

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Natálie Vavrečanová

Radiační ochrana pracovníků v radiodiagnostice

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Tomáš Tichý

Olomouc 2023

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím jen uvedených bibliografických a elektronických zdrojů.

V Olomouci 21.4.2023

Natálie Vavrečanová

Poděkování

Mé poděkování náleží Mgr. Bc. Tomáši Tichému za odborné vedení bakalářské práce, cenné rady a připomínky při její tvorbě.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Téma práce: Radiační ochrana pracovníků v radiodiagnostice

Název práce: Radiační ochrana pracovníků v radiodiagnostice

Název práce v AJ: Radiation protection of workers in radiodiagnosis

Datum zadání: 2022-11-30

Datum odevzdání: 2023-04-21

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

Autor práce: Natálie Vavrečanová

Vedoucí práce: Mgr. Bc. Tomáš Tichý

Oponent práce: Mgr. Lada Skácelová, MBA

Abstrakt v ČJ: V této práci se nejdříve zaměřuji obecně na radiační ochranu, její historii a vývoj, účinky ionizujícího záření, principy a způsoby radiační ochrany. Poté ji popíšu v jednotlivých radiodiagnostických pracovištích a následně se soustředím na ochranu zdravotnického personálu.

Abstrakt v AJ: In this thesis I first focus on radiation protection in general, its history and development, the effects of ionizing radiation, principles and methods of radiation protection. Then I describe it in individual radiological workplaces and focus on the protection of medical staff.

Klíčová slova v ČJ: radiační ochrana, radiodiagnostika, ionizující záření, principy RO, účinky záření

Klíčová slova v AJ: radiation protection, radiodiagnosis, ionizing radiation, principles of radiation protection, effects of radiation

Rozsah: 39

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	5
ÚVOD	7
1. RADIAČNÍ OCHRANA	9
1.1 Historie, vývoj radiační ochrany.....	9
1.1.1 Ztracené období (1905-1925)	10
1.1.2 Vývojové období	10
1.1.3 Vývoj radiační ochrany v České republice.....	12
1.2 Veličiny a jednotky používané v radiační ochraně.....	12
1.3 Účinky ionizujícího záření.....	15
1.4 Principy radiační ochrany	17
1.4.1 Princip zdůvodnění	17
1.4.2 Princip optimalizace	18
1.4.3 Princip limitování dávek.....	18
1.4.4 Princip bezpečnosti zdrojů.....	18
1.5 Způsoby radiační ochrany	21
1.5.1 Ochrana časem.....	21
1.5.2 Ochrana stíněním	22
1.5.3 Ochrana vzdáleností.....	24
2. RADIAČNÍ OCHRANA NA JEDNOTLIVÝCH RDG PRACOVIŠTÍCH.....	25
2.1 Radiační ochrana na skiagrafickém pracovišti	25
2.2 Radiační ochrana na CT pracovišti.....	27
2.3 Radiační ochrana na skiaskopickém a katetrizačním sále	28
3. RADIAČNÍ OCHRANA PRACOVNÍKŮ	30
3.1 Kategorizace radiačních pracovníků	30
3.2 Osobní monitorování	30
3.3 Monitorování	32
3.3.1 Dávková optimalizační mez	34
4. ZÁVĚR	36
5. SEZNAM INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	37
6. SEZNAM TABULEK.....	39
7. SEZNAM OBRÁZKŮ	39

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

RDG.....	RADIODIAGNOSTIKA
LO.....	LÉKAŘSKÉ OZÁŘENÍ
IZ.....	IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ
RTG.....	RENTGEN (OVÝ)
RO.....	RADIAČNÍ OCHRANA
ICRP.....	INTERNATIONAL X-RAY AND RADIUM PROTECTION COMMITTEE
ACXRP.....	ADVISORY COMMITTEE ON X-RAY AND RADIUM PROTECTION
IAEA.....	MEZINÁRODNÍ AGENTURA PRO ATOMOVOU ENERGII
BSS.....	ZÁKLADNÍ BEZPEČNOSTNÍ STANDARDY
SÚJB.....	STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST
KHS.....	KRAJSKÉ HYGIENICKO-EPIDEMIOLOGICKÉ STANICE
CHZ.....	CENTRUM HYGIENY ZÁŘENÍ
SÚRO.....	STÁTNÍ ÚSTAV RADIAČNÍ OCHRANY
US.....	ULTRASONOGRAFIE
MR.....	MAGNETICKÁ REZONANCE
ALARA.....	AS LOW AS REASONABLY ACHIEVABLE
DRÚ.....	DIAGNOSTICKÉ REFERENČNÍ ÚROVNĚ
MDRÚ.....	MÍSTNÍ DIAGNOSTICKÉ REFERENČNÍ ÚROVNĚ
NDRÚ.....	NÁRODNÍ DIAGNOSTICKÉ REFERENČNÍ ÚROVNĚ
PZ.....	PŘEJÍMACÍ ZKOUŠKA
ZIZ.....	ZDROJ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ
RÚ.....	REFERENČNÍ ÚROVNĚ
DOM.....	DÁVKOVÁ OPTIMALIZAČNÍ MEZ
CT.....	VÝPOČETNÍ TOMOGRAFIE
KP.....	KONTRLOVANÉ PÁSMO
RBÚ.....	RELATIVNÍ BIOLOGICKÁ ÚČINNOST

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá radiační ochranou pracovníků při lékařském ozáření na radiodiagnostických pracovištích. Neustálé dotazy mých blízkých na působení RTG záření a jeho škodlivých účinků na organismus byly důvodem vybrání tohoto tématu. Prvním cílem je tedy získání nových znalostí za účelem zodpovědět všechny jejich dotazy. Dalším cílem mé práce je sumarizace dohledaných a aktuálních poznatků o radiační ochraně obecně a radiační ochraně pracovníků. Cíl specifikuji v dílčích cílech:

1. Cíl: Sumarizace dohledaných poznatků o historii radiační ochrany, účincích ionizujícího záření a možnosti radiační ochrany, jako jsou principy a způsoby.
2. Cíl: Sumarizace dohledaných poznatků o radiační ochraně pracovníků v jednotlivých pracovištích.
3. Cíl: Sumarizace dohledaných poznatků o kategorizaci pracovníků a jejich ochraně osobním monitorováním.

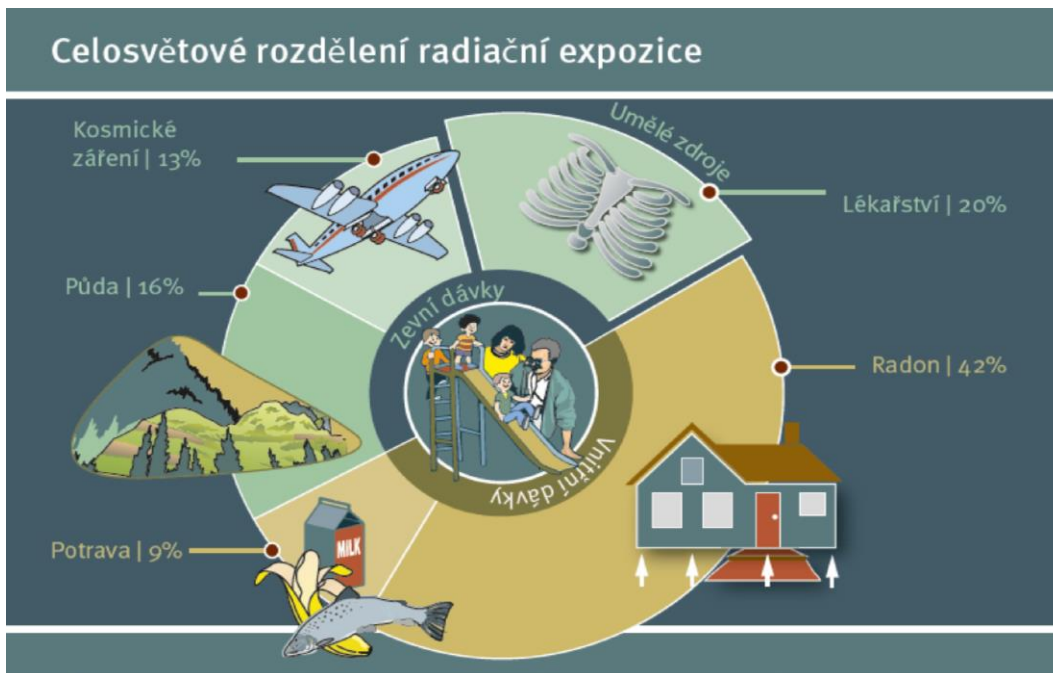
Pro rešeršní činnosti byl použit standardní postup vyhledávání s použitím vhodných klíčových slov a s pomocí booleovských operátorů. Využila jsem databáze EBSCO, Google Scholar a Medvik.

Radiodiagnostika je lékařským oborem využívající ionizující záření, které produkuje generátory záření pro určení diagnózy. Obor RDG můžeme rozdělit do několika modalit, a to výpočetní tomografie, skiografie a skiaskopie, ultrasonografie a magnetická rezonance. Poslední dvě zmiňované modalitty zahrnujeme do zobrazovacích metod, které rentgenové (ionizující) záření nevyužívají.

Ultrasonografie neboli také sonografie a ultrazvuk je zobrazovací metoda, která využívá odrazy ultrazvuku. K odrazům dochází na rozhraní různých prostředí. Magnetická rezonance využívá principu zjišťování změn magnetických momentů prvků uložených v silném statickém magnetickém poli. (10)

Lékařské ozáření se podílí z 98 % na celkové efektivní dávce člověka z umělých zdrojů, a po přírodních zdrojích je druhým největším přispívatelem k celosvětové expozici populace, z níž představuje cca 20 %. Hodnoty jsou převzaty ze stránky Státního úřadu pro jadernou bezpečnost z publikace Hodnocení lékařského ozáření. (23)

Obr. č. 1: Celosvětové rozdělení radiační expozice (21)



Současná legislativa (zákon č. 263/2016 Sb., Atomový zákon) zahrnuje do lékařského ozáření také ozáření osob, které poskytují pomoc fyzické osobě podstupující lékařské ozáření, dále ozáření osob, které se dobrovolně účastní lékařského ověřování nezavedené metody spojené s lékařským ozářením a ozáření v rámci pracovnělékařských služeb a preventivní zdravotní péče. (23) LO považujeme za potřebnou součást diagnostických vyšetření, jenž způsobuje vysokou radiační zátěž. Ke snížení této zátěže je potřeba znát principy, způsoby a další pojmy radiační ochrany.

1. RADIAČNÍ OCHRANA

1.1 Historie, vývoj radiační ochrany

Nejdříve se zaměřím na objev rentgenového záření, který vedl k poškození mnoha prvních radiologů, ale také k prvním opatřením, jak se chránit před škodlivými účinky tohoto záření. Dále popíšu období obav kvůli neomezenému využívání IZ, ale také období nových technických a biologických poznání. Na konci přejdu k vývoji radiační ochrany. Historie a vývoj radiační ochrany jsem převážně čerpala z časopisu Praktická radiologie od Davida Čestmíra a webové stránky www.bozpinfo.cz.

Wilhelm Conrad Röntgen objevil 8.listopadu 1895 elektromagnetické záření s krátkou vlnovou délkou, jež nazval paprsky X. Nebyl znám účinek nově objeveného záření. To mělo za následek vzniku radiačního poškození, jako je radiační dermatitida, kterou o pár měsíců později zpozorovali v USA, ale také v Evropě. (2) Avšak nadšenci to nechtěli připisovat neviditelným paprskům. Objevili se první experimentátoři, kteří uvažovali o jeho účinku na kůži. Vznikla první varování o možných škodlivých účincích. Kvůli novým varováním si koncem roku 1896 Elihu Thomson úmyslně exponoval malíček levé ruky půl hodiny denně, několik dní, aby potvrdil dosud nejistou domněnku. Exponování malíčku vedlo k bolesti, otoku, zarudnutí a vzniku puchýřů. (3)

Zde si dovoluji zmínit profesora chirurgie a radiologie a zakladatele Československé společnosti pro rentgenologii a radiologii Rudolfa Jedličku. Svůj první snímek vyvolal necelé dva roky po Röntgenově objevu. Nemohl si však dovolit koupit Röntgenova přístroje, protože tou dobou byl velice drahý. První pacienty tedy snímkoval v hotelu U černého koně Na Příkopě, jehož majitel zakoupil přístroj k pobavení hostů. O rok později si ho pořídil, ale utratil za něj dvojnásobek svého ročního platu. Rudolf Jedlička před vyšetřením nastavoval intenzitu záření podle obrazu své vlastní ruky. Ruku předkládal před stínítko, na kterém se objevoval živý pohled do lidských útrob. Za pár let se u Jedličky projeví první příznaky nemoci z ozáření. Přišel postupně o tři prsty na levé ruce. (15)

Stále se našli takoví lékaři, kteří popírali škodlivost záření. Avšak v roce 1900 už téměř všichni došli k výsledku, že časté užívání RTG záření způsobuje kožní popáleniny. Mezi nejběžnější způsoby, které omezily dávky pacientům, patřilo zkrácení expozice a snížení frekvence. K vlastní ochraně si experimentátoři ještě přidali kryté rentgenky a větší vzdálenost od nich. „Bylo obhájeno omezení velikosti RTG svazku, ke snížení dávky pro vyšetřované přispělo používání zesilovacích folií, zkrácení expozice a vyššího napětí na rentgence.“ (3) Pacientům zasaženým radiačním poškozením pomohly soudy, jež to označily za zanedbání péče.

Wiliam Herbert Rollins, který se dá označit za průkopníka radiační ochrany té doby, dodržoval v praxi všechna opatření ke snížení dávky. Během jeho experimentování s exponováním způsobil

smrt plodu těhotného morčete. S tímto pokusem vyslovil i obavy z používání paprsků X při vyšetřování těhotných žen v oblasti pánve. Přestože byly známy základní techniky RO již deset let po objevu, nebylo výjimkou, že existovaly RTG vyšetřovny bez užití těchto technik. (3)

1.1.1 Ztracené období (1905-1925)

Teď se posuneme do období od 1905 do 1925, kdy došlo pouze k malým a skromným pokrokům v RO. Avšak některé měly veliký význam. „Například v říjnu 1907 na setkání Americké Roentgen Ray Society v Římě, Vernon Wagner sdělil, že pro kontrolu své osobní expozice, začal nosit v kapse fotografickou desku, kterou každý večer vyvolával.“ (5) Důvodem bylo zjištění, zda došlo k jeho ozáření. Tento postup se stal předchůdcem osobní filmové dozimetrie. Přelomem se stalo přijetí doporučení radiační ochrany podle britské Roentgen Society v roce 1915 a americké Roentgen Ray Society v roce 1922. Obsahem byly jednoduché moderní standardy a pevný základ pro uživatele rentgenového záření. Radiační ochrana se dočkala skutečného vývoje až od roku 1925. (3)

1.1.2 Vývojové období

Období trvající od roku 1925 do 1945 můžeme nazvat obdobím pokroku či vývoje RO.

Začnu rokem 1925, kdy německo-americký fyzik, Arthur Mutscheller, stanovil toleranční dávku nebo přípustnou mez expozice, a to limit 0,2 rem (rem je zastaralá jednotka dávkového ekvivalentu, nyní nahrazena jednotkou Sievert). Ve stejném roce Rolf Sievert určil podobný limit. V 1920 se zavedly osobní filmové dozimetry a 1928 byla přijata jednotka pro měření radiace (1 Roentgen). Rozpoznání genetických vlivů RTG záření, uznání nebezpečí radiace a potřeba kontroly dala vzniknout International X-ray and Radium Protection Committee, předchůdkyni současné International Commission on Radiological Protection (ICRP) a následující rok vznikl U.S. Advisory Committee on X-ray and Radium Protection (ACXRP), přímý předchůdce National Council on Radiation Protection and Measurements. (3)

ICRP, česky Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu, je nezávislá registrovaná organizace, jejímž účelem je veřejně prospěšný pokrok ve vědě o radiologické ochraně. Poskytuje doporučení a pokyny o všech aspektech ochrany před ionizujícím zářením. Skládá se z hlavní komise a 4 výborů. „Hlavní komise je poradní odborná skupina, která nabízí svá doporučení regulujícím a poradním orgánům, zejména tím, že formuluje a vysvětluje základní principy, na nichž může být založena správná radiační ochrana.“ (22) Výbor č. 1 má za úkol posuzovat účinky radiačního působení a důsledky pro ochranu lidí a životního prostředí. Výbor č. 2 vypracovává dozimetrickou metodiku pro

hodnocení vnitřní a vnější radiační zátěže. Výbor č. 3 se věnuje ochraně osob a nenarozených dětí při použití IZ v lékařské diagnostice, terapii a biomedicínském výzkumu. Výbor č. 4 poskytuje rady, jak aplikovat doporučení od Komise pro ochranu lidí a životního prostředí. (17)

Výše zmíněné organizace provedly studii o toleranci dávky a stanovily konečná, vědecky podložená doporučení RO. První byla zveřejněna v roce 1931. V 1936 ACXRP doporučil snížení limitu dávky na 0,1 R/den. V roce 1941 Lauriston Taylor doporučuje ještě další snížení limitu dávky na 0,02 R/den, čili zhruba ekvivalent 5 rem/rok. (3)

Rok 1942 představoval velký pokrok v radiační ochraně a definovala se jednotka rem pro biologickou účinnost záření. (3)

Posuneme se dál v čase a v letech 1956-1958 byly ICRP stanoveny dávkové limity pro celé tělo, gonády a kostní dřev na 5 rem/rok, pro ostatní orgány 15-75 rem/rok. „Stanovil se tzv. akumulární vzorec pro věkově závislé limitování ozáření $D=5*(\text{věk}-18)$.“ (16) Doporučení č. 60, které ICRP vydalo v roce 1991, definovalo systém radiační ochrany, který prakticky funguje dodnes. „Mezinárodní agentura pro atomovou energii ve Vídni (IAEA) rozpracovala toto Doporučení do tzv. Základních bezpečnostních standardů – BSS, podobně jako Evropská unie do Směrnice Rady Evropy 96/29.“ (16) Tato směrnice, kterou přijal i náš stát, se stala základem právních předpisů EU v oblasti radiační ochrany (viz. vyhláška SÚJB č. 422/2016 Sb. v platném znění). (16)

1.1.3 Vývoj radiační ochrany v České republice

Nyní se přesuneme na vývoj systému radiační ochrany v ČR. Státní radiologický ústav byl v Praze založen v roce 1918 a jako "hlavní orgán" v oboru "záření" působil v podstatě až do roku 1959. Ústav začal dohlížet na radiační hygienu v československých podnicích, které používaly ionizující záření, již v roce 1947. To zahrnovalo provádění rutinních radiačně-hygienických kontrol zaměstnanců. (16)

V roce 1959 po postupné reorganizaci ústavu byl založen Ústav pro výzkum, výrobu a využití radioizotopů. Ústavy pracovního lékařství začaly vznikat uvnitř Ministerstva zdravotnictví současně jako "výzkumné a vyšetřovací orgány pro ochranu zdraví při práci". Od roku 1952 byl v Československu přijat sovětský model hygienické a protiepidemické péče, byl zřízen Ústav hygieny práce a chorob z povolání v Praze s oblastním ústavem v Bratislavě a při Krajských národních výborech byly zřízeny Krajské hygienicko-epidemiologické stanice (KHS). (16)

Výzkumný ústav hygieny záření byl založen v roce 1965 a po sloučení s Institutem hygieny záření se v roce 1971 stal Centrem hygieny záření (CHZ). Specifickými hygienickými otázkami souvisejícími s těžbou a zpracováním uranové rudy se zabýval Ústav hygieny práce v uranovém průmyslu v Příbrami, založený v témže roce. Tato struktura se udržela do roku 1995, kdy se Vláda ČR rozhodla

sloučit radiační ochranu a jadernou bezpečnost do Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB). Útvary radiační hygieny při KHS byly reorganizovány na Regionální centra SÚJB a na bázi CHZ byl vytvořen Státní ústav radiační ochrany (SÚRO). (16)

V letech 1997-2002 došlo k vytvoření a uvedení v platnost zákona č. 18/1997 Sb. o radiační ochraně a jaderné bezpečnosti – atomový zákon (zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon v platném znění). Na něj navazuje řada prováděcích předpisů v oblasti RO a jaderné bezpečnosti, jež SÚJB dávaly rozsáhlé pravomoci v oblasti státní správy a dozoru při využívání jaderné energie a IZ. Prováděcí předpisy v oblasti RO byly uvedeny do souladu s právem EU. (16)

1.2 Veličiny a jednotky používané v radiační ochraně

Při emisi záření dochází k interakci s hmotou. Vyzářená energie se v dané hmotě absorbuje a množství záření pohlcené látkou se charakterizuje jako absorbovaná dávka.

Absorbovaná dávka, zkráceně jen dávka, se označuje velkým písmenem D. Charakterizuje fyzikálně-chemické i biologické účinky záření na látku a je základní veličinou dozimetrie. „Je to energie ionizujícího záření absorbovaná v daném místě ozařované látky na jednotku hmotnosti, tj. $D = \Delta E / \Delta m$.“ (14) „ ΔE představuje střední energii ionizujícího záření absorbovanou v objemovém elementu látky a Δm je hmotnost tohoto objemového elementu.“ (14) Původní jednotkou dávky byl rad (z anglického **r**adiation **a**bsorbed **d**ose). Nyní se používá jednotka 1 J/kg nazývající se Gray (Gy). (14) (8)

Biologický účinek závisí nejen na dávce, ale i na dávkovém příkonu a druhu záření.

„Dávkový příkon značící se D' je dávka obdržená v daném místě ozařovanou látkou za jednotku času, tedy poměr přírůstku dávky ΔD za časový interval Δt , tj. $D' = \Delta D / \Delta t$.“ (14). Jednotka je Gray za sekundu. (14)

Pro účely radiační ochrany byly dále zavedeny tyto veličiny: ekvivalentní dávka, efektivní dávka a dávkový ekvivalent.

„Stochastické účinky v dané tkáni nebo orgánu T lze vyjádřit ekvivalentní dávkou $H_{T,R}$ vyvolanou zářením R.“ (7) Ekvivalentní dávka představuje součin absorbované dávky v orgánu nebo tkáni v důsledku záření typu R $D_{T,R}$ a radiačního váhového faktoru W_R , tj. $H_{T,R} = D_{T,R} * W_R$. Při zahrnutí příspěvků od všech druhů záření lze $H_{T,R}$ vyjádřit ve formě součtu takových součinů. Jednotkou je Sievert (Sv). V praxi se spíše používají mSv pro popis obdržného záření radiačních pracovníků a pacientů. Ekvivalentní dávka není měřitelná. (7) (9)

Radiační váhový faktor se udává jako bezrozměrná veličina, jejíž hodnoty závisí na druhu a energii záření viz. tabulka č. 1. „Radiální váhové faktory jsou v podstatě dohodnuté hodnoty relativní biologické účinnosti (RBÚ) pro účely radiační ochrany v oblasti stochastických účinků a nízkých dávek.“ (5) Hodnota w_R pro určitý typ záření do určité míry souvisí s jeho lineárním přenosem energie. (7)

Tab. č. 1: Hodnoty radiačního váhového faktoru pro jednotlivé druhy záření a jejich energie

Druh a energie záření	Radiační váhový faktor w_R
Fotony gama a X (všechny energie)	1
Elektrony a mezony, všechny energie	1
Neutrony o energie E_n	
- $E_n < 10 \text{ keV}$	5
- $10 \text{ keV} \leq E_n \leq 100 \text{ keV}$	10
- $100 \text{ keV} < E_n \leq 20 \text{ MeV}$	20
- $E_n > 20 \text{ keV}$	5
Protony (jiné než odražené, energie $> 2 \text{ MeV}$)	2
Částice alfa, štěpné produkty, těžká jádra	20

Hodnoty z tab. č. 1 byly převzaty ze zdroje 7.

Efektivní dávka E se řadí jako nejdůležitější veličina v radiační ochraně. Nejlépe aproximuje stochastické biologické účinky. Benefitem efektivní dávky je možnost hodnotit míru závažnosti stochastických účinků i při velmi nehomogenním ozáření člověka. E také není měřitelná. (5)

„Efektivní dávka se získá součtem ekvivalentních dávek ve všech význačných tkáních a orgánech lidského těla vynásobených tkáňovým váhovým faktorem w_T ($E = \sum H_T * w_T$).“ (8) Tkáňové váhové faktory vyjadřují, že jednotlivé orgány a tkáně jsou různě radiosenzitivní. Jednotkou je také Sievert. (7) (8)

„Dávkový ekvivalent, označovaný jako H , je definován součinem absorbované dávky D a bezrozměrného jakostního faktoru Q_F ($H = D * Q$).“ (9) H se používá v osobní dozimetrii a dozimetrii pracovního prostředí. (5)

„Hodnoty jakostního činitele Q_F jsou vztaženy k lineárnímu přenosu energie L uplatňujících se nabitých částic.“ (7) Hodnoty jakostního činitele, stejně jako v případě radiačního váhového faktoru, jsou dohodnutou hodnotou RBÚ pro účely radiační ochrany. Základní jednotkou dávkového

ekvivalentu se udává Sievert. Jak jsem již zmínila výše, v praxi se spíše využívají menší jednotky (mSv). (5) (7)

Výše jsem uvedla, že ekvivalentní a efektivní dávka nejsou měřitelné. Tato skutečnost se stala důvodem pro zavedení odvozených limitů pro účely radiační ochrany, jež jsou důležité zvláště v osobní dozimetrii pracovníků. „Pro zevní ozáření je to osobní dávkový ekvivalent $H_P(0,07)$ v hloubce tkáně 0,07 mm a osobní dávkový ekvivalent $H_P(10)$ v hloubce tkáně 10 mm pod povrchem těla.“ (5) K měření obou těchto veličin nám slouží například dozimetr. (5)

Tab. č. 2: Přehled veličin a jednotek používaných v radiační ochraně

Veličina	Symbol	Jednotka	Vztah dané veličiny
Absorbovaná dávka	D	Gray (Gy)	$D = \Delta E / \Delta m$
Dávková příkon	D'	Gray za sekundu (Gy * s ⁻¹)	$D' = \Delta D / \Delta t$
Ekvivalentní dávka	H_T	Sievert (Sv)	$H_{T,R} = D_{T,R} * w_R$
Efektivní dávka	E	Sievert (Sv)	$E = \Sigma H_T * w_T$
Dávkový ekvivalent	H	Sievert (Sv)	$H = D * Q$

1.3 Účinky ionizujícího záření

Jak jsem již zmínila, dříve účinky IZ nebyly zcela známy. Než se objevili první experimentátoři, kteří zjistili škodlivé působení při častém používání paprsků X. V této podkapitole popíšu účinky podrobněji.

Účinky spočívají na druhu záření, dávce záření a dávkovém příkonu a na stavu organismu, v kterém se v době ozáření nachází. Při průchodu IZ živou hmotou dochází k ionizaci a excitaci. Ozáření buněk se děje prostřednictvím dvou mechanismů, a to je přímý a nepřímý mechanismus. (12)

Při přímém mechanismu energie záření interaguje přímo s jádrem buňky. Toto vede k inaktivaci nebo smrti buňky. Většinou se to týká buněk s nízkým obsahem vody.

Během nepřímého účinku záření interaguje s molekulami a atomy, především vody. Dochází k radiolýze vody s tvorbou volných radikálů. Volné radikály se dále šíří buňkou, ničí chemické vazby a produkují chemické změny. Tyto chemické změny vedou k biologickému poškození. (12)

Lidský organismus se skládá z jednotlivých tkání a orgánů, které nemají stejnou citlivost k ozáření, tzv. radiosenzitivitu. Při podání stejné absorbované dávky se v různých tkáních biologické účinky projeví odlišně. Radiosenzitivnější tkáně jsou takové, kde probíhá rychlé buněčné dělení.

Doba mezi poškozením chemické vazby a biologickým projevem poškození je různá. Podle této doby rozdělujeme účinky na brzké a pozdní. (12)

Když dojde ke smrti buňky, což se děje v řádu hodin až dnů, jedná se o brzké účinky. (12)

Dojde-li k poškození onkogennímu, které se může projevit i po několika letech, jde o pozdní účinky záření. (12)

Dále dělíme účinky na deterministické a stochastické vzhledem k vztahu dávky a účinku. (12)

Deterministické jsou charakteristické určitou prahovou dávkou. Pod prahovou dávkou se účinky neprojeví. Dojde totiž k usmrcení jen určité části buněk a okolní buňky mají nadále způsobilost kompenzovat funkci těch usmrcených. Jakmile se překročí určitá dávka, nastane usmrcení i okolní buněčné populace, která zastávala funkce poškozených buněk, a vzniká poškození. Při zvyšování dávky roste i závažnost poškození. Jakmile dojde k dosažení určité dávky, nedochází k dalšímu závažnějšímu poškození, jelikož jsou všechny buňky usmrcené. Deterministické účinky mají charakteristický klinický obraz. Patří zde například akutní nemoc z ozáření, katarakta, neplodnost, radiační zánět kůže a tak dále. (1)

Akutní nemoc z ozáření bývá označována i jako akutní radiační syndrom. Dochází k poškození gastrointestinálního traktu, centrální nervové soustavy a kostní dřeni. Doprovází ho zvracení a průjemy během několika hodin a minut po ozáření. Katarakta se objevuje při jednorázových dávkách od 2 Gy a výše. Co se týče frakcionovaného ozáření je prahová dávka 5 Gy. (12) Katarakta se může plně rozvinout až po uběhnutí několik desítek let po ozáření. Důvod vzniku je velké množství poškozených buněk v oční čočce, které se zde hromadí. K neplodnosti dochází kvůli poškození nezralých vajíček ozářeními. Množství dávky, které způsobí neplodnost, spočívá na věku. Čím vyšší je věk, tím je méně vajíček, tudíž i dávka se snižuje. U mužů vede ozáření k dočasné nebo trvalé ztrátě spermií. Radiační poškození kůže se ve velké míře vyskytovala mezi prvními radiology, kteří byli vystavováni velkým dávkám záření. Výsledkem byla častá ztráta prstů (viz obrázek č. 2). Je to zapříčiněno úplným usmrcením buněk a buněčného cyklu. První potvrzené případy tohoto poškození byly u německého chemika Giesela, Marie Curie-Sklodovské a Henriho Becquerela. (26)

Obr. č. 2: Radiační nekróza prstů ruky



Obrázek byl převzat z internetové stránky. (26)

Deterministické účinky se v RTG diagnostice běžně nevyskytují, mohou se objevit u pacientů po komplikovaných intervenčních výkonech nebo u lékařů, kteří dlouhodobě provádějí intervenční výkony. (12)

Stochastické účinky jsou bezprahové. Se zvyšovanou dávkou se nezvedá závažnost poškození. Platí, že čím vyšší dávka je podána, tím je větší pravděpodobnost vzniku onemocnění. Nemá typický klinický obraz. Zavedením limitů nelze zamezit vzniku stochastických účinků, ale jde snížit pravděpodobnost jejich výskytu na minimum při udržování dávek na tak nízkých úrovních, jak je to jen možné. (12)

Řadíme zde onkogenní účinky (vznik leukémie nebo solidních tumorů) a genetické změny. Vyplývají ze změněné informace DNA, která může v případě nesprávných reparačních mechanismů způsobit mutaci nebo maligní transformaci. Doba latence je doba mezi ozáření a manifestací solidních tumorů a leukémie. U několika jedinců se v důsledku ozáření objevily solidní tumory, například rakovina ústní dutiny, jícnu, žaludku, plic, prsu a tak dále. (12)

Největší riziko vzniku těchto účinků bylo spatřeno u kontinuálně proliferujících tkání (12).

1.4 Principy radiační ochrany

Jak jsem již uvedla v předchozí podkapitole, při ozáření vznikají stochastické a deterministické účinky. Cílem radiační ochrany je snížit míru rizika vzniku stochastických účinků na minimum a

eliminovat tak vznik deterministických účinků. K tomuto nám napomáhají čtyři základní principy radiační ochrany.

1. Princip zdůvodnění
2. Princip optimalizace
3. Princip limitování dávek
4. Princip bezpečnosti zdrojů (12)

Nyní podrobněji popíšu jednotlivé principy a jejich uplatnění v rentgenové diagnostice.

1.4.1 Princip zdůvodnění

Tento princip říká, že při ozáření pacienta během radiodiagnostického výkonu ionizujícím zářením, které je škodlivé a způsobuje poškození organismu, musí převládat přínos nad rizikem vyšetření pro ozářeného jedince (diagnostika onemocnění nebo zlepšení stavu). (11)

Uplatnění je následující. Před výkonem využívající ionizující záření by se mělo zvážit, zda nelze dosáhnout požadované diagnostické informace i bez použití IZ. Vyšetření, která se nám nabízí, jsou sonografie a magnetická rezonance. Pokud není možné aplikovat US ani MR, je potřeba stanovit důvod k vyšetření s IZ, aby se mohl vyhodnotit benefit z tohoto výkonu.

„Z celkového počtu RTG výkonů je až 30 % nesprávně indikovaných, jsou tedy nezdůvodněné.“ (12) Přesto je velká část z nich provedena, protože kontraindikace z řad radiologů je někdy velmi obtížná. V České republice existuje dokument *Indikační kritéria pro zobrazovací metody*, který vyšel v roce 2003 ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví. Poskytuje návod pro indikující lékaře, jak správně postupovat z hlediska indikace radiodiagnostických výkonů. (12)

1.4.2 Princip optimalizace

Každý, kdo provádí činnost vedoucí k ozáření, je povinen dodržovat princip optimalizace.

Tento princip říká, že riziko ohrožení života, zdraví osob a životního prostředí při činnostech, které vedou k ozáření, musí být tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout. (5)

Označuje se také jako ALARA, což je zkratka z anglického jazyka „As Low As Reasonably Achievable“. (5)

Tento princip je použit při diagnostických a intervenčních procedurách se snahou udržet ozáření na co nejnižší úrovni nutné k provedení příslušných úkonů. (7)

Nestačí, když je ozáření zdůvodněno. Musí být i prokázáno, že jsou pacienti co nejméně ozářeni. Optimalizace je udržování rovnováhy mezi potřebnou dávkou a požadovanou kvalitou výstupu

z vyšetření.

K principu patří i zavedení, používání a pravidelná kontrola diagnostických referenčních úrovní (DRÚ). DRÚ jsou směrné hodnoty, které slouží k regulování lékařských expozic. Za použití standardních postupů a správné praxe se neočekává jejich překročení při vyšetření dospělého pacienta o hmotnosti 70 kg. Rozdělují se na místní a národní DRÚ. Místní (MDRÚ) se určují jako průměrná hodnota ze středních dávek z jednotlivých přístrojů nebo vyšetřoven. Národní (NDRÚ) se stanovuje jako třetí kvartil MDRÚ. Úplný výčet výkonů pro stanovení MDRÚ se dá dohledat v *Národních radiologických standardech* společně s detailním popisem stanovení a revize MDRÚ. (12)

1.4.3 Princip limitování dávek

Pro lékařské ozáření nejsou stanoveny dávkové limity, protože by to bránilo možnému zdravotnímu přínosu pro konkrétního pacienta. Avšak pro radiační pracovníky a pracovníky v lékařství limity platí. Limity se aplikují pro obecnou populaci, pro studenty a pracovníky se zářením, nikoliv pro pacienty, kteří se podrobují lékařskému ozáření. Pro ně slouží již zmíněné diagnostické referenční úrovně. (12)

1.4.4 Princip bezpečnosti zdrojů

Zdroje ionizujícího záření musí být zajištěny tak, aby nad nimi nemohlo dojít ke ztrátě kontroly. Ověřuje se stabilita a spolehlivost daného zdroje. Před prvním užitím rentgenového systému se uskuteční přijímací zkouška (dále jen PZ) a poté dochází k regulérním kontrolám parametrů pomoci zkoušek dlouhodobé stability a zkoušek provozní stálosti. (12)

Dle *Vyhlášky č.422/2016 Sb.* (vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje) se PZ provádí po instalaci zdroje a před jeho užitím a provádí ji osoba s povolením SÚJB. Přijímací zkouška zahrnuje klasifikaci zdroje ionizujícího záření, pokud již nebyla provedena dříve výrobcem, dovozcem nebo distributorem. U generátorů záření dále zahrnuje ověření funkčnosti, ověření, zda specifikované provozní parametry a vlastnosti zařízení nevybočují z mezí stanovených v českých technických normách nebo v původní dokumentaci výrobce a stanovení dozimetrických veličin. (11) Zkouška dlouhodobé stability se uskutečňuje jedenkrát ročně a také ji provádí osoba s povolením SÚJB. Rozsah zkoušky stanoví držitel povolení provádějící přijímací zkoušku nebo výchozí zkoušku dlouhodobé stability. Zkouška se provádí nejpozději 12 měsíců od poslední zkoušky, při každém důvodném podezření na špatnou funkci zařízení, po údržbě nebo opravě, která by mohla ovlivnit

sledované parametry, když zkoušky provozní stálosti signalizují výkyvy z mezí stanovených v českých technických normách či technické dokumentaci. (11)

Zkoušky provozní stálosti se provádí periodicky v intervalech stanovených při přijímací zkoušce nebo na základě doporučení výrobcem v technické dokumentaci a vždy po údržbě nebo opravě. Je realizována samotným provozovatelem, držitelem povolení nakládání se ZIZ. Zkouška zahrnuje ověřování charakteristických provozních vlastností a parametrů v rozsahu stanoveném českými technickými normami nebo v rozsahu stanoveném při typovém schvalování ZIZ. Rozsah zkoušky se upřesňuje při přijímací zkoušce a zkouškách dlouhodobé stability. Zkoušky provozní stálosti se nevztahují na nevýznamné ZIZ a na otevřené radionuklidové zářiče. (11)

Spadá sem i fyzické zabezpečení ZIZ, aby nebyly neoprávněně použity. Pojízdny RTG přístroje nenechávat volně na chodbě. U každého RTG přístroje by mělo být spuštění expozice možné jen po přihlášení oprávněným pracovníkům. Zabezpečují se i stavebně, a to zamezením vstupu nepovolaných osob. Zamezení vstupu může vypadat následovně (viz. obr. č. 3).

Obr. č. 3: Vstupní dveře na RTG vyšetřovnu



Dveře vedoucí na RTG vyšetřovnu jsou opatřeny výstražnými symboly a světly „NEVSTUPOVAT“. Týká se to i použité kliky, kdy má možnost vstoupit jen oprávněná osoba vlastníci klíče od vyšetřovny. Stavební zamezení vstupu se nachází i u dveří kabin sloužících pro pacienty. Pacient vstupuje na vyšetřovnu až po vyzvání radiačního pracovníka a následném otevření dveří pacientovi (viz. obr. č. 4).

Obr. č. 4: Dveře kabin sloužící pro pacienty



Na snížení rizika vzniku účinků IZ a snížení radiační zátěže se mimo jiné podílejí i způsoby radiační ochrany.

1.5 Způsoby radiační ochrany

Uplatňují se tři základní způsoby radiační ochrany, jejichž účelem je zmenšení velikosti ozáření. Mluvíme o ochraně časem, stíněním a vzdáleností. (5)

V praxi se tyto způsoby většinou kombinují.

1.5.1 Ochrana časem

Obdržená dávka je přímo úměrná době ozáření. To znamená, že zkrátí-li se doba, kdy se pracovník nachází v blízkosti ZIZ, tím menší bude i dávka záření, kterou obdrží. Radiologický asistent nesmí setrvávat u ZIZ, když jeho přítomnost není nutně vyžadována. Výjimkou jsou akutní případy nebo také přidržování dětí. Zde je však prioritou, že přidržuje doprovod, nikoliv personál. K tomuto způsobu ochrany časem můžeme zařadit i směnný provoz pracovníků na odděleních, kdy dochází k jejich rotaci. To má za následek rozložení dávky.

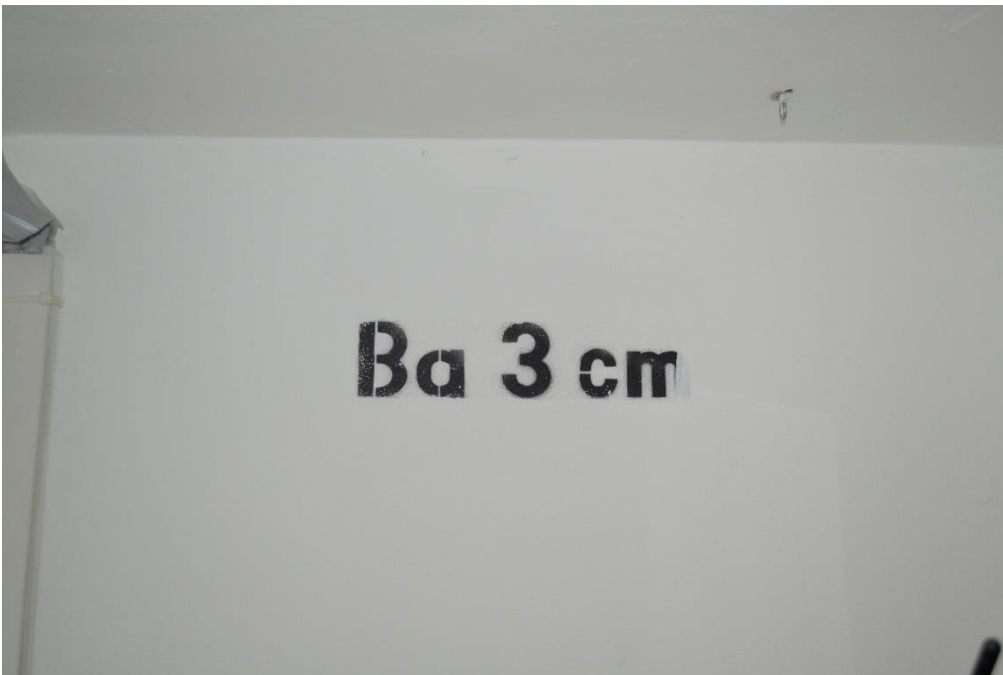
Ještě zmíním ochranu časem u pacientů, kdy zkrácení expozičního času má velký vliv na snížení dávky. Stejně tak působí tzv. pulzní režim při skiaskopických výkonech. Při tomto režimu se ve velmi krátkých intervalech střídá expozice a neexpozice při sledování dynamických jevů. V kardiologii se používá délka pulzů 3-10 ms, v radiologii 10-30 ms a počtem 7,5 – 15 pulzů za sekundu, často v kombinaci s nízkým proudem, v některých případech i s vysokou přídavnou filtrací (12).

1.5.2 Ochrana stíněním

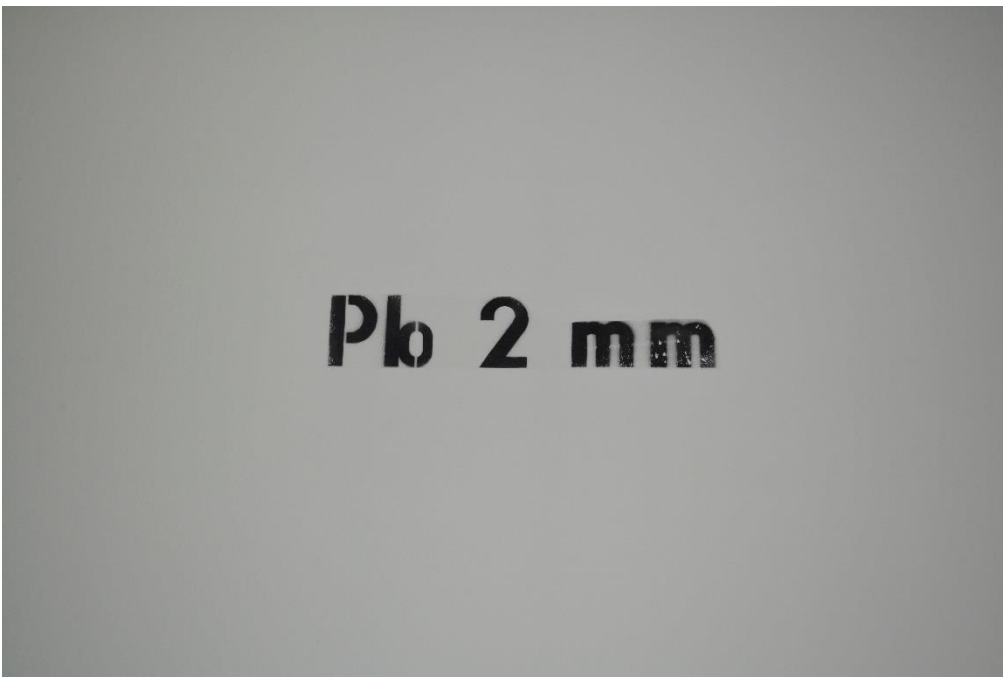
Ochrana stíněním se uskutečňuje vložením vrstvy materiálu mezi personál a zdroj IZ, který má vlastnost zeslabovat svazek záření a tím i dávku. Pro zhotovování ochranného stínění se používají materiály s vysokým protonovým číslem (Z). Jelikož se zvyšujícím se Z roste možnost fotoelektrického jevu, při kterém dochází k absorpci záření. K takovým materiálům řadíme olovo, cín, bismut, wolfram a další.

Co se týče skiagrafického pracoviště, ochrana se zajišťuje stavební úpravou vyšetřoven. Stěny vyšetřoven se sestávají z barytové omítky o dostatečné tloušťce. Dále se do stěn přidávají olověné plechy. Do stavební úpravy vyšetřoven ještě patří dveře s olověnou fólií a okénka z olověného skla. Použité tloušťky barya a olova jsou označeny na stěnách (viz. obr. č. 5 a obr. č. 6).

Obr. č. 5: Použitá tloušťka barytové omítky na vyšetřovně



Obr. č. 6: Použitá tloušťka olověných plechů na vyšetřovně



Při skiaskopických výkonech radíme mezi ochranné prostředky závěsná stínění nebo mobilní zástěny. K osobním ochranným prostředkům patří ochranné zástěry, límce na štítnou žlázu, rukavice a ochranné brýle vyskytující se na skiaskopických i na skiagrafičických vyšetřovnách (viz. obr. č. 7).

Obr. č. 7: Ochranné prostředky pro radiační pracovníky



Dříve se nejčastěji využívalo k tvorbě ochranných prostředků olovo (Pb). Avšak ochranná zástěra s Pb je velice těžká a už se v současné době nepoužívá. Nyní se nejčastěji jedná o směs Pb s jiným, lehčím prvkem, jako je například cín, guma, PVC a další. To se týká stínění obsahující Pb. Jsou i stínění neobsahující olovo, anglicky „non-lead“ nebo „lead free“. Tato stínění nabízejí stejný ochranný faktor jako stínění obsahující Pb. Olovo je však nahrazeno jiným materiálem, a to cínem, antimonem, wolframem, bismutem a dalšími. (25)

Při vytyčení tloušťky stínící vrstvy pro gama záření se používá pojem polotloušťka neboli polovrstva. Definice je následující. Polovrstva je taková tloušťka látky, která sníží radiační zatížení na polovinu původní hodnoty. Tudiž při přiložení dvou polovrstev dojde k zeslabení o čtvrtinu, při použití čtyř polovrstev o osminu. Ideální počet polovrstev je 7. Dávkový příkon záření gama se sníží přibližně na 1 %. Přidávání dalšího materiálu zeslabující záření se přibližuje k porušení principu optimalizace. (5)

1.5.3 Ochrana vzdáleností

Zde záleží na vzdálenosti pracovníka od ZIZ. Platí, že dávka klesá úměrně s druhou mocninou vzdálenosti. To znamená, vzroste-li vzdálenost personálu od zdroje záření dvojnásobně, tak dávka, kterou obdrží, klesne na jednu čtvrtinu původní dávky. Z toho vyplývá, že při zmenšení vzdálenosti mezi pracovníkem a zdrojem o polovinu dojde k vzrůstu obdržené dávky čtyřikrát. (5)

Každá osoba využívající zdroje ionizujícího záření je povinna, v rámci své působnosti, činit veškerá nezbytná opatření na ochranu zdraví všech přítomných osob.

2. RADIAČNÍ OCHRANA NA JEDNOTLIVÝCH RDG PRACOVIŠTÍCH

Aplikující odborníci, mezi které řadíme zejména radiology, kardiology a radiologické asistenty využívající zdroje ionizujícího záření, musí pracovat dle standardizovaných postupů, jež vždy ctí zásady radiační ochrany. „Předpokladem je kompetence k nakládání s RTG systémy získaná odpovídajícím výcvikem a znalostí radiační ochrany.“ (12) Tyto osoby musí absolvovat školení o potenciálních rizicích práce s IZ. „Limity vztahující se na radiační pracovníky byly stanoveny s cílem snížit riziko výskytu stochastických účinků na méně než jeden výskyt na 10 000 pracovníků/rok.“(12) Limity jsou také konstruovány tak, aby se zabránilo vzniku deterministických účinků, např. ke vzniku katarakty.

Radiační ochrana radiodiagnostických pracovníků závisí na konkrétních činnostech, které vykonávají, např. RO pracovníka provádějícího intervenční výkon se liší od RO radiologického asistenta, jenž pracuje u ovládací konzole CT skeneru. Vzhledem k úzkému vztahu mezi ochranou pracovníků a pacientů, snižování dávek pro pacienty snižuje také dávky pro pracovníky. (12)

Nyní popíšu radiační ochranu na jednotlivých pracovištích.

2.1 Radiační ochrana na skiagrafickém pracovišti

Nejdříve přiblížím pojem skiografie. „Skiografie (snímkování) je metoda zobrazující lidské orgány a tkáň využívající rozdílnou hodnotu pohlcení procházejícího svazku RTG záření v různých orgánech a tkáních.“ (6) Při skiografii se provede jedna krátká statická expozice a záření procházející tělem pacienta dopadá na detekční médium. V minulosti se používaly světlotěsné kazety se zesilujícími fóliemi a filmem, jež se chemicky vyvolával podobně jako fotografie. V současné době se využívají digitální technologie. (4)

Radiologičtí asistenti by se při expozici neměli zdržovat ve vyšetřovně. Avšak mohou nastat situace, kdy je to nezbytně nutné, např. v případě některých akutních případů nebo při přidržování dětí v pediatrické radiologii (první volba přidržující osoby by měl být rodič nebo doprovod dítěte). Přidržující osoby vyskytující se ve vyšetřovně během expozice musí být vybaveny osobními ochrannými pomůckami, tak stejně jako radiologičtí asistenti. Dokument nazývaný se Důkaz optimalizace radiační ochrany, jež musí být vypracován pro každou vyšetřovnu zvlášť, nám stanoví, jaké ochranné pomůcky budou použity.

Materiál ochranných stínění, tudíž i ochranné zástěry, zeslabuje záření a zároveň musí být rovnoměrně rozložen a musí obsahovat prvky o atomovém čísle větším než 47. Ochranné zástěry jsou vyráběny se stínícím ekvivalentem 0,25 mm Pb, 0,35 mm Pb, 0,50 mm Pb a 1,00 mm Pb (viz. obr. č.8 a č.9). (12)

Obr. č. 8: Ochranná zástěra



Obr. č. 9: Ochranná zástěra se stínícím ekvivalentem Pb 0,35 mm



Přestože se taktéž na radiologické asistenty na skiagrafickém pracovišti vztahuje limit 20 mSv/rok, jejich efektivní dávky jsou obvykle nižší než 1 mSv/rok. (12)

2.2 Radiční ochrana na CT pracovišti

CT, z anglického Computed Tomography neboli výpočetní tomografie, je zobrazovací metoda umožňující zobrazení 3D objektů, aniž by docházelo k překryvu tkání a orgánů jako v případě 2D zobrazení. Dávky na jedno vyšetření u CT jsou relativně vysoké. Přestože CT vyšetření představuje pouze 7,9 % z celkového počtu RTG výkonů, tak tvoří 47 % celkové kolektivní dávky plynoucí k lékařského ozáření. (12)

Radiologičtí asistenti by se měli během expozice zdržovat mimo CT vyšetřovnu, stejně tak když pracují na skiagrafické vyšetřovně. V případě potřeby mohou být přítomni ve vyšetřovně, vybaveni ochrannou zástěrou a samozřejmě osobním dozimetrem.

Lékař provádějící intervenční CT výkon s CT skiaskopií musí mít osobní dozimetr, ochrannou zástěru, límec pro ochranu štítné žlázy a ochranné brýle. Límce na ochranu štítné žlázy nesmí mít menší stínící ekvivalent než 0,35 mm Pb. Pokud je to vzhledem k prováděnému výkonu možné, měla by být CT skiaskopie co nejkratší. Při intervenčních CT výkonech se doporučuje používat tzv. low dose protokoly, což jsou protokoly se sníženým dávkovým příkonem. Dochází při nich k redukci všech expozičních hodnot. Výsledkem je snížení dávkové zátěže pacienta. (12)

2.3 Radiační ochrana na skiaskopickém a katetrizačním sále

Nyní přiblížím pojem skiaskopie. „Skiaskopie (prosvěcování) spočívá v kontinuálním prosvěcování rentgenovým zářením o nízké energii, které umožňuje hodnotit dynamické děje, jako jsou pohyby částí těla nebo postup kontrastní látky.“ (4) Řadí se k tomu intervenční výkony, kterých je celá řada např. dilatace cév, implantace stentů, dilatace žlučvodů. (12)

Lékaři provádějící intervenční výkony dostávají jedny z nejvyšších osobních dávek záření ze všech radiačních pracovníků. Často zde hrozí riziko překročení limitů. Proto by se radiační ochrana na intervenčních pracovištích neměla podceňovat a je třeba jí věnovat dostatečnou pozornost. Použití skiaskopie by mělo trvat co nejkratší dobu. Samozřejmostí je v dnešní době použití pulzního skiaskopického režimu. Podobně použití akvizičních scén, jejichž počet by měl být co nejnižší a délka co nejkratší. (12)

„Z hlediska vzdálenosti platí, že dávka záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti, tj. dvojnásobným zvětšením vzdálenosti od zdroje dojde k poklesu dávkového příkonu na čtvrtinu původního dávkového příkonu.“ (12) Proto je vhodné, aby si personál po celou dobu expozice udržoval co největší odstup od exponovaného pacienta. To stejné platí pro lékaře provádějící výkon, avšak pouze tam, kde je to možné. Existují i situace, kdy lékař nemůže od pacienta poodejít.

Ve všech případech by měla být použita ochranná stínění. Vztahuje se to na ochrannou zástěru a límec na ochranu štítné žlázy. „V průzkumu Lynskey a spol. potvrdili, že 99,4 % zúčastněných intervenčních radiologů nosí ochrannou vestu a 94 % používá ochranu štítné žlázy.“ (6) Ochranná zástěra může být jednodílná nebo dvoudílná. Nevýhodou jednodílné zástěry s křížením na zádech je, že celá váha oděvu je zavěšena v podstatě jen na ramenu, tudíž jsou záda zaměstnanců namáhána. Stínicí materiál u jednodílné zástěry se nachází pouze na přední straně. Za těchto okolností se doporučuje nosit dvoudílnou zástěru se stínícím ekvivalentem na přední i zadní straně. Dvoudílná zástěra je rozdělena na vestu a sukni. Díky tomuto rozdělení se celá váha dvoudílného ochranného prostředku rozprostře a nespočívá pouze na ramenu. S límcem na ochranu štítné žlázy je možné snížit dávky až o 50 %. (12)

V některých případech se doporučuje použití ochranných brýlí s Pb ekvivalentem, čepice s Pb ekvivalentem a přídatných závěsných stínění. Zejména vývoj ochranných brýlí, částečně v důsledku nového limitu 20 mSv za rok pro oční čočky, nabyl v posledních letech na významu. „Nošení ochranných brýlí proti záření je však v současné době diskutovaným tématem, což se odráží ve studii Lynskeyho a kol., v níž pouze 54,2 % dotazovaných radiologů uvedlo, že při zákroku nosí ochranné brýle.“ (6) „Fantomové experimenty ukázaly, že lokální dávku v oční čočce lze snížit z 66,7 % na

96,0 % při příznivém úhlu rentgenky a poloze hlavy.“ (6) Toto snížení však není stejné pro obě oči. Fetterly a spol. ve své studii dokázali, že oko odvrácené od rozptýleného záření není při experimentálním testovacím uspořádání angiografického vyšetření vůbec chráněno. Hlavními důvody těchto výsledků jsou orientace hlavy vyšetřujícího vzhledem ke zdroji rozptýleného záření a přizpůsobení brýlí. „Van Rooijen und Merce a kol. ve svých klinických studiích ukazují, že při použití ochranných brýlí v kombinaci s mobilní zástěnou z olovnatého skla lze dosáhnout snížení záření pro oční čočky o 50 % nebo o 82,5 %.“ (6) Existují různé modely od standardních brýlí přes brýle s dodatečným stíněním na stranách. Podařilo se prokázat, že zvětšení skel nemá vliv na úroveň radiační ochrany. (6)

Na množství rozptýleného záření má vliv také závěsné stínění. Závěsné stínění se dělí na stropní a stolní. Má za úkol chránit horní a dolní polovinu těla lékařů provádějících výkony. Stropní závěsné stínění se často vyskytuje ve tvaru obdélníku s vykrojením jednoho rohu pro pacienta. Tímto rohem je stínění přiblíženo co nejvíce k pacientovi. Závěsné stínění lze doplnit o závěsné zástěrky, umožňující ještě větší přiblížení k pacientovi a účinnější odstínění záření.

Existují i další způsoby snížení osobních dávek pracovníků například umístění pacienta co nejbližší k receptoru obrazu. „Přiblížením pacienta ze vzdálenosti 20 cm od receptoru obrazu do vzdálenosti 5 cm od receptoru lze snížit dávku na vstupu pacienta o 60 %, čímž se sníží také dávka rozptýleného záření lékaři.“ (12)

Další metodou pro snížení osobních dávek radiačních pracovníků je zmenšení velikosti pole. Menší pole způsobí menší množství rozptýleného záření, tudíž i nižší dávku.

Bylo zjištěno, že radiologové provádějící intervenční výkony dostávají kromě vyšších dávek na ruce také výrazně vyšší dávky na holeně. „Whitby et al. ve studii publikované roku 2003 uvádějí, že dávka na ruce na jeden intervenční výkon se pohybuje v rozmezí 0,04–1,25 mSv, zatímco dávka na holeni se pohybuje v rozmezí 0,19–2,61 mSv.“ (12) Proto je nezbytné, aby lékaři používali závěsné stolní stínění a nosili dostatečně dlouhé zástěry nebo ochranné stínění na holeně.

3. RADIAČNÍ OCHRANA PRACOVNÍKŮ

„Každá osoba vystavená profesnímu ozáření, která se připravuje na výkon povolání, a která je v průběhu studia povinna pracovat se zdrojem ionizujícího záření (žák a student) je radiačním pracovníkem.“ (18) Pro monitorovací a lékařské účely se radiační pracovníci podle ohrožení zdraví ionizujícím zářením zařazují do kategorie A nebo B na základě očekávaného ozáření během běžného provozu včetně předvídatelných poruch a odchylek od běžného provozu s výjimkou ozáření v důsledku radiační nehody nebo radiační havárie. (18)

3.1 Kategorizace radiačních pracovníků

Jak jsem již zmínila výše, radiační pracovníci jsou zařazeni do kategorie A nebo B.

„Radiační pracovníci kategorie A jsou dle § 20 odst. 2 Vyhlášky pracovníci, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávku vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro kůži a končetiny nebo ekvivalentní dávku vyšší než 15 mSv na oční čočku.“ (18)

Všichni tito pracovníci musí být vybaveni osobními dozimetry. Osobním dozimetrům a obecně osobnímu monitorování se budu věnovat v následující podkapitole.

Při vymezení kontrolovaného pásma na pracovišti je třeba zařadit všechny pracovníky, jež v KP pracují, do kategorie A bez ohledu na jejich reálné nebo potenciální ozáření. Do kategorie A se rovněž řadí dohlížející osoba a osoba s přímým dohledem na pracovišti, kde je KP vytyčeno. „Radiační pracovníky lze zařadit do kategorie A i tam, kde není kontrolované pásmo vymezeno.“ (18)

„Radiační pracovníci kategorie B jsou ostatní radiační pracovníci, dále studenti ve věku od 18 let, kteří jsou povinni v průběhu svého studia pracovat se zdrojem IZ.“ (18)

Při kategorizaci je důležité jak očekávané, tak potenciální ozáření. Při zvažování očekávaného ozáření se musí vzít v úvahu osobní dávky, které může pracovník obdržet za běžného provozu. Co se týče potenciálního ozáření, nepředpokládá se, že nastane, ale které může nastat jako důsledek události pravděpodobnostní povahy. Pravděpodobnosti potenciálního ozáření by měl držitel povolení zhodnotit při optimalizaci radiační ochrany. (18)

3.2 Osobní monitorování

„Osobní monitorování slouží k určení osobních dávek sledováním, měřením a hodnocením individuálního zevního i vnitřního ozáření jednotlivých osob zpravidla osobními dozimetry.“ (18)

Osobní dozimetr je určen ke stanovení individuální dávky konkrétního pracovníka. Osobní dozimetr

se nejčastěji umísťuje na přední levou stranu hrudníku, tzv. referenční místo. Zpravidla se referenční místo využívá v případě dominantního ozáření ve směru hrud' – záda. Bývá to nejvíce ozařovaná část těla. Při použití ochranné stínící zástěry se dozimetr nasazuje na ni. Další umístění dozimetru je na zádech při ozáření ze zadního poloprostoru. Dá se využít i jako doplňující společně s dozimetrem umístěným na referenčním místě. (18)

„V silně nehomogenních radiačních polích, kdy hodnoty osobního dávkového ekvivalentu $H_p(0,07)$ a $H_p(10)$ z osobního dozimetru nošeného na referenčním místě nejsou dostatečně reprezentativní pro hodnocení, zda byl či nebyl překročen limit pro oční čočku, je třeba umístit dozimetr v blízkosti očí, a to na obroučce brýlí, na čele a podobně.“ (18) Při provádění nezbytných pracovních úkonů v blízkosti vymezeného svazku záření, kdy jsou pracovníci vystaveni významnému ozáření, se dozimetr umísťuje na ruce či jiné části těla, které jsou ve vzdálenosti menší než 0,1 m od ZIZ. (18)

„V programu monitorování je nutné zdůvodnit a popsat zejména umístění dozimetru na jiné části těla.“ (18)

U osobního monitorování se ozáření u radiačních pracovníků dělí na vnitřní a zevní. (18)

Co se týče vnitřního ozáření, může k němu dojít na pracovištích, kde se používají otevřené radionuklidové zdroje. „Příjmy radionuklidů se zjišťují zpravidla měřením aktivity radionuklidů v těle pracovníka nebo v jeho exkřetech a převádí se na příjem pomocí modelů dýchacího traktu, zažívacího traktu a kinetiky příslušných prvků.“ (18) Toto měření aktivity se provádí na pracovištích IV. kategorie nejméně jednou ročně a na pracovištích I. až III. kategorie se četnost měření určuje na základě vyhodnocení možného rizika vnitřního ozáření pracovníka. (18)

Monitorování zevního ozáření pracovníků spadajících do kategorie A a osob, které podle vnitřního havarijního plánu na pracovišti zasahují při radiačních nehodách, haváriích nebo při živelných pohromách, se zajišťuje osobními dozimetry. „Období pro vyhodnocování osobního dozimetru pro pracovníky kategorie A je 1 kalendářní měsíc.“ (18) Tento přístup zaručuje v případě zjištění překročení stanovených monitorovacích úrovní možnost včasného přešetření události, nápravu a prevenci zjištěných nedostatků. (18)

U pracovníků kategorie B se osobní monitorování obstarává jedním z následujících způsobů, a to vybavením všech pracovníků osobním dozimetrem. Zde stačí tříměsíční vyhodnocovací období.

Dalším způsobem je opatřit osobním dozimetrem pouze některé pracovníky ve skupině radiačních pracovníků kategorie B provádějících na jednom pracovišti za stejných podmínek stejnou činnost. Výsledky vyhodnocení těchto dozimetru se považují za výsledky osobního monitorování všech pracovníků zařazených do celé dané skupiny. (18)

Mezi poslední způsob se řadí monitorování výpočtem osobních dávek z údajů monitorování pracoviště. V takovém případě je důležité sledovat, jak dlouho byl pracovník na pracovišti vystaven

ionizujícímu záření a z této doby určovat roční odhad efektivní dávky. Zároveň se musí přihlížet na všechny faktory ovlivňující interpretaci a správnost výpočtu (například nehomogenita radiačního pole, aj.). (18)

„Osobní monitorování pracovníků kategorie B může být zprostředkováno službami osobní dozimetrie nebo elektron“ (18)

3.3 Monitorování

„Monitorováním se značí měření veličin týkajících se radiační ochrany na pracovištích, kde se používá ionizující záření, zaznamenávání zjištěných hodnot a vyhodnocování výsledků měření.“ (5) Cílem je zajištění bezpečného provozu pracovišť a zdrojů a optimalizace radiační ochrany. Jeho úkolem je také varovat při možném vzniku mimořádné události.

Program monitorování je dokument zaměřující se na kontrolu ozáření osob, které provádí činnosti vedoucí k vystavení expozici. Skládá se z monitorování pracoviště a osobního monitorování. Musí ho mít zhotovené každé pracoviště. Mezi údaje, jež se uvádějí do programu, řadíme monitorované veličiny, hodnoty referenčních úrovní, použité přístroje, metody měření a návody pro vyhodnocení výsledků. (5) Při návrhu monitorovacího programu je třeba vzít v úvahu, zda je možná expozice zevním ozářením, jaké záření je přítomno, jaká energetická spektra se očekávají, zda by mohlo dojít k desetinásobnému či vyššímu zvýšení dávkového příkonu oproti normální situaci a zda vznikají radionuklidy. Při užívání radionuklidů se musí uvážít, zda jde o otevřené či uzavřené zdroje, jaká je jejich aktivita a stínění, zda je možný únik radionuklidů z uzavřených zdrojů a zda může dojít k rozprášení zdroje, ke ztrátě. (19)

Jak jsem již zmínila výše, program monitorování se dělí na monitorování pracoviště a osobní monitorování. Osobní monitorování je více popsáno v podkapitole 3.2.

Já nyní přiblížím monitorování pracovišť využívající IZ. Zde se monitorují parametry charakterizující pole záření, zejména příkon dávkového ekvivalentu. Platí to pro pracoviště všech kategorií kromě pracoviště I. kategorie, kde se používají výhradně drobné zdroje IZ. Dále se monitoruje výskyt radionuklidů na pracovišti s otevřenými zářiči, tj. radioaktivní kontaminace povrchů, což zahrnuje pracoviště II., III. a IV. kategorie, případně i objemová aktivita radionuklidů v ovzduší (pracoviště III. a IV. kategorie). (5)

Kritéria, podle nichž se vyhodnocují výsledky monitorování, se nazývají referenční úrovně (dále RÚ). Poté se rozhoduje o následujících postupech či opatřeních. Rozeznávají se tři druhy RÚ.

Záznamové úrovně zdůrazňují důležité hodnoty. Zpravidla se stanovují na úrovni jedné desetiny limitu a pokud jsou překročeny, dojde k podrobnějšímu zaznamenání a evidování tohoto údaje. Hodnota záznamové úrovně musí být větší než minimální detekovatelná hodnota veličiny.

Další, které popíšu, jsou vyšetřovací úrovně. Při překročení této úrovně vznikne podnět pro pracoviště. Proběhne následné šetření o možných příčinách a důsledcích zjištěného kolísání sledované veličiny. Vyšetřovací úroveň může být stanovena na úrovni tří desetin limitu nebo jako pětinasobek horní meze obvykle se vyskytujících hodnot.

Poslední druh jsou zásahové úrovně. Jejich překročení vede k tomu, že se na pracovišti zahájí nebo zavedou opatření ke změně pozorované odchylky sledované veličiny z přijatelných na nepřijatelné nebo škodlivé hodnoty. Na pracovišti zpravidla nelze pokračovat v běžné práci se ZIZ, pokud je překročena zásahová úroveň.

Druhy referenčních úrovní jsou převzaty ze zdroje číslo 5.

Další součástí monitorování, kterou zmíním, je měření na pracovištích.

Měření na pracovištích se rozděluje do následujících etap – první měření, opakované měření a měření opakované v každém kalendářním roce. (24)

Při prvním měření se zkoumá, zda nedošlo na pracovišti k překročení vyšetřovacích úrovní. Zmiňovanými vyšetřovacími úrovněmi rozumíme:

- a) 400 Bq/m³ pro průměrnou objemovou aktivitu radonu v ovzduší při výkonu práce pro pracoviště
- b) 1 mSv za rok pro efektivní dávku nad přírodní pozadí ze zevního ozáření pro pracoviště. (24)

„V případě, že během prvního měření nebylo zjištěno překročení žádné z vyšetřovacích úrovní, nemusí se měření ani určení efektivní dávky v dalších letech provádět.“ (24) Prvním měřením se tedy rozhodne, zda bude na pracovišti v dalším roce provedeno opakované měření.

Pokud je zjištěno překročení některé z vyšetřovacích úrovní, následuje opakované měření. Opakovaným měřením a stanovením efektivní dávky se posuzuje, jestli může být u pracovníků překročena směrná hodnota, 6 mSv efektivní dávky za rok. (24)

Jestliže se při opakovaném měření možnost překročení směrné hodnoty 6 mSv nezjistí, tak měření ani určení efektivní dávky se v dalších letech nemusí provádět. Avšak dojde-li k překročení směrné hodnoty 6 mSv, je poté nutnost určovat efektivní dávky všech pracovníků na těchto pracovištích opakovaně za každý kalendářní rok, tj. měření opakované v každém kalendářním roce. Toto měření započne počátkem nejbližšího kalendářního roku následujícího po vyhodnocení opakovaného měření, díky kterému se prokázalo překročení směrné hodnoty. Opakuje se i v následujících letech. Jakmile

se prokáže, že na pracovišti už nemůže být u žádného z pracovníků překročena směrná hodnota, tak se měření v následujících letech nemusí uskutečnit. (24)

3.3.1 Dávková optimalizační mez

Definice uváděna ICRP 103 dávkové optimalizační meze je následující.

„Do budoucna směřující a ke zdroji vztažené omezení individuální dávky ze zdroje, které představuje základní úroveň ochrany pro nejvíce ozářené jedince ze zdroje a které slouží jako horní hranice dávky při optimalizaci ochrany vzhledem k tomuto zdroji. Pro profesní expozici je dávková optimalizační mez hodnotou individuální dávky užívanou k omezení alternativ uvažovaných v procesu optimalizace. Pro expozici obyvatelstva je dávková optimalizační mez horní hranicí roční dávky, kterou by mohli jednotliví obyvatelé obdržet z plánovaného provozu nějakého regulovatelného zdroje.“ (20)

Cílem stanovení DOM má být prospektivní, proto má význam zejména při zavádění nové praxe se zdrojem ionizujícího záření nebo zcela nového zdroje do praxe. V tomto případě se DOM určí na základě zkušeností z podobných činností s tímto zdrojem. (20)

Dá se také definovat jako horní hranice optimalizace a svým způsobem reprezentuje aplikaci principu optimalizace v praxi. Pro omezení celkového ozáření pracovníků a obyvatel máme stanoveny limity. V praxi samozřejmě nechceme, aby dávky dosahovaly úrovní limitů. I když dávková optimalizační mez není dalším limitem, ve své podstatě posiluje optimalizaci, a to snahou o její kvantifikaci a lepší uchopení z hlediska regulace. Při překročení DOM se musí provést velice detailní šetření důvodů tohoto překročení. (20)

Určení DOM pro radiační pracovníky je odpovědností držitele povolení. „Pro již probíhající praxi je logické, že se bude odvozovat z dosavadních výsledků osobního monitorování, nicméně při jejím stanovení by se měly vzít v úvahu také výsledky jiných uživatelů užívajících stejné typy zdrojů v podobném rozsahu.“ (20) Úřad může poskytnout určitá obecná kritéria, ze kterých lze DOM odvodit. Jako obecně přijatelnou zastřešující hodnotu pro DOM lze stanovit hodnotu 10 mSv/rok. (20)

Úřad očekává, že držitelé povolení určí na základě své vlastní rozvahy, kterou jasně a srozumitelně popíší v zákonem požadované dokumentaci (Postupy optimalizace radiační ochrany), DOM nižší než 10 mSv/rok, a uvedou postupy při jejím překročení. Úroveň dávkové optimalizační meze musí být stanovena v Programu monitorování. (20)

Při nastavování hodnoty DOM pro radiační pracovníky pro již zavedenou činnost se vypracuje přehled ročních osobních dávek pracovníků za posledních několik let. V tomto přehledu se nezahrnou

dávky pracovníků obdržené při neobvyklých situacích a nečekaných odchylkách od běžného provozu. Stanovená DOM by neměla být nižší než nejvyšší hodnoty osobních dávek, vyskytující se v tomto souboru dávek běžně. (20)

V praxi se mohou vyskytnout případy, kdy jsou podnikány opatření ke snížení individuální dávky a DOM je posléze vyhodnocena jako zbytečně vysoká. Poté je na místě ji v rámci přehodnocení optimalizace snížit. (20)

4. ZÁVĚR

Pro tvorbu přehledové bakalářské práce jsem si zvolila téma Radiační ochrana pracovníků v radiodiagnostice. Jelikož při ukončení mého studia budu sama pracovat na radiodiagnostickém oddělení, chtěla jsem se tímto zdokonalit ve znalostech radiační ochrany pracovníků.

Prvním cílem mé bakalářské práce bylo předložení základních informací o radiační ochraně. Na začátku kapitoly jsem shrnula historický objev radiace, zjištění její škodlivosti na lidský organismus a jak se radiační ochrana postupně rozvíjela. Cílem radiační ochrany je vyloučení deterministických účinků ionizujícího záření a snížení pravděpodobnosti stochastických účinnů na rozumně dosažitelnou úroveň. K tomuto cíli nám napomáhá znalost způsobů a principů RO, které jsem v dalších podkapitolách rozvedla.

Dále jsem se soustředila na radiační ochranu pracovníků na jednotlivých pracovištích. Detailněji jsem popsala RO na skiagrafickém, CT, skiaskopickém pracovišti a katetrizačním sále. Dle mého názoru je zde důležité zmínit, že radiační ochrana pracovníků se liší v závislosti na tom, jaké činnosti vykonávají. Podle dané činnosti je pak určena radiační ochrana.

Posledním cílem bakalářské práce bylo přiblížení rozdělení pracovníků do kategorií, jejich osobní monitorování a monitorování obecně. Během vypracování této poslední části mě překvapilo umístění některých doplňujících osobních dozimetrů například umístění na čele.

K závěru bych dodala, že mnou určené cíle práce jsem dle mého názoru splnila.

5. SEZNAM INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

BIBLIOGRAFICKÉ ZDROJE:

1. BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-4712-5
2. CLARKE, R. H.; VALENTIN, Jack. The History of ICRP and the Evolution of its Policies: Invited by the Commission in October 2008. *Annals of the ICRP*, 2009, 39.1: 75-110.
3. DAVID, Čestmír. Historie radiační ochrany 1895-1945. *Praktická radiologie*. 2018, **23**(4), 22-23. ISSN 1211-5053.
4. FERDA, Jiří, Hynek MÍRKA, Jan BAXA a Alexander MALÁN. *Základy zobrazovacích metod*. Praha: Galén, [2015]. ISBN 978-80-7492-164-3.
5. HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 978-80-244-2350-0.
6. König AM, Etzel R, Thomas RP, Mahnken AH. Personal Radiation Protection and Corresponding Dosimetry in Interventional Radiology: An Overview and Future Developments. Persönliche Strahlenschutzmittel und Dosimetrie des medizinischen Personals in der interventionellen Radiologie: Aktueller Status und neue Entwicklungen. *Rofo*. 2019;191(6):512-521. doi:10.1055/a-0800-0113
7. KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0168-9.
8. MARTIN, Alan, et al. *An introduction to radiation protection*. CRC Press, 2018. ISBN 978-1-4441-4607-3.
9. MARTIN, James E. *Physics for radiation protection: a handbook*. John Wiley & Sons, 2006. ISBN 978-3-527-66709-3.
10. NEKULA, Josef. *Radiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2001. ISBN isbn:80-244-0259-9.
11. SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.
12. SÚKUPOVÁ, Lucie. *Radiační ochrana při rentgenových výkonech - to nejdůležitější pro praxi*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0709-4.
13. VOMÁČKA, Jaroslav. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. Druhé, doplněné vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. ISBN isbn978-80-244-4508-3.

ELEKTRONICKÉ ZDROJE:

14. <https://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm>
15. <https://vysehradskej.cz/tajemstvi-jedlickovy-leve-ruky/>
16. <https://www.bozpinfo.cz/principy-radiacni-ochrany-bezpecnost-ochrana-zdravi-pri-praci>
17. <https://www.icrp.org/index.asp>

18. https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/DR-RO-6D.1_REV.0.0_Doporuzeni_Osobni_Monitorovani_cast_I.pdf
19. https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/Zabezpeceni_os_monit_pri_ozareni.pdf
20. https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/dokumenty_NAZ/Davkove_optimalizacni_meze_souhrn1.pdf
21. https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation-InsidePart-Czech-Feb_2017-1.pdf
22. https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/ICRP103_dokument.pdf
23. https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/Bulletinlo2021.pdf
24. <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/pracoviste.pdf>
25. <http://www.sukupova.cz/spravny-vyber-ochranneho-stineni-1/>
26. https://www.wikiskripta.eu/w/Nemoc_z_oz%C3%A1%C5%99en%C3%AD

6. SEZNAM TABULEK

TAB. Č. 1: HODNOTY RADIAČNÍHO VÁHOVÉHO FAKTORU PRO JEDNOTLIVÉ DRUHY ZÁŘENÍ A JEJICH ENERGIE

TAB. Č. 2: PŘEHLED VELIČIN A JEDNOTEK POUŽÍVANÝCH V RADIAČNÍ OCHRANĚ

7. SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. Č. 1: CELOSVĚTOVÉ ROZDĚLENÍ RADIAČNÍ EXPOZICE

OBR. Č. 2: RADIAČNÍ NEKRÓZA PRSTŮ RUKY

OBR. Č. 3: VSTUPNÍ DVEŘE NA RTG VYŠETŘOVNU

OBR. Č. 4: DVEŘE KABINEK SLOUŽÍCÍ PRO PACIENTY

OBR. Č. 5: POUŽITÁ TLOUŠŤKA BARYTOVÉ OMÍTKY NA VYŠETŘOVNĚ

OBR. Č. 6: POUŽITÁ TLOUŠŤKA OLOVĚNÝCH PLECHŮ NA VYŠETŘOVNĚ

OBR. Č. 7: OCHRANNÉ PROSTŘEDKY PRO RADIAČNÍ PRACOVNÍKY

OBR. Č. 8: OCHRANNÁ ZÁSTĚRA

OBR. Č. 9: OCHRANNÁ ZÁSTĚRA SE STÍNÍCÍM EKVIVALENTEM PB 0,35 MM