

**UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI**  
**FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD**

Ústav radiologických metod

Bc. MICHAL BRADA

**Diagnostické referenční  
úrovně v praxi**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Kateřina Strnková

Olomouc 2024

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Diagnostické referenční úrovně v praxi vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Kateřiny Strnkové a uvedl v ní všechny použité literární a jiné odborné zdroje v souladu s právními předpisy i vnitřními předpisy Univerzity Palackého v Olomouci.

V Brně 7. dubna 2024

.....

Bc. Michal Brada

# Anotace

**Typ závěrečné práce:** Diplomová práce

**Název práce:** Diagnostické referenční úrovně v praxi

**Název práce v AJ:** Diagnostic reference levels in practice

**Datum zadání:** 2023–01–10

**Datum odevzdání:** 2024–05–03

**Vysoká škola, fakulta, ústav:** Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

**Autor práce:** Bc. Michal Brada

**Vedoucí práce:** Mgr. Kateřina Strnková

**Oponent práce:** Ing. David Kozák

**Abstrakt v ČJ:** Cílem diplomové práce je shrnutí poznatků o radiační ochraně a diagnostických referenčních úrovních a zjistit úroveň znalostí/vědomostí radiologických asistentů v této problematice. Teoretická část práce popisuje poznatky o radiační ochraně a diagnostických referenčních úrovních. Výzkum byl zpracován formou kvantitativního typu výzkumu. Data byla sesbírána pomocí nestandardizovaného dotazníku vlastní konstrukce a podrobena statistickou analýzou. Úroveň znalostí/vědomostí radiologických asistentů byla vyhodnocena jako průměrná. Úspěšnost při vědomostním testu byla 59,2 %. Diplomová práce by měla poukázat na případné nedostatky ve znalostech a motivovat radiologické asistenty v profesním růstu a aktivním vzdělávání.

**Abstrakt v AJ:** The aim of this thesis is to summary of the knowledge about radiation protection and diagnostic reference levels and to determine the level of úrknowledge of radiographers in this topic. The theoretical part of the thesis describes the knowledge about radiation protection and diagnostic reference levels. The research was conducted in the form of quantitative type of research. Data were collected using

a non-standardized questionnaire of self-made design. Radiographers knowledge was assessed as average. The success rate of the knowledge test was 59,2 %. The thesis should point to potential lack of knowledge and motivate the radiographers in professional growth and active learning.

**Klíčová slova v ČJ:** Diagnostické referenční úrovně, radiologický asistent, znalosti, radiační ochrana, dozimetrie

**Klíčová slova v AJ:** Diagnostic reference levels, radiographer, knowledge, radiation protection, dosimetry

**Rozsah:** 91 stran / 2 přílohy



## **Poděkování**

Dovoluji si na tomto místě poděkovat vedoucí diplomové práce Mgr. Katce Strnkové za její trpělivost, cenné rady, věcné připomínky a čas, který mi během vypracování diplomové práce věnovala.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Ionizující záření</b>	<b>11</b>
2.1	Rozdělení ionizujícího záření.....	11
2.1.1	Přímo ionizující záření.....	11
2.1.2	Nepřímo ionizující záření .....	11
2.2	Interakce fotonového záření s látkou.....	12
2.2.1	Koherentní rozptyl (Thompson-Rayleighův).....	12
2.2.2	Inkoherentní rozptyl (Comptonův).....	12
2.2.3	Absorpce (Fotoelektrický jev, tvorba elektron-pozitronových párů)13	
2.3	Charakteristika rentgenového záření.....	14
2.4	Složky rentgenového záření .....	16
2.4.1	Brzdné záření (Bremsstrahlung) .....	16
2.4.2	Charakteristické záření .....	17
2.4.3	Spektrum RTG záření .....	17
<b>3</b>	<b>Dozimetrie ionizujícího záření</b>	<b>20</b>
3.1	Fyzikální veličiny v radiodiagnostice.....	20
3.1.1	Absorbovaná dávka .....	20
3.1.2	Dávkový příkon .....	21
3.1.3	Kerma .....	21
3.1.4	Kermový příkon.....	22
3.1.5	Vztah dávky a kermy.....	22
3.1.6	Dopadající kerma ve vzduchu a vstupní povrchová kerma .....	23
3.1.7	Součin kermy ve vzduchu a plochy.....	24
3.1.8	Součin kermy ve vzduchu a délky .....	24
3.1.9	Kermový index výpočetní tomografie .....	24
3.1.10	Vážený kermový index výpočetní tomografie.....	25
3.1.11	Objemový kermový index výpočetní tomografie.....	25
3.1.12	Efektivní průměr pacienta a SSDE.....	26
3.2	Veličiny vztahované k odhadu rizika .....	26

---

3.2.1	Orgánová dávka.....	26
3.2.2	Ekvivalentní dávka .....	26
3.2.3	Efektivní dávka.....	27
<b>4</b>	<b>Radiační ochrana</b>	<b>28</b>
4.1	Principy radiační ochrany .....	28
4.1.1	Princip zdůvodnění.....	28
4.1.2	Princip optimalizace .....	29
4.1.3	Princip limitování .....	29
4.1.4	Princip bezpečnosti zdroje .....	29
4.2	Radiační ochrana na pracovištích s ionizujícím zářením .....	29
4.3	Radiační zátěž při radiační diagnostice .....	30
4.4	Stínění pacientů.....	32
4.4.1	Stínění v primárním rentgenovém svazku.....	32
4.4.2	Stínění mimo primární rentgenový svazek.....	33
<b>5</b>	<b>Legislativa při používání ionizujícího záření</b>	<b>34</b>
5.1	Lékařské ozáření dle platné legislativy .....	34
5.2	Optimalizace a radiační ochrana dle platné legislativy .....	35
<b>6</b>	<b>Management dávek záření</b>	<b>36</b>
6.1	DICOM standard.....	36
6.2	Informace o dávkách .....	37
6.3	Anonymizace dat .....	38
6.4	Programy pro sledování dávky .....	38
<b>7</b>	<b>Diagnostické referenční úrovně</b>	<b>39</b>
7.1	NDRÚ .....	39
7.2	MDRÚ.....	39
7.3	Vyjadřování MDRÚ pomocí veličin .....	40
7.4	Stanovování MDRÚ .....	40
7.5	Revize MDRÚ.....	42
<b>8</b>	<b>Radiologický asistent</b>	<b>43</b>
8.1	Definice a zařazení pracovníka .....	43

---

8.2	Práce RA s RO a tvorbou MDRÚ.....	43
<b>9</b>	<b>Metodika výzkumu</b>	<b>45</b>
9.1	Výzkumný cíl a hypotézy .....	45
9.2	Popis souboru.....	46
9.3	Metoda sběru dat.....	46
9.4	Realizace výzkumu.....	46
9.5	Zpracování dat.....	47
<b>10</b>	<b>Analýza získaných dat</b>	<b>48</b>
10.1	Demografické rozložení výzkumného souboru .....	48
10.2	Výsledky .....	49
10.3	Ověření platnosti hypotéz .....	61
10.3.1	Hypotéza 1 .....	61
10.3.2	Hypotéza 2 .....	63
10.3.3	Hypotéza 3 .....	64
10.3.4	Hypotéza 4 .....	65
10.3.5	Hypotéza 5 .....	67
10.3.6	Hypotéza 6 .....	68
10.3.7	Hypotéza 7 .....	69
10.3.8	Hypotéza 8 .....	70
10.3.9	Hypotéza 9 .....	72
<b>11</b>	<b>Diskuse</b>	<b>73</b>
<b>12</b>	<b>Závěr</b>	<b>78</b>
	<b>Použité zdroje</b>	<b>79</b>
	<b>Seznam grafů</b>	<b>83</b>
	<b>Seznam tabulek</b>	<b>84</b>
	<b>Seznam pojmů a zkratk</b>	<b>85</b>
	<b>Příloha 1 – Souhlasné stanovisko Etické komise</b>	<b>87</b>
	<b>Příloha 2 – Dotazník</b>	<b>88</b>



## 1 Úvod

Na konci 19. století objevil profesor Röntgen krátkovlnné elektromagnetické záření, které pojmenoval „X-Strahlen“, neboli paprsky X. Pravděpodobně však netušil, že za tento objev obdrží vůbec první Nobelovu cenu za fyziku a ani o negativních radiobiologických účincích oněch paprsků X. Po publikaci zprávy o jeho novém objevu provedl i snímek ruky své ženy Berthy. Tím položil základy pro vznik novému medicínskému oboru, a to radiodiagnostice.

