž mění s akumulovanou dávkou. Proto se pro zvýšení přesnosti doporučuje opakovat individuální kalibraci, jestliže dozimetry obdrží celkovou dávku přibližně 15 Gy. Při používání zdrojů záření s různými energiemi by měly být dozimetry kalibrovány pro každý jednotlivý zdroj zvlášť, protože odezvy dozimetrů závisí, jak již bylo zmíněno, i na lineárním přenosu energie.

Nejpřesnějších měření lze tedy dosáhnout tak, že se každý jednotlivý TL dozimetr kalibruje pro všechny používané radiační zdroje při všech používaných podmínkách (např. různé velikosti polí).

Před každým konkrétním in vivo měřením se stanoví faktory citlivosti jednotlivých TL dozimetrů pro konkrétní ozařovací podmínky. Všechny dozimetry se tedy v tomto případě ozáří svazkem elektronů lineárního urychlovače stejnou dávkou – 2 Gy v deskovém fantomu z vodě – ekvivalentního materiálu. Nastavení je následující:

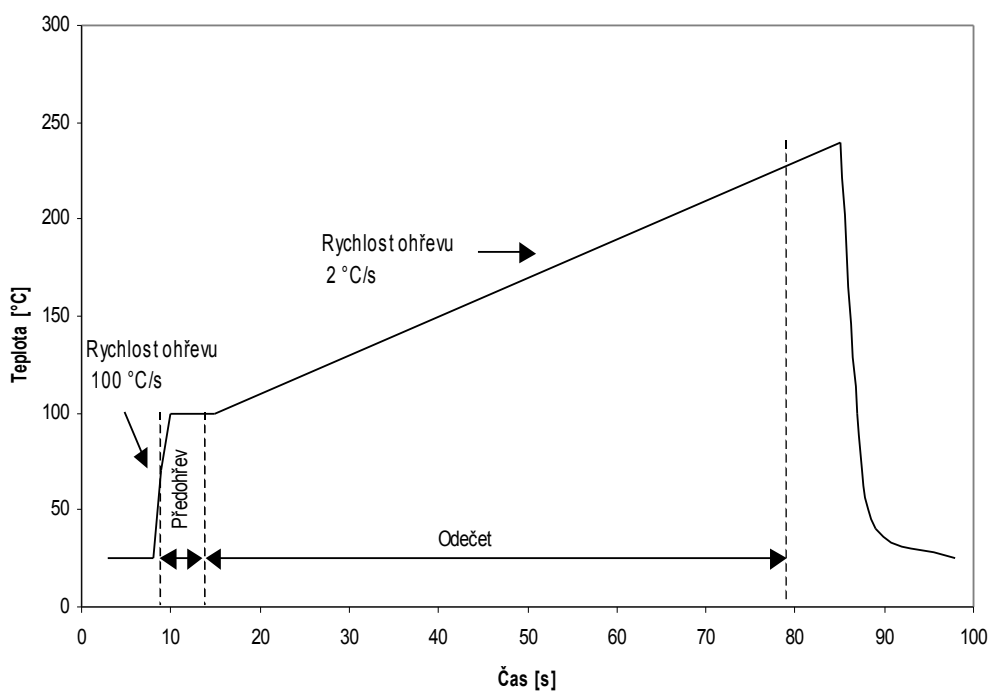
- nominální energie svazku 9 MeV (energie v hloubce maxima je přibližně stejná jako energie elektronů dopadajících na povrch kůže pacienta při TSEI)
- pole 10 cm x 10 cm (tubus A10)
- SSD 100 cm
- příkon 100 MU / min (příkon přibližující se příkonu HDTSe ve vzdálenosti 355 cm od zdroje)
- hloubka umístění TLD ve fantomu 2,1 cm (hloubka maximální dávky pro svazek 9 MeV)

Vždy po ozáření dozimetrů se před vyhodnocením jejich odezvy provede předohřev ve vyhřívací pídce PTW – TLDO firmy PTW Freiburg (viz. obr. 13 Přílohy) při teplotě 100 °C po dobu 10 minut, aby se odstranily nestabilní nízkoteplotní vrcholy z vyhřívací křivky TL dozimetru. Poté se provede vyhodnocení odezvy v přístroji Harshaw 4000 (viz. obr. 12 Přílohy) v následujícím režimu:

- předohřev na teplotu 100 °C po dobu 5 S
- vlastní ohřev rychlostí 2 °C / s na teplotu 240 °C – tedy 70 s
- zchlazení TLD na teplotu 50- 60 °C

Po vyhodnocení se provede annealing ve vyhřívací pídce PTW – TLD firmy PTW Freiburg po dobu 1 hodiny 400 °C a 2 hodiny 100 °C.

Graf 4: Teplotní křivka ohřevu při vyhodnocování TLD



Z naměřených hodnot odezev se vypočítají faktory citlivosti jednotlivých dozimetrů podle vztahu:

$$C_i = R / O_i$$

kde C_i = faktor citlivosti dozimetru

R = průměrná hodnota odezvy všech dozimetrů

O_i = odezva jednotlivého dozimetru

Tento postup se opakuje alespoň 3x, vypočítá se průměrná hodnota faktoru citlivosti pro každý dozimetr a standardní deviační odchylka, která by neměla přesahovat 2,5 %.

Po stanovení faktorů citlivosti se provede kalibrace dozimetrů. Sada dozimetrů se rozdělí do skupin a každá skupina se ozáří známou dávkou v rozsahu od 0,5 Gy – 3 Gy při stejném nastavení jako pro stanovení citlivosti dozimetrů. Stanoví se odezva postupem již uvedeným. Vynásobením odezvy dozimetru jeho faktorem citlivosti se získá korigovaná odezva:

$$O_{ki} = O_i * C_i$$

Určí se průměrná hodnota korigované odezvy pro každou skupinu dozimetrů a za předpokladu lineární závislosti odezvy na absorbované dávce (v tomto rozsahu dávek) se regresní analýzou stanoví koeficienty a a b rovnice křivky této závislosti:

$$D = a * O_k + b$$

Z této rovnice lze pak stanovit při měření na pacientovi z odezvy dozimetru absorbovanou dávku.

Při každém měření na pacientovi se ze sady dozimetrů oddělí kontrolní dozimetry, které jsou ozářeny známou dávkou ve fantomu - obvykle 2 Gy a poslouží k informaci o referenční dávce.

3. 2 Vlastní in vivo dozimetrie

Před vlastním měřením je nutné připravit skupinu termoluminiscenčních dozimetrů (TLD). Z důvodu zachování optimálních dozimetrických vlastností je třeba manipulovat s dozimetry pouze pomocí pinzety.

TLD se rozdělí po třech do foliových sáčků, z nichž každý má tři kapsy. Každá kapsa má svoje číslo pro jednotlivý dozimetr. Skupiny tří dozimetrů se znovu očíslojí (skupina číslo jedna obsahuje dozimetry 1, 2 a 3). Takto nachystané TLD se přilepí na tělo pacienta, zapíše se čísla skupin a jejich místa umístění při měření. Identifikace jednotlivých dozimetrů je velice důležitá vzhledem k individuální kalibraci a možné záměně TLD.

Jedna trojice TLD se oddělí pro referenční měření. Referenční hodnoty získáme ozářením v deskovém fantomu předem známou dávkou 2 nebo 4 Gy (klasická frakcionace nebo retreatment po 4 Gy). Toto měření nám poskytne informaci o referenční dávce, eventuálně nám poslouží pro případnou korekci naměřených hodnot. V případě, že jsou hodnoty naměřené na referenčních dozimetrech výrazně odlišné od předpokládané dávky, je třeba před příštím měřením znovu provést celou kalibraci (viz kapitola 3. 1). Jako tolerance odchylky byla radiologickými fyziky na tomto oddělení stanovena hranice 5 %.

Ozářené dozimetry se vyjmou z obalů a umístí se na železné plato s očíslovanými místy pro každý dozimetr. Toto plato se vloží do vyhřívací pícky PTW- TLD firmy PTW Freiburg, kde se provede předohřev TLD při teplotě 100 °C po dobu 10 min.

Poté se dozimetry pomocí vakuové pinzety jednotlivě vkládají do vyhodnocovacího zařízení Harshaw 4000, kde proběhne vyhodnocení TLD v následujících krocích:

- předohřev na 100 °C po dobu 5 s
- ohřev rychlostí 2 °C / s na teplotu 240 °C
- odečet

- zchlazení TLD na teplotu 50- 60 °C

Výsledný údaj na displeji přístroje je udáván v nanocoulombech. Hodnota se přepíše do vytvořené tabulky v počítači, kde jsou předdefinovány vzorce pro výpočet dávky (dle kapitoly 3. 1).

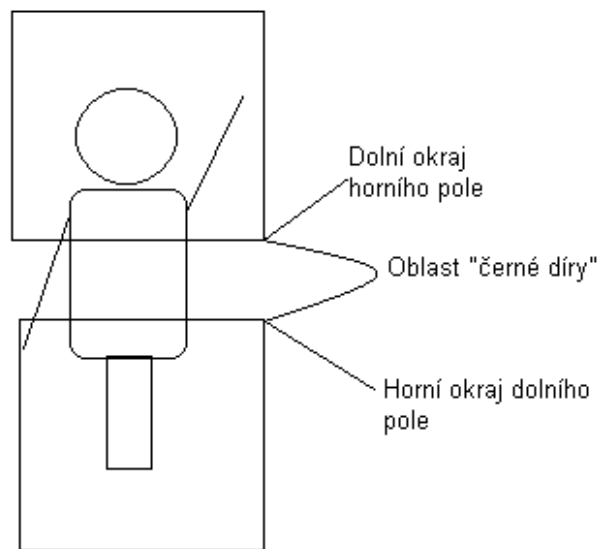
Na závěr celého vyhodnocovacího procesu je nezbytné provést annealing opět ve vyhřívací pídce PTW- TLD firmy PTW Freiburg, a to po dobu 1 hodiny 400 °C a 2 hodiny 100 °C.

Individuální in vivo dozimetrie se u každého pacienta provádí z následujících důvodů:

- stanovení dávky v referenčním bodě a provedení případné korekce počtu monitorovacích jednotek
- stanovení dávky v předpokládaných poddávkových oblastech a v oblastech s vyšší dávkou jako podklad ke klinickému rozhodnutí o dosycení dávky (patch treatments) nebo použití stínění
- stanovení dávky v místech s reziduálními infiltráty nebo tumory, kde je třeba navýšit původní dávku (boost treatments)

Vzhledem k úhlům gantry 253° a 287°, SSD přibližně 355 cm (závisí na anatomických poměrech pacienta) a velikosti pole v SSD 355 cm (128 x 128 cm), dochází jak u rotační tak i statické techniky dvou polí k tomu, že uprostřed pacienta je pruh, na kterém není viditelné světelné pole. Do této oblasti sahá pouze radiační pole (vliv polostínu). Pracovně byla tato oblast nazvána " černá díra ".

Obr. 6: Schématické znázornění „černé díry“



Zdroj: vlastní znázornění

Na točně jsou zakresleny obě pozice nohou, které se denně střídají, a to následujícím způsobem:

- červená pozice- levá noha nakročena dopředu, pravá ruka se drží otočného úchyty nad hlavou, levá ruka je odtažena mírně od těla
- černá pozice- pravá noha je nakročena dopředu, levá ruka se drží otočného úchyty nad hlavou, pravá ruka je mírně odtažena od těla

Referenčním bodem pro stanovení dávky je bod na břicho pacienta ve výšce izocentra - při pozici pacienta čelem ke svazku se v tomto bodě protínají vertikální a horizontální boční laser (střed černé díry AP).

První a druhý den ozařovací série (vystřídání pozic rukou a nohou) se provede měření absorbované dávky v referenčním bodě a v dalších pěti bodech na trupu pacienta:

- horní okraj dolního světelného pole zepředu (dolní okraj černé díry AP)
- dolní okraj horního světelného pole zepředu (horní okraj černé díry AP)
- horní okraj dolního světelného pole zezadu (dolní okraj černé díry PA)

- dolní okraj horního světelného pole zezadu (horní okraj černé díry PA)
- průnik bočních laserů zezadu (střed černé díry PA)

Naměřené hodnoty v základních bodech u rotační i statické techniky při klasické frakcionaci a při retreatmentu 2x4 Gy jsou uvedeny v tabulkách 4 (a, b, c, d, e), 6 a 8 Přílohy.

V dalších dnech se pak provádí měření v oblastech s předpokládanou nižší nebo vyšší dávkou než je předepsaná denní ložisková dávka. Naměřené hodnoty z potenciálně poddávkových a předávkových oblastí jsou uvedeny v tabulkách 5 (a, b, c, d, e) a 7 Přílohy.

Následuje měření v oblastech s infiltráty a tumory. Tato místa měření nejsou standardizována a určí je vždy lékař ve spolupráci s fyzikem. Jsou individuální u každého pacienta, proto je nelze vzájemně porovnávat. Příklad naměřených hodnot v těchto oblastech zájmu je uveden v Tabulce 9 Přílohy.

Údaj „x/2“ v tabulkách v Příloze značí prostý průměr dvou naměřených hodnot u statické techniky a prostý průměr dvou naměřených hodnot při vystřídání pozic rukou a nohou u rotační techniky.

U jednotlivých míst měření v základních a potenciálně předávkových a poddávkových oblastech byl proveden výpočet průměrné dávky v Gy s průměrnou odchylkou, která udává rozptyl hodnot v jednotlivých měřeních. Dále byla vypočtena procentuální průměrná dávka pro jednotlivá místa měření s procentuální průměrnou odchylkou. Také bylo spočítán interval minimální a maximální dávky v Gy a v procentech pro jednotlivá místa měření. Tento interval je podstatný především u poddávkových nebo předávkových oblastí, neboť potvrzuje nutnost měření v těchto bodech. Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 1, 2 a 3 v kapitole 4, kde jsou rovněž komentovány.

4. VÝSLEDKY

Na ONO České Budějovice a. s. bylo v letech 2006 - únor 2009 ozářeno klasickou frakcionací rotační technikou TSEI 11 pacientů s mycosis fungoides. Jeden pacient absolvoval retreatment 1x a jeden pacient 2x. Jeden pacient absolvoval pouze retreatment. Rotační technika byla tedy použita v daném období celkem 15x.

Ve stejném období bylo u dvou pacientů použito klasické frakcionace statické techniky TSEI, jeden pacient podstoupil i retreatment. Statická technika byla tedy použita 3x.

U všech pacientů byla v průběhu léčby prováděna in vivo dozimetrie pomocí termoluminiscenčních dozimetrů.

Tabulka 1: Průměrné dávky v měřených bodech u rotační techniky

| Místo měření | Počet měření | Průměrná dávka [Gy] | Průměrná dávka [%] | Rozmezí dávky min-max [Gy] | Rozmezí dávky min-max [%] |
|---------------------------|--------------|---------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|
| Střed černé díry AP | 14 | 2,06 ± 0,34 | 103,0 ± 16,8 | 1,46 - 2,50 | 72,8 - 124,8 |
| Horní okraj č. d. AP | 14 | 2,00 ± 0,15 | 100,1 ± 7,5 | 1,69 - 2,18 | 84,5 - 109,0 |
| Dolní okraj č. d. AP | 14 | 2,14 ± 0,18 | 106,8 ± 8,9 | 1,65 - 2,35 | 82,5 - 117,3 |
| Střed černé díry PA | 14 | 1,85 ± 0,16 | 92,6 ± 7,8 | 1,52 - 2,02 | 76,0 - 101,0 |
| Horní okraj č. d. PA | 14 | 1,90 ± 0,11 | 94,8 ± 5,6 | 1,68 - 2,16 | 83,8 - 107,8 |
| Dolní okraj č. d. PA | 14 | 1,81 ± 0,24 | 90,6 ± 11,8 | 1,41 - 2,16 | 70,5 - 107,8 |
| Pravá strana krku | 20 | 1,20 ± 0,30 | 59,9 ± 7,5 | 0,66 - 1,68 | 33,0 - 83,8 |
| Levá strana krku | 20 | 1,17 ± 0,33 | 58,6 ± 8,2 | 0,75 - 1,84 | 37,3 - 91,8 |
| Pravá axilla | 16 | 1,72 ± 0,36 | 85,9 ± 9,0 | 1,06 - 2,49 | 52,8 - 124,3 |
| Levá axilla | 16 | 1,57 ± 0,37 | 78,3 ± 9,3 | 0,99 - 2,32 | 49,5 - 115,8 |
| Temeno | 17 | 1,72 ± 0,51 | 85,8 ± 12,8 | 0,77 - 2,68 | 38,3 - 134,0 |
| Vnitřní strana l. stehna | 10 | 1,35 ± 0,15 | 67,4 ± 3,7 | 1,16 - 1,61 | 58,0 - 80,5 |
| Vnitřní strana pr. stehna | 10 | 1,47 ± 0,17 | 73,3 ± 4,3 | 1,28 - 1,75 | 63,8 - 87,3 |
| Palec levé ruky | 14 | 1,90 ± 0,66 | 95,0 ± 16,5 | 0,63 - 2,71 | 31,3 - 135,3 |
| Palec pravé ruky | 15 | 2,12 ± 0,64 | 105,8 ± 16,0 | 0,83 - 2,94 | 41,5 - 147,0 |
| Palec levé nohy | 12 | 2,38 ± 0,82 | 118,9 ± 20,4 | 1,09 - 3,34 | 54,5 - 167,0 |
| Palec pravé nohy | 13 | 2,24 ± 0,90 | 111,8 ± 22,5 | 0,47 - 3,29 | 23,3 - 164,5 |
| Intergluteální rýha | 13 | 1,25 ± 0,37 | 62,5 ± 9,3 | 0,27 - 1,87 | 13,5 - 93,3 |
| Brada | 6 | 2,41 ± 0,30 | 120,5 ± 7,4 | 2,03 - 2,83 | 101,3 - 141,5 |
| Jugulum | 4 | 2,03 ± 0,08 | 101,3 ± 1,9 | 1,93 - 2,11 | 96,5 - 105,5 |

Podle tabulky 1 se průměrná dávka u základních bodů měření pohybuje od 1,81 do 2,14 Gy. Tyto hodnoty odpovídají 90,6 – 103% předepsané dávky.

U bodů potenciálně poddávkových nebo předávkových byla naměřena průměrná dávka 1,17 – 2,41 Gy, což je 58,6 – 120,5% předepsané dávky. Z toho vyplývá nutnost „patch treatmentu“ u oblastí s nižší dávkou a naopak nutnost stínění oblastí a míst s dávkou podstatně větší než byla předepsaná dávka.

Oblasti s vyšší dávkou jsou nohy, ruce a obličej. Tyto oblasti se stíní pomocí speciálně vytvarovaného olověného stínění – „botičky“, „rukavičky“ a maska na obličej.

Místa s nižší absorbovanou dávkou je nutné po skončení celotělového ozáření dozářit elektronovými poli tak, aby na všech místech bylo dosaženo původní plánované celkové dávky. Počet frakcí „patch treatmentu“ se určuje výhradně podle výsledků in vivo dozimetrie, přihlíží se i ke kožní reakci v daném místě.

Z výsledků je také zřejmé, že odchylky u potenciálně předávkových a poddávkových oblastí jsou mnohem vyšší než u základních bodů. Tyto hodnoty se liší u každého pacienta individuálně podle toho, jak byl schopen během ozáření udržet správné postavení rukou a hlavy. Vzhledem k relativně dlouhému ozařovacímu času (cca 4 minuty) a rotaci při ozařování je přirozené, že pacient mimovolně např. povolí ruku nebo více předkloní či zakloní hlavu. Tyto změny polohy mají velký vliv na absorbovanou dávku v axillách, na obličejí nebo na temeni hlavy.

Tabulka 2: Průměrné dávky v měřených bodech u statické techniky.

| Místo měření | Počet měření | Průměrná dávka [Gy] | Průměrná dávka [%] | Rozmezí dávky min-max [Gy] | Rozmezí dávky min-max [%] |
|---------------------------|--------------|---------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|
| Střed černé díry AP | 3 | 2,42 ± 0,05 | 120,9 ± 2,7 | 2,37 - 2,50 | 118,5 - 124,8 |
| Horní okraj č. d. AP | 3 | 2,31 ± 0,13 | 115,3 ± 6,6 | 2,12 - 2,42 | 106,0 - 120,8 |
| Dolní okraj č. d. AP | 3 | 2,33 ± 0,09 | 116,3 ± 4,4 | 2,21 - 2,42 | 110,5 - 121,0 |
| Střed černé díry PA | 3 | 2,09 ± 0,06 | 104,3 ± 2,8 | 2,02 - 2,16 | 101,0 - 107,8 |
| Horní okraj č. d. PA | 3 | 2,13 ± 0,04 | 106,3 ± 2,1 | 2,07 - 2,16 | 103,3 - 107,8 |
| Dolní okraj č. d. PA | 3 | 2,18 ± 0,03 | 108,8 ± 1,4 | 2,16 - 2,22 | 107,8 - 110,8 |
| Pravá strana krku | 2 | 3,38 ± 0,48 | 169,1 ± 24,1 | 2,90 - 3,87 | 145,0 - 193,3 |
| Levá strana krku | 2 | 0,86 ± 0,52 | 42,8 ± 26,0 | 0,34 - 1,38 | 16,8 - 68,8 |
| Pravá axilla | 2 | 0,98 ± 0,36 | 49,1 ± 18,1 | 0,62 - 1,35 | 31,0 - 67,3 |
| Levá axilla | 2 | 1,16 ± 0,56 | 57,8 ± 28,0 | 0,60 - 1,72 | 29,8 - 85,8 |
| Temeno | 2 | 2,18 ± 1,05 | 108,8 ± 52,3 | 1,13 - 3,22 | 56,5 - 161,0 |
| Vnitřní strana l. stehna | 2 | 3,62 ± 1,02 | 180,9 ± 50,9 | 2,60 - 4,64 | 130,0 - 231,8 |
| Vnitřní strana pr. stehna | 2 | 3,73 ± 0,16 | 186,5 ± 8,0 | 3,57 - 3,89 | 178,5 - 194,5 |
| Palec levé ruky | 2 | 3,23 ± 0,13 | 161,5 ± 6,5 | 3,10 - 3,36 | 155,0 - 168,0 |

Tabulka 2 prezentuje statickou ozařovací techniku za použití dvou složených předních a zadních polí. Tato technika se využívá velmi málo, a to pouze u pacientů, kteří nezvládnou rotační TSEI, resp. nevydrží stát při rotaci točny. Z tohoto důvodu je také zaznamenán malý počet měření jednotlivých míst.

Odchytky od předepsaných dávek jsou, oproti rotační technice, větší i v základních bodech. Příčinou těchto odchylek je ne právě ideální postavení pacienta. Z výsledků se dá vyčíst, že většinou pacient stojí v předklonu.

Dávka v některých potenciálně předávkovaných a poddávkovaných oblastech je ještě více odchýlena od předepsané dávky, než je tomu u rotační techniky. Např. axilly nemají ani 50% dávky, což je dáno pozicí rukou při záření - pacient se přidržuje madel v úrovni boků, čímž dochází k výraznému stínění při každém záření. Vzhledem k tomu, že se k ozařování využívá točna jako podstavce, mohl by se pacient přidržovat otočného držáku a střídat ruce při každém záření jako u rotace. Tím by se tento problém mohl alespoň částečně upravit.

Silně předávkované jsou oblasti vnitřních i vnějších stran stehien. Bohužel tyto oblasti nelze v průběhu ozařování efektivně stínit. Proto v těchto oblastech dochází ke vzniku výrazné poirradiační reakce.

Tabulka 3: Průměrné dávky v měřených bodech u retreatmentu (4 Gy)

| Místo měření | Počet měření | Průměrná dávka [Gy] | Průměrná dávka [%] | Rozmezí dávky min-max [Gy] | Rozmezí dávky min-max [%] |
|----------------------|--------------|---------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|
| Střed černé díry AP | 5 | 4,12 ± 0,28 | 102,9 ± 7,0 | 3,67 - 4,50 | 91,8 - 112,5 |
| Horní okraj č. d. AP | 5 | 3,83 ± 0,16 | 95,7 ± 4,1 | 3,61 - 4,02 | 90,3 - 100,5 |
| Dolní okraj č. d. AP | 5 | 4,22 ± 0,23 | 105,5 ± 5,8 | 3,84 - 4,55 | 95,9 - 113,8 |
| Střed černé díry PA | 5 | 3,60 ± 0,30 | 89,9 ± 7,5 | 3,24 - 4,04 | 81,0 - 101,0 |
| Horní okraj č. d. PA | 5 | 3,66 ± 0,20 | 91,4 ± 5,1 | 3,45 - 3,96 | 86,3 - 99,0 |
| Dolní okraj č. d. PA | 5 | 3,70 ± 0,24 | 92,5 ± 5,9 | 3,33 - 4,01 | 83,3 - 100,3 |

Tabulka 3 ukazuje výsledky měření u pacientů, kteří absolvovali retreatment 2 x 4 Gy. Jedná se pouze o dvě frakce, tudíž není možné změřit všechny body jako u klasicky frakcionované léčby. Navíc je nutné znát přednostně dávku v oblasti tumorů a infiltrátů, kvůli kterým je retreatment aplikován. Tato místa jsou pochopitelně u každého pacienta zcela individuální, tudíž je nelze vzájemně porovnávat.

5. DISKUZE

Z výsledků měření vyplývá, že u rotační techniky je homogenita rozložení dávky na povrchu kůže na trupu pacienta srovnatelná s údaji uváděnými z jiných pracovišť. V základních bodech byla v našem případě homogenita 12 – 16%, tedy $\pm 15\%$. V akrálních částech těla je odchylka od předepsané dávky i 40 – 50%. Např. axilly mají průměrnou odchylku od předepsané dávky přibližně 22% a u perinea je to dokonce i 38%. Tento údaj je však také zcela srovnatelný se zkušenostmi z jiných pracovišť. Např. podle výsledků dozimetrie v Minnesotě v USA (ozařují šesti poli 4krát 1 Gy / týden do 35 - 40 Gy) může odchylka od předepsané dávky na zakřivených a tenkých částech těla dosáhnout až 24%, v oblasti perinea i 40%.⁽¹⁷⁾

Dalším důležitým faktorem, který má velký vliv na velikost absorbované dávky, je správná pozice pacienta při ozařování. Pohyby rukou, předklon či záklon hlavy nebo dokonce celého těla – to vše se projeví na výsledcích měření.

Ze studia odborných článků na dané téma vyplynulo, že téměř všechna pracoviště zabývající se celotělovým ozařováním pacientů s mycosis fungoides pomocí TSEI, provádějí standardně in vivo dozimetrii. Místa měření se shodují s těmi, která jsou měřena i na ONO České Budějovice a. s.

Při srovnávání výsledků z jednotlivých pracovišť bylo zřejmé, že nejlepší dávková distribuce je v oblasti rovných ploch těla, kde se absorbovaná dávka téměř rovná dávce předepsané. Naopak na zakřivených plochách těla se dávková distribuce mění a velice závisí na tělesných proporcích pacienta.

Z výsledků našeho měření vyplynulo, že dávková distribuce je skutečně více homogenní v oblastech hrudníku, zad a břicha. Naopak v akrálních částech těla dochází k absorpci větší dávky než je dávka předepsaná. V problematických oblastech jako jsou axilly, obě strany krku, perineum, plosky nohou a temeno, dochází k významnému snížení absorbované dávky z důvodu samostínění. In vivo dozimetrie tak výrazně přispívá k rozhodnutí o „patch treatments“ nebo „boost treatments“.

In vivo dozimetrie je zcela zásadní pro kvalitu léčby a výrazně přispívá k rozhodnutí o doplnění dávky v poddávkových oblastech. „Patch treatments“ je zcela individuální u každého pacienta a bez individuální in vivo dozimetrie zcela neproveditelný.

Jednotlivá pracoviště se v podstatě, co se týče in vivo dozimetrie, odlišují pouze v materiálech použitých k TL dozimetrii a v přístrojích použitých k vyhodnocení TLD. Je to zcela v závislosti na technickém vybavení a možnostech daného pracoviště. Princip in vivo dozimetrie ale zůstává stále stejný.

Provedení celotělového ozáření se na jednotlivých pracovištích liší použitou technikou TSEI, polohou pacienta při ozařování a frakcionačním schématem. Ale, jak již bylo řečeno, ani zvolený způsob ozařování, ani frakcionace nemají zásadní vliv na výskyt a stupeň časně poiradiační reakce, která je u všech technik TSEI víceméně shodná.

Zajímavý je také fakt, že v důsledku celotělového ozáření elektronovým svazkem nedošlo u žádného z pacientů k rozvoji kožních nekrot. U žádné z používaných technik TSEI nejsou významně větší rozdíly v celkovém přežití pacientů, ale ani v délce doby, kdy je pacient bez klinických projevů onemocnění.

Pro srovnání je na tomto místě uvedeno několik příkladů používaných technik TSEI ze světových pracovišť.

Mezi pracoviště, která se věnují rozvíjení techniky celotělového ozařování elektrony, patří McGillova univerzita v Kanadě. Pacienty ozařují do celkové dávky 36-40 Gy, 2 Gy/ den /4x týdně po dobu 5 týdnů.⁽¹⁴⁾ Právě odtud převzali na ONO České Budějovice a. s. zkušenosti s rotační technikou.

Na Texaské univerzitě nejvíce používají k ozařování pacientů s mycosis fungoides Stanfordskou techniku šesti složených polí, kdy je pacient ozařován vestoje v šesti polohách (kap. 1. 3. 1). Vzdálenost izocentrum - povrch těla je 200 cm a úhly stočení gantry jsou 113° a 67° pro každou ze šesti pozic pacienta. Ozařování probíhá dva dny v týdnu po osm týdnů do celkové dávky 32 Gy.⁽⁵⁾

Rotační techniku TSEI používají k léčbě pacientů s mycosis fungoides také v Poznani v Polsku. Stejně jako v Českých Budějovicích je pacient ozařován dvěma složenými poli, ale s úhly gantry 110° a 70° a SSD 300cm. Frakcionační schéma je 1 Gy / 4x týdně do celkové dávky 36 - 40 Gy. Provádějí zde retreatment do celkové dávky 20 Gy.⁽¹³⁾

Léčbě MF pomocí TSEI se věnují i na Onkologickém centru v turecké Ankaře. Používají translační (posuvnou) techniku osmi polí (čtyři přední a čtyři zadní). Pacient leží fixován na pohyblivém stole. SSD je 200cm, denní dávka 4 Gy v sedmi frakcích, tedy celková dávka je 28 Gy. Při ozařování používají 2 mm silný bolusový materiál a jejich terapeutické výsledky se prakticky shodují s výsledky ostatních pracovišť.⁽⁶⁾

Na onkologickém oddělení v Haifě v Izraeli zaměřili svou pozornost na porovnání Stanfordské a translační techniky TSEI. Žádné statisticky významné rozdíly však nebyly zjištěny. Stanfordská technika se prokázala lepší dávkovou distribucí a menší akutní toxicitou léčby. Translační technika měla o něco vyšší počet relapsů onemocnění. To nejdůležitější, k čemu ale izraelský výzkum dospěl, je fakt, že celková dávka a způsob frakcionace významně neovlivnily časový interval, kdy byli pacienti s MF bez projevu onemocnění (disease free interval).⁽³⁾

Znovu je na tomto místě nutné zdůraznit fakt, že ani použitá technika TSEI, ani frakcionační schéma a nakonec ani poloha pacienta při ozařování, nemají zásadní vliv na celkové přežití pacienta či období bez klinických příznaků onemocnění.

U všech modifikací TSEI je důležité především kvalitní provedení in vivo dozimetrie a důsledné provádění „patch treatmentu“ a „boost treatmentu“. Pokud totiž některá oblast těla obdrží menší dávku, projeví se dříve případná recidiva v této oblasti. Z tohoto důvodu je také nezbytné i ozáření např. očních víček, proto se stínění očí provádí vkládáním vykrytí pod oční víčka.

6. ZÁVĚR

Závěrem lze říci, že léčba pacientů s mycosis fungoides elektronovým svazkem lineárního urychlovače pomocí techniky celotělového ozařování TSEI se ukazuje jako ideální a velice efektivní léčebná modalita pro léčbu kožních lézí tohoto onemocnění.

Jedná se o velice náročnou techniku, která klade vysoké nároky na technické a fyzikální vybavení pracoviště a stejně tak i na odbornost veškerého personálu.

Moderní způsoby celotělového ozařování jsou používány mnoha pracovišti po celém světě. Z velkého množství modifikací a úprav TSEI jich nejvíce vychází ze statické Stanfordské techniky šesti polí, která ve své podstatě imituje rotační techniku.

Problémem při zpracovávání této práce pro mě byl fakt, že valná většina odborných článků k tomuto tématu je napsána v anglickém jazyce.

Ve své práci jsem potvrdila hypotézu, že pro kvalitní provedení léčby technikou TSEI je nezbytná in vivo dozimetrie. Ta je v současné době již rutinní záležitostí pro všechna pracoviště, která se tímto způsobem léčby zabývají.

7. KLÍČOVÁ SLOVA

Mycosis fungoides, TSEI (Total Skin Electron Irradiation), in vivo dozimetrie, TLD (Termoluminiscenční Dozimetrie)

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DOLEČKOVÁ, M., KRÁLOVÁ, D. Mycosis fungoides. In: ŠLAMPA, P., PETERA, J. ET AL. *Radiační onkologie*. Galén, 2007, s. 357- 362. ISBN 978- 80- 7262- 469- 0

2. MUSÍLEK, L., ŠEDA, J., TROUSIL J. *Dozimetrie ionizujícího záření (Integrované metody)*. 1. vyd. ČVUT Praha, 1992. 282 s.

Články:

3. ANACAK, Z., ARICAN, Z. et all. Total skin electron irradiation in mycosis fungoides: Comparison Between a Modified Christie Hospital Translation Technique and the Stanford Technique. *Leukemia & Lymphoma*. 2002, Vol. 43, pp. 2093 - 2097.

4. ANACAK, Z., ARICAN, Z., BAR- DEROMA, R. et all. Total skin electron irradiation: evaluation of dose uniformity throughout the skin surface. *Medical Dosimetry*. American Association of Medical Dosimetrists. 2003, Vol. 28, No. 1, pp. 31 - 34, ISSN 0958 - 3947.

5. ANTOLAK, John, A., CUNDIFF, Jackson, H. et all. Utilization of thermoluminescent dosimetry in total skin electron beam radiotherapy of mycosis fungoides. *J. Radiation Oncology Biol. Phys.* 1998, Vol. 40, No. 1, pp. 101- 108, ISSN 0360 - 3016.

6. CUNEYT ULUTIN, H., BEYAN, Cengiz. et all. Total skin electron beam therapy for cutaneous T- cell lymphoma: Turkish experience with translational technique. *Haematologia*. 2002, Vol. 4, pp. 397 - 403.

7. DESAI, K. R., PEZNER, R. D. et al. Total skin electron irradiation for mycosis fungoides: relationship between acute toxicities and measured dose at different anatomic sites. *J. Radiation Oncology biol. Phys.* 1988, Vol. 15, pp 641 - 645.
8. DOLEČKOVÁ, M., KUTOVÁ, J., KRÁLOVÁ, D., ŠABATKA, J. Probleme of skin electron irradiation of skin T-cell lymphomas. *Radiotherapy and Oncology*. Vol. 43 (suppl 2). June 1997.
9. DUVIC, M., LEMAK, N. A., REDMAN, J. R., et al. Combined modality therapy for cutaneous T- cell lymphoma. *J. American Academy of Dermatology*. 1996, 34, p. 1022 - 1029.
10. FREEMAN, C. R. et al. Clinical experience with a simple field rotational total skin elektron irradiation technique for cutaneous T- cell lymphoma. *Radiotherapy and Oncology*. 1992, Volume 24, Number 3, 155 - 162.
11. HOPPE, R. T. Mycosis fungoides: radiation therapy. *Dermatologic Therapy*. 2003, Vol. 16, pp. 347- 354, ISSN 1396 - 0296
12. JONES G. W. et al. Total skin elektron radiation in the management of mycosis fungoides: Consensus of the European Organization for Research and Treatment of Cancor (EORTC) Cutaneous Lymphoma Project Group. *J. Am. Acad. Dermatol.* 2002, Volume 47, Number 3, 364 - 370.
13. PIOTROWSKI, T. et al. Thermoluminescent dosimetry in rotary- dual technique of the total skin electron irradiation. *NEOPLASMA*. 50, 2, 2003
14. REYNARD, Eric P. et al. Rotational total skin elektron irradiation with a linear accelerator. *Journal of applied clinical medical physics*. 2008, Vol. 9, No. 4.

15. ROBERTSON, M. E. A. Identification and Reduction of Errors in Thermoluminescence Dosimetry Systems. D. A. Potkan Ltd. Gret Britain. 1981.

16. TRUMP, J. G. et al. High energy electrons for the treatment of extensive superficial malignant lesions. *American. J. Radiology.* 1953, 69, p. 623 - 629.

17. WEAVER, RANDI, D. et al. Evaluation of dose variation during total skin electron irradiation using thermoluminescent dosimeters. *J. Radiation Oncology Biol. Phys.* 1995, Vol. 33, No. 2, pp. 475- 478, ISSN 0360 - 3016.

Elektronické zdroje:

18. Vašků V., Adam Z., Král Z. Kožní T- Lymfomy a současné léčebné postupy. [http://www. linkos.cz/vzdelavani/2_00/01.php](http://www.linkos.cz/vzdelavani/2_00/01.php), September 29, 2008

19. <http://www.iaea.org/>. , January 20, 2009

9. PŘÍLOHY

Tabulka 4a: Naměřené hodnoty v základních bodech u rotační techniky TSEI

| Pacient | Pacient č. 1 - rotace | | | Pacient č. 2 - rotace | | | | | |
|------------------------------|-----------------------|----------------------|------|-----------------------|--------------------|------|----------------------|--------------------|------|
| | 1. měření černá | 2. měření červená | x/2 | 1. měření červená | 2. měření černá | x/2 | 3. měření červená | 4. měření černá | x/2 |
| Výsledky měření [Gy] | | | | | | | | | |
| Místo měření | | | | | | | | | |
| Střed černé díry AP | 1,49 | 1,50 | 1,50 | 2,28 | 2,23 | 2,26 | 2,22 | 2,24 | 2,23 |
| Horní okraj č. d. AP | 2,04 | 2,14 | 2,09 | 2,18 | 1,94 | 2,06 | 2,13 | 1,97 | 2,05 |
| Dolní okraj č. d. AP | 2,18 | 2,21 | 2,20 | 2,22 | 2,13 | 2,18 | 2,19 | 2,21 | 2,20 |
| Střed černé díry PA | 1,96 | 2,00 | 1,98 | 1,84 | 1,76 | 1,80 | 1,76 | 1,87 | 1,82 |
| Horní okraj č. d. PA | 1,85 | 1,85 | 1,85 | 1,90 | 1,89 | 1,90 | 1,81 | 1,82 | 1,82 |
| Dolní okraj č. d. PA | 1,99 | 2,01 | 2,00 | 1,97 | 1,93 | 1,95 | 1,98 | 1,79 | 1,89 |

Tabulka 4b: Naměřené hodnoty v základních bodech u rotační techniky TSEI

| Pacient | Pacient č. 3 - rotace | | | Pacient č. 4 - rotace | | | | | |
|------------------------------|-----------------------|--------------------|------|-----------------------|--------------------|------|----------------------|--------------------|------|
| | 1. měření červená | 2. měření černá | x/2 | 1. měření červená | 2. měření černá | x/2 | 3. měření červená | 4. měření černá | x/2 |
| Výsledky měření [Gy] | | | | | | | | | |
| Místo měření | | | | | | | | | |
| Střed černé díry AP | 2,31 | 2,15 | 2,23 | 2,21 | 2,44 | 2,33 | 2,19 | 2,27 | 2,23 |
| Horní okraj č. d. AP | 2,12 | 2,06 | 2,09 | 1,97 | 1,41 | 1,69 | 1,56 | 1,85 | 1,71 |
| Dolní okraj č. d. AP | 2,37 | 2,16 | 2,27 | 2,32 | 2,37 | 2,35 | 2,20 | 2,25 | 2,23 |
| Střed černé díry PA | 2,01 | 1,94 | 1,98 | 1,83 | 1,84 | 1,84 | 1,95 | 1,89 | 1,92 |
| Horní okraj č. d. PA | 1,97 | 2,03 | 2,00 | 2,00 | 1,81 | 1,91 | 1,95 | 1,80 | 1,88 |
| Dolní okraj č. d. PA | 1,73 | 1,86 | 1,80 | 1,57 | 1,46 | 1,52 | 1,33 | 1,49 | 1,41 |

Tabulka 4c: Naměřené hodnoty v základních bodech u rotační techniky TSEI

| Pacient | Pacient č. 5 - rotace | | | Pacient č. 6 - rotace | | | | | |
|------------------------------|-----------------------|----------------------|------|-----------------------|--------------------|------|----------------------|--------------------|------|
| | 1. měření černá | 2. měření červená | x/2 | 1. měření červená | 2. měření černá | x/2 | 3. měření červená | 4. měření černá | x/2 |
| Výsledky měření [Gy] | | | | | | | | | |
| Místo měření | | | | | | | | | |
| Střed černé díry AP | 1,94 | 1,95 | 1,95 | 1,68 | 1,60 | 1,64 | 1,82 | 1,73 | 1,78 |
| Horní okraj č. d. AP | 1,85 | 1,92 | 1,89 | 1,95 | 2,09 | 2,02 | 2,22 | 1,95 | 2,09 |
| Dolní okraj č. d. AP | 1,92 | 2,01 | 1,97 | 2,15 | 1,99 | 2,07 | 1,23 | 2,07 | 1,65 |
| Střed černé díry PA | 1,56 | 1,48 | 1,52 | 2,05 | 1,97 | 2,01 | 1,30 | 1,98 | 1,64 |
| Horní okraj č. d. PA | 1,73 | 1,62 | 1,68 | 1,70 | 1,79 | 1,75 | 1,92 | 1,84 | 1,88 |
| Dolní okraj č. d. PA | 1,60 | 1,59 | 1,60 | 1,73 | 1,80 | 1,77 | 1,72 | 1,77 | 1,75 |

Tabulka 4d: Naměřené hodnoty v základních bodech u rotační techniky TSEI

| Pacient | Pacient č. 7 - rotace | | | Pacient č. 8 - rotace | | | Pacient č. 9 - rotace | | |
|------------------------------|-----------------------|----------------------|------|-----------------------|--------------------|------|-----------------------|--------------------|------|
| | 1. měření černá | 2. měření červená | x/2 | 1. měření červená | 2. měření černá | x/2 | 1. měření červená | 2. měření černá | x/2 |
| Výsledky měření [Gy] | | | | | | | | | |
| Místo měření | | | | | | | | | |
| Střed černé díry AP | 1,48 | 1,43 | 1,46 | 2,38 | 2,32 | 2,35 | 1,99 | 1,94 | 1,97 |
| Horní okraj č. d. AP | 2,13 | 2,23 | 2,18 | 2,06 | 1,97 | 2,02 | 1,87 | 1,87 | 1,87 |
| Dolní okraj č. d. AP | 2,19 | 2,25 | 2,22 | 2,33 | 2,25 | 2,29 | 1,90 | 1,89 | 1,90 |
| Střed černé díry PA | 1,95 | 2,04 | 2,00 | 1,91 | 1,94 | 1,93 | 1,91 | 1,85 | 1,88 |
| Horní okraj č. d. PA | 1,97 | 1,97 | 1,97 | 1,97 | 1,98 | 1,98 | 1,81 | 1,88 | 1,85 |
| Dolní okraj č. d. PA | 2,00 | 1,93 | 1,97 | 2,15 | 2,09 | 2,12 | 1,49 | 1,40 | 1,45 |

Tabulka 4e: Naměřené hodnoty v základních bodech u rotační techniky TSEI

| Pacient | Pacient č. 10 - rotace | | | Pacient č. 11 -rotace | | |
|-----------------------|------------------------|--------------------|------|-----------------------|----------------------|------|
| Výsledky měření [Gy] | 1. Měření červená | 2. Měření černá | x/2 | 1. měření černá | 2. měření červená | x/2 |
| Místo měření | | | | | | |
| Střed černé díry AP | 2,43 | 2,47 | 2,45 | 2,75 | 2,24 | 2,50 |
| Horní okraj č. d. AP | 2,16 | 2,15 | 2,16 | 2,20 | 2,04 | 2,12 |
| Dolní okraj č. d. AP | 2,29 | 2,11 | 2,20 | 2,24 | 2,18 | 2,21 |
| Střed černé díry PA | 1,58 | 1,62 | 1,60 | 1,95 | 2,09 | 2,02 |
| Horní okraj č. d. PA | 1,94 | 1,97 | 1,96 | 2,20 | 2,11 | 2,16 |
| Dolní okraj č. d. PA | 2,01 | 2,01 | 2,01 | 2,11 | 2,20 | 2,16 |

Tabulka 5a: Naměřené hodnoty v potenciálně poddávkových a předávkových oblastech u rotační techniky

| Pacient | Pacient č. 2 - rotace | | | | | | Pacient č. 3 - rotace | | | | | |
|---------------------------|-----------------------|-----------|------|-----------|-----------|------|-----------------------|-----------|------|-----------|-----------|------|
| | 1. měření | 2. měření | x/2 | 3. měření | 4. měření | x/2 | 1. měření | 2. měření | x/2 | 3. měření | 4. měření | x/2 |
| Výsledky měření [Gy] | červená | černá | | červená | černá | | červená | černá | | červená | černá | |
| Pravá strana krku | 1,21 | 2,02 | 1,62 | 1,25 | 2,09 | 1,67 | 0,65 | 1,42 | 1,04 | 0,80 | 1,43 | 1,12 |
| Levá strana krku | 2,14 | 0,99 | 1,57 | 2,05 | 0,79 | 1,42 | 1,39 | 0,84 | 1,12 | 1,56 | 0,71 | 1,14 |
| Pravá axilla | 2,10 | 0,61 | 1,36 | 2,10 | 0,15 | 1,13 | 2,13 | 1,76 | 1,95 | 2,38 | 1,34 | 1,86 |
| Levá axilla | 0,34 | 2,11 | 1,23 | 0,59 | 2,15 | 1,37 | 1,40 | 2,15 | 1,78 | 0,12 | 2,32 | 1,22 |
| Temeno | 1,91 | 2,22 | 2,07 | 2,17 | 2,33 | 2,25 | 1,26 | 1,04 | 1,15 | 0,56 | 1,05 | 0,81 |
| Vnitřní strana l. stehna | 1,42 | 1,11 | 1,27 | 1,16 | 1,16 | 1,16 | 1,17 | 1,91 | 1,54 | 1,75 | 1,47 | 1,61 |
| Vnitřní strana pr. stehna | 1,69 | 1,16 | 1,43 | 1,33 | 1,24 | 1,29 | 1,53 | 1,96 | 1,75 | 1,46 | 1,53 | 1,50 |
| Palec levé ruky | 2,44 | 2,69 | 2,57 | 2,05 | 2,59 | 2,32 | 2,26 | 2,87 | 2,57 | | 2,65 | 1,33 |
| Palec pravé ruky | 2,69 | 2,30 | 2,50 | 2,65 | 2,23 | 2,44 | 2,54 | 1,76 | 2,15 | | 1,66 | 0,83 |
| Palec levé nohy | 3,14 | 3,28 | 3,21 | 3,21 | 2,97 | 3,09 | | | | | | |
| Palec pravé nohy | 3,14 | 2,98 | 3,06 | 3,08 | 3,23 | 3,16 | 3,34 | 3,24 | 3,29 | | 3,00 | 1,50 |
| Intergluteální rýha | 1,01 | 1,26 | 1,14 | 1,16 | 1,27 | 1,22 | 1,51 | 1,56 | 1,54 | 1,46 | 1,42 | 1,44 |
| Brada | 2,58 | 2,36 | 2,47 | | | | 2,56 | | | | | |
| Jugulum | | | | | | | 2,05 | 1,80 | 1,93 | | | |

Tabulka 5b: Naměřené hodnoty v potenciálně poddávkových a předávkovaných oblastech u rotační techniky

| Pacient | Pacient č. 4 - rotace | | | | | | Pacient č. 5 - rotace | | | | | |
|---------------------------|-----------------------|-----------|------|-----------|-----------|------|-----------------------|-----------|------|-----------|-----------|------|
| | 1. měření | 2. měření | x/2 | 3. měření | 4. měření | x/2 | 1. měření | 2. měření | x/2 | 3. měření | 4. měření | x/2 |
| Výsledky měření [Gy] | černá | červená | | černá | červená | | černá | červená | | černá | červená | |
| Pravá strana krku | 1,20 | 0,64 | 0,92 | 1,40 | 0,47 | 0,94 | 0,96 | 0,36 | 0,66 | 0,42 | 1,26 | 0,84 |
| Levá strana krku | 0,30 | 1,42 | 0,86 | 0,32 | 1,19 | 0,76 | 0,07 | 1,42 | 0,75 | 1,46 | 0,27 | 0,87 |
| Pravá axilla | 2,10 | 2,29 | 2,20 | 1,47 | 1,87 | 1,67 | | | | 1,78 | 0,33 | 1,06 |
| Levá axilla | 2,38 | 0,88 | 1,63 | 2,36 | 2,27 | 2,32 | | | | 0,14 | 1,95 | 1,05 |
| Temeno | 1,87 | 2,10 | 1,99 | 2,06 | 2,28 | 2,17 | 0,62 | 0,91 | 0,77 | | | |
| Vnitřní strana l. stehna | 1,49 | 1,35 | 1,42 | 1,36 | 1,49 | 1,43 | | | | | | |
| Vnitřní strana pr. stehna | 1,52 | 1,39 | 1,46 | 1,65 | 1,62 | 1,64 | | | | | | |
| Palec levé ruky | 2,66 | | 1,33 | 1,34 | | 0,67 | | | | 1,79 | 2,34 | 2,07 |
| Palec pravé ruky | 1,94 | | 0,97 | 2,91 | | 1,46 | | | | 2,47 | 2,07 | 2,27 |
| Palec levé nohy | 3,00 | | 1,50 | 3,22 | | 1,61 | | | | | | |
| Palec pravé nohy | 2,93 | | 1,47 | 3,23 | | 1,62 | | | | | | |
| Intergluteální rýha | | | | | | | | | | | | |
| Brada | 2,50 | | | | | | 2,02 | 2,03 | 2,03 | | | |
| Jugulum | | | | | | | 1,73 | 1,83 | 1,78 | | | |

Tabulka 5e: Naměřené hodnoty v potenciálně poddávkových a předávkovaných oblastech u rotační techniky

| Pacient | Pacient č. 10 - rotace | | | | | | Pacient č. 11 -rotace | | | | | | Pacient č. 1 - rotace |
|---------------------------|------------------------|-----------------|------|-------------------|-----------------|------|-----------------------|-------------------|------|-----------------|-------------------|------|-----------------------|
| Výsledky měření [Gy] | 1. měření červená | 2. měření černá | x/2 | 1. měření červená | 2. měření černá | x/2 | 1. měření černá | 2. měření červená | x/2 | 1. měření černá | 2. měření červená | x/2 | 1. měření červená |
| Místo měření | | | | | | | | | | | | | |
| Pravá strana krku | 0,17 | 2,07 | 1,12 | 0,67 | 2,44 | 1,56 | 1,61 | 0,76 | 1,19 | 1,66 | 1,06 | 1,36 | 1,30 |
| Levá strana krku | 1,71 | 0,42 | 1,07 | 1,91 | 0,58 | 1,25 | 0,84 | 1,59 | 1,22 | 1,04 | 1,50 | 1,27 | 2,52 |
| Pravá axilla | | | | 2,28 | 2,69 | 2,49 | 0,30 | 2,25 | 1,28 | 1,32 | 2,23 | 1,78 | 2,22 |
| Levá axilla | | | | 0,07 | 1,91 | 0,99 | 2,26 | 1,42 | 1,84 | 2,34 | 1,08 | 1,71 | 0,31 |
| Temeno | 0,75 | 1,45 | 1,10 | 1,82 | 2,18 | 2,00 | 1,66 | 1,97 | 1,82 | 1,63 | 1,90 | 1,77 | 2,51 |
| Vnitřní strana l. stehna | 1,03 | 1,33 | 1,18 | 1,24 | 1,10 | 1,17 | | | | | | | |
| Vnitřní strana pr. stehna | 1,23 | 1,32 | 1,28 | 1,14 | 2,32 | 1,73 | | | | | | | |
| Palec levé ruky | 1,99 | 3,42 | 2,71 | 2,07 | 0,94 | 1,51 | 2,44 | 2,03 | 2,24 | | | | 2,32 |
| Palec pravé ruky | 3,52 | 2,36 | 2,94 | 3,02 | 1,39 | 2,21 | 2,29 | 2,70 | 2,50 | 2,48 | 2,90 | 2,69 | 2,67 |
| Palec levé nohy | 2,69 | 3,14 | 2,92 | 2,16 | 0,72 | 1,44 | 3,04 | 3,04 | 3,04 | 3,05 | | 1,53 | 2,43 |
| Palec pravé nohy | 2,29 | 3,32 | 2,81 | 2,06 | 0,59 | 1,33 | 3,11 | 3,01 | 3,06 | 3,02 | | 1,51 | 2,38 |
| Intergluteální rýha | 1,15 | 1,64 | 1,40 | 1,10 | 2,63 | 1,87 | 1,78 | 1,42 | 1,60 | 0,92 | 1,12 | 1,02 | 0,78 |
| Brada | | | | | | | 2,84 | 2,81 | 2,83 | | | | |
| Jugulum | | | | | | | 2,09 | 2,08 | 2,09 | | | | |

Tabulka 6: Naměřené hodnoty v základních bodech u statické techniky

| Pacient | Pacient č. 12 - statika | | | | | | Pacient č. 13 - statika | | |
|-----------------------|-------------------------|-----------------|------|-------------------|-----------------|------|-------------------------|-------------------|------|
| Výsledky měření [Gy] | 1. měření červená | 2. měření černá | x/2 | 3. měření červená | 4. měření černá | x/2 | 1. měření černá | 2. měření červená | x/2 |
| Místo měření | | | | | | | | | |
| Sřed černé díry AP | 2,4 | 2,34 | 2,37 | 2,4 | 2,38 | 2,39 | 2,75 | 2,24 | 2,50 |
| Horní okraj č. d. AP | 2,42 | 2,41 | 2,42 | 2,42 | 2,35 | 2,39 | 2,2 | 2,04 | 2,12 |
| Dolní okraj č. d. AP | 2,36 | 2,34 | 2,35 | 2,45 | 2,39 | 2,42 | 2,24 | 2,18 | 2,21 |
| Sřed černé díry PA | 2,16 | 2,15 | 2,16 | 2,08 | 2,09 | 2,09 | 1,95 | 2,09 | 2,02 |
| Horní okraj č. d. PA | 2,15 | 2,16 | 2,16 | 2,05 | 2,08 | 2,07 | 2,2 | 2,11 | 2,16 |
| Dolní okraj č. d. PA | 2,24 | 2,19 | 2,22 | 2,13 | 2,19 | 2,16 | 2,11 | 2,2 | 2,16 |

Tabulka 7: Naměřené hodnoty v potenciálně poddávkových a předávkových oblastech u statické techniky

| Pacient | Pacient č. 12 - statika | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------|------|--------------|--------------|------|
| Výsledky měření [Gy] | 1. měření | 2. měření | x/2 | 3. měření | 4. měření | x/2 |
| Místo měření | | | | | | |
| Pravá strana krku | 2,43 | 2,87 | 3,87 | 1,54 | 2,72 | 2,90 |
| Levá strana krku | 0,33 | 2,09 | 1,38 | 0,24 | 0,19 | 0,34 |
| Pravá axilla | 0,58 | 0,08 | 0,62 | 0,44 | 1,81 | 1,35 |
| Levá axilla | 0,78 | 1,87 | 1,72 | 0,35 | 0,49 | 0,60 |
| Temeno | 2,77 | 0,9 | 3,22 | 0,74 | 0,78 | 1,13 |
| Vnitřní strana l. stehna | 2,78 | 3,71 | 4,64 | 2,07 | 1,06 | 2,60 |
| Vnitřní strana pr. stehna | 2,24 | 2,66 | 3,57 | 2,5 | 2,78 | 3,89 |
| Palec levé ruky | 2,2 | 2,32 | 3,36 | 2,08 | 2,04 | 3,10 |

Tabulka 8: Naměřené hodnoty v základních bodech u retreatmentu (4 Gy)

| Pacient | Pacient č. 14 - rotace | | | Pacient č. 9 - rotace | | | Pacient č. 13 - statika | Pacient č. 10 - rotace | Pacient č. 10 - rotace II |
|----------------------|------------------------|-------------------|------|-----------------------|-----------------|------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| Výsledky měření [Gy] | 1. měření černá | 2. měření červená | x/2 | 1. měření červená | 2. měření černá | x/2 | 1. měření | 1. měření červená | 1. měření červená |
| Místo měření | | | | | | | | | |
| Střed černé díry AP | 4,11 | 4,08 | 4,10 | 3,7 | 3,64 | 3,67 | 4,01 | 4,31 | 4,5 |
| Horní okraj č. d. AP | 3,7 | 3,65 | 3,68 | 3,67 | 3,55 | 3,61 | 4,02 | 3,86 | 3,98 |
| Dolní okraj č. d. AP | 4,39 | 4,04 | 4,22 | 3,81 | 3,86 | 3,84 | 4,55 | 4,17 | 4,33 |
| Střed černé díry PA | 3,83 | 3,65 | 3,74 | 3,71 | 3,64 | 3,68 | 4,04 | 3,24 | 3,28 |
| Horní okraj č. d. PA | 3,6 | 3,5 | 3,55 | 3,56 | 3,41 | 3,49 | 3,45 | 3,96 | 3,84 |
| Dolní okraj č. d. PA | 3,94 | 4,08 | 4,01 | 3,44 | 3,22 | 3,33 | 3,89 | 3,68 | 3,59 |

Tabulka 9: Příklad naměřených hodnot v oblastech zájmu

| Pacient | Pacient č. 11 - rotace | | Pacient | Pacient č. 6 - rotace | | Pacient | Pacient č. 9 - rotace | |
|----------------------------|------------------------|--------------|--------------------|------------------------|----------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| | Červená pozice | Černá pozice | | Výsledky měření [Gy] | Červená pozice | | Černá pozice | Výsledky měření [Gy] |
| Místo měření | | | Místo měření | | | Místo měření | | |
| Pravé rameno | 0,95 | 2,29 | Pr. předloktí | 2,24 | 2,25 | Čelo vlevo | 1,86 | 1,44 |
| Pr. předloktí zevnitř | 2,00 | 1,81 | L. předloktí | 2,05 | 2,22 | Nárt pr. nohy | 2,40 | 2,34 |
| Zevní hrana pr. ruky | 2,37 | 2,56 | L. loket zevně | | 1,99 | Nárt levé nohy | 2,55 | 2,38 |
| L. předloktí zevnitř | 1,65 | 1,76 | Krk PA | 1,86 | 2,04 | L. stehno zevně | 2,09 | 2,01 |
| L. loket | 2,28 | | Pod l. lopatkou | 1,83 | 2,09 | Pr. lýtko zevně | 1,97 | 1,98 |
| Tumory l. paže PA | 2,36 | 2,37 | Pod pr. lopatkou | 2,07 | 2,07 | L. ruka zevně | 2,55 | 2,14 |
| Mezi lopatkami | 2,12 | 2,19 | Střed l. paže AP | 2,12 | 1,43 | L. koleno | 2,18 | 1,83 |
| Nad levým boltcem | 1,96 | | L. předloktí AP | 2,14 | 2,36 | Pod pr. lopatkou | 1,96 | 1,86 |
| Levý bérce AP | 2,22 | 2,18 | L. stehno - tumor | 2,13 | 2,17 | Pod l. lopatkou | 1,88 | 2,02 |
| L. stehno AP- střed tumoru | 2,38 | 2,40 | L. kubitální jamka | 1,54 | 1,82 | L. bederní oblast- tumor | 2,21 | 2,26 |
| L. stehno zevně nahoře | 2,24 | 2,25 | Submammárně vlevo | 0,37 | 2,38 | L. loket zevně | 2,24 | 1,97 |
| Pr. stehno PA | 2,20 | 2,00 | Submammárně vpravo | 2,43 | 0,37 | Pr. kotník- zevně | 1,92 | 1,97 |
| Pr. stehno zevně nahoře | 2,36 | 2,15 | | | | | | |

Obr 7a, 7b: Točna



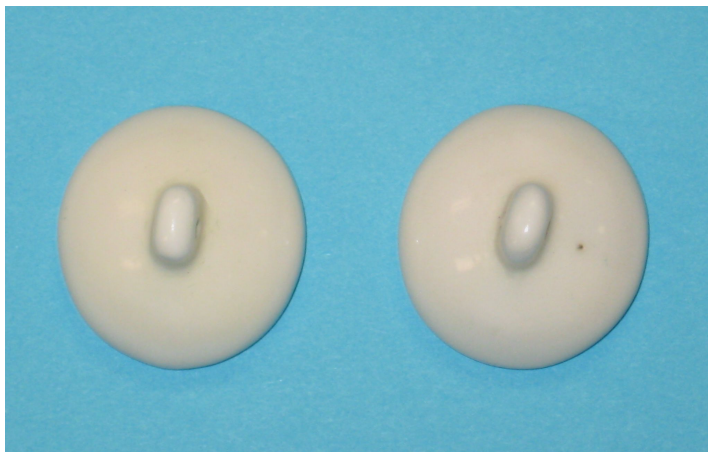
Obr. 8: Zakreslení pozic nohou na točně pro statickou i rotační techniku TSEI



Obr. 9: Stínění nohou - „Botičky“



Obr.10a: Stínění očí zaváděné pod oční víčka



Obr. 10b: Stínění očí zaváděné pod oční víčka

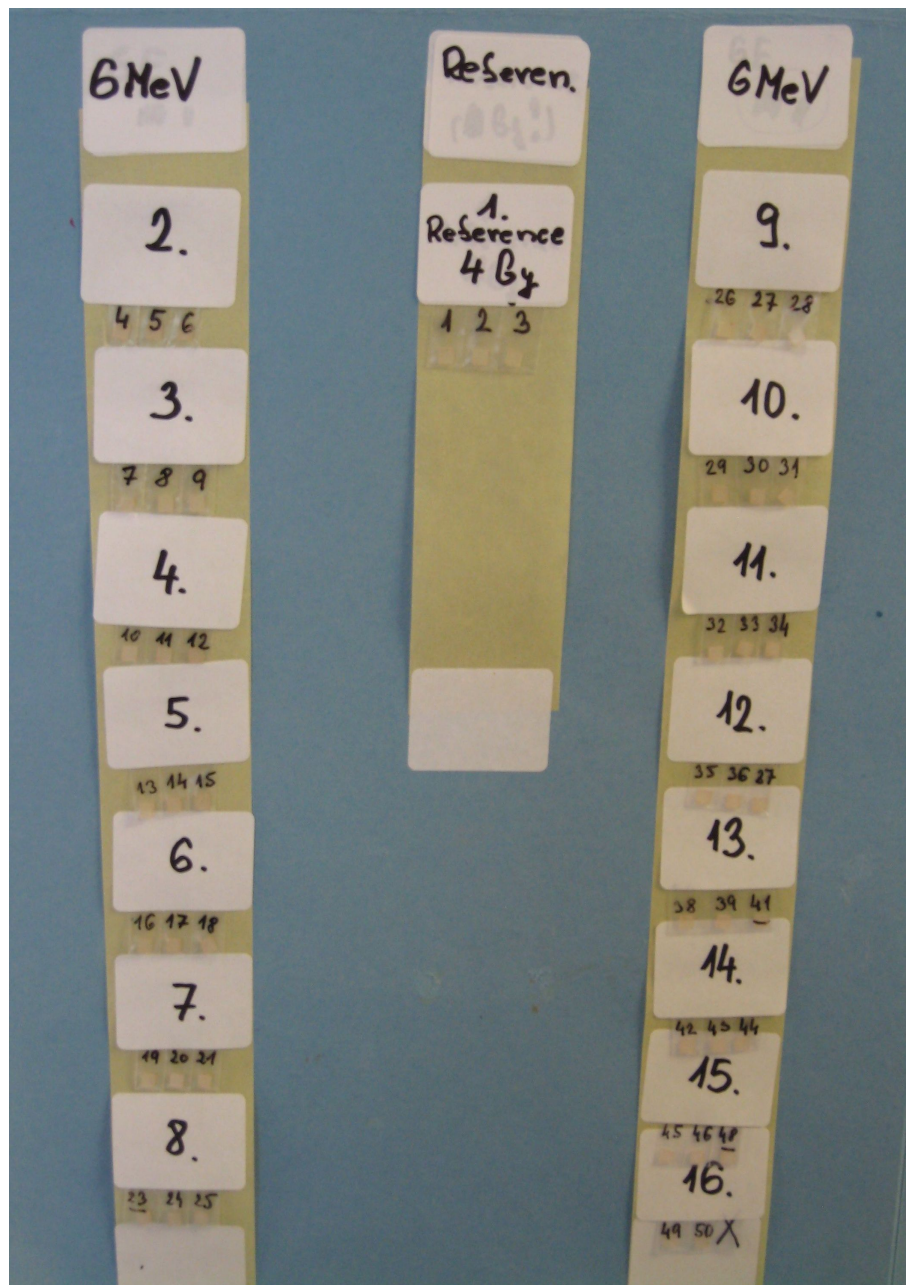


Obr. 11: Před zavedením stínění pod oční víčka se připraví stolek:

- sterilní rukavice pro lékaře
- vydezinfikované, fyziologickým roztokem 3x opláchnuté a v Ophtalu namočené stínění na oči
- kapky ke znecitlivění očí
- oční mast
- sterilní čtverce, kterými se překryje zavedené stínění
- pruban k pevnější fixaci zavedeného stínění
- kapky k propláchnutí očí po vyjmutí stínění
- emitní miska
- náplast
- nůžky



Obr.11: Sada TL dozimetrů připravená k měření



Obr. 12: Přístroj pro vyhodnocení TLD HARSHAW 4000



Obr. 13: Pícka pro předohřev a annealing



Obr. 14a: Pacient před TSEI...



Obr. 14b: ... a po celotělovém ozařování



Obr. 15a: Pacient před TSEI...



Obr. 15b:... a po celotělovém ozařování



Obr. 16a: Pacientka před TSEI...



Obr. 16b: ... a po celotělovém ozařování