Velmi brzy po začátku využívání paprsků X v medicíně byla taktéž zjištěna poškození personálu i pacientů. Roku 1928 byla založena Mezinárodní komise radiologické ochrany (ICRP – International Commission on Radiological Protection), která je poradní odbornou skupinou pravidelně vydávající doporučení proti ohrožení ionizujícím zářením. V průběhu druhé poloviny 20. století došlo k signifikantnímu pokroku v zobrazovacích metodách v radiodiagnostice, jednak příchodem výpočetní tomografie (CT) a magnetické rezonance, tak došlo z postupnému snižování orgánových dávek při klasických rentgenových výkonech.

Během ozáření vznikají deterministické a stochastické účinky, před kterými je nutno organismus chránit. Cílem radiační ochrany je maximálně eliminovat účinky deterministické a maximálně snížit pravděpodobnost výskytu stochastických účinků. V roce 1991 vydala ICRP doporučení č. 60, které stanovilo základní principy radiační ochrany, které platí do dnešní doby. Jako jeden z nástrojů radiační ochrany a managementu dávek jsou diagnostické referenční úrovně. Ty byly úspěšně implementovány do praxe, ve vztahu s konvenční radiologií, v 80. letech minulého století. Pro zbylé modalitty byly doplněny v následující dekádě. Diagnostické přístroje využívající ionizující záření prodělávají dynamický vývoj a bezpochyby čím dál víc ovlivňují medicínu, kdy většina medicínských oborů je závislá na zobrazovacích metodách.

Úlohou radiologického asistenta (RA) v oblasti radiodiagnostiky je provádění činností v rámci radiační ochrany (RO), zajištění diagnostického vyšetření, obrazové dokumentace, manipulaci s přístroji či asistenci lékaři při intervenčních výkonech. Radiologický asistent je důležitým článkem ve zdravotnickém zařízení mající nemalou

zodpovědnost z pohledu radiační ochrany. Je tedy nezbytně důležité, aby tento nelékařský zdravotnický pracovník měl kvalitní znalosti v oblasti radiační ochrany.

## 2 Ionizující záření

Ionizující záření bývá často zaměňováno za radioaktivní záření. To však není správný překlad, neboť ionizující záření zahrnuje všechny své druhy bez ohledu na jeho původ, zatímco záření radioaktivní je vázáno pouze na záření ionizující, které má původ v jaderných přeměnách radionuklidů.

Ionizující záření je takové záření, které sestává z kvant mající takovou energii, kterou ionizují atomy nebo molekuly. Jedná se o elektromagnetické vlny nebo částice o vlnové délce 100nm a menší nebo frekvenci  $3 \cdot 10^{15}$  Hz a vyšší. [1]

### 2.1 Rozdělení ionizujícího záření

Podle způsobu ionizace můžeme ionizující záření rozdělit na 2 skupiny:

- Přímé ionizující záření
- Nepřímé ionizující záření

#### 2.1.1 Přímé ionizující záření

Toto záření se skládá z nabitých částic a ionizace probíhá působením Coulombovských sil mezi nabitou částicí a elektronovým obalem. Tento průběh bývá někdy označován jako jednokrokový (one-step process). Přímé ionizující záření se může dále dělit dle hmotnosti nabitých částic:

- Lehké nabité částice – pozitrony, elektrony
- Těžké nabité částice – protony,  $\alpha$ -částice, deuterony atd.

#### 2.1.2 Nepřímé ionizující záření

Nepřímé ionizující záření bývá označováno jako dvoukrokové (two-step process). Jelikož se skládá z částic s nulovým elektrickým nábojem, v první fázi při interakci s hmotou vytvoří sekundárně nabité částice. Následně je látka ionizována sekundárně nabitými částicemi za přítomnosti vlivu Coulombovských sil mezi touto částicí a elektronovým obalem. Do nepřímé ionizujícího záření patří:

- Fotonové záření
- Neutronové záření

[2; 1]



## 2.2 Interakce fotonového záření s látkou

Fotony interagují elektromagnetickými procesy s pravděpodobností určenou jejich vlastní energií, tak hustotou a atomovým číslem látky. Na rozdíl od nabitých částic, které předávají svou energii po celé délce své trajektorie, fotony interagují s látkou v jednotlivých střetech se subatomárními částicemi, a to za vzniku nebo bez vzniku sekundárně nabitých částic. S rostoucí energií fotonu se mění pravděpodobnost výskytu daného typu interakce. Dále se interakce rozlišují podle toho, s čím fotony interagují.

### 2.2.1 Koherentní rozptyl (Thompson-Rayleighův)

Tento jev je elastický, přenáší se tedy při něm pouze hybnost, nikoli energie. Při interakci dochází k oscilaci elektronů a zpětně vyzáří sekundární elektromagnetické záření o stejné vlnové délce i kmitočtu, liší se pouze směrem, kdy úhel rozptylu je větší, čím menší je energie fotonu. Veškerá energie primárního fotonu je přesunuta na sekundární foton. Vyskytuje se v celém spektru energií používaných v radiodiagnostice, avšak v procentuálním zastoupení má malý vliv. Při energii záření 30 keV je zastoupení koherentního rozptylu zhruba 10 %, při energii 70 keV potom méně, než 5 % ze všech interakcí.

### 2.2.2 Inkoherentní rozptyl (Comptonův)

Tento jev je neelastický, dochází tedy ke kolizi s elektronem volným nebo slabě vázaným, kterému foton předá část své energie. Rozptýlené záření má potom větší vlnovou délku a jinou fázi než záření dopadající. Tomuto jevu se také říká Comptonův jev. Ten způsobí ionizaci atomu a energie dopadajícího záření se rozdělí mezi energii rozptýleného záření a energii elektronu. Platí zde zákon zachování energie a hybnosti. Změna vlnové délky je funkcí úhlu primárního a rozptýleného svazku.  $\Delta\lambda$  je označován jako Comptonův posun.

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos 2\varphi)$$

Při Comptonově rozptylu se rozptýlí foton libovolným směrem, zatímco vyražený elektron může vylétnout pouze do předního poloprostoru. U rentgenových zobrazovacích systémů (15-150 keV) je většina energie převedena do fotonu rozptýleného záření, což se projeví degradací obrazu v podobě šumu.

### 2.2.3 Absorpce (Fotoelektrický jev, tvorba elektron-pozitronových párů)

#### Fotoelektrický jev

Při fotoelektrickém jevu je veškerá energie fotonu předána elektronu, který je vyražen z atomového obalu. Kinetická energie tohoto elektronu je rovna rozdílu energie dopadajícího fotonu a vazební energie příslušného elektronu.

$$E_k = h\nu - E_v (K, L, \dots)$$

Uvolněný elektron se označuje jako fotoelektron. Vzniklá vakance je zaplněna elektronem z vnějších orbitalů. Důsledkem tohoto přechodu vzniká rentgenové záření o energii, která je rovna rozdílu energií mezi orbitály nebo vznik Augerového elektronu, kdy je rozdíl energií mezi vrstvami předán elektronu na vrstvě vnější, který je následně uvolněn.

Pravděpodobnost fotoelektrické absorpce na jednotku hmoty je úměrná přibližně  $Z^3/E^3$ . Tedy látky s vyšším protonovým číslem mají mnohonásobně větší pravděpodobnost absorpce záření pomocí fotoelektrického jevu. Pravděpodobnost interakce klesá s třetí mocninou energie, tedy při používání vyšších energií klesá kontrast v obraze. Výhodou fotoefektu je však absence rozptýleného záření, je tedy u rentgenových zobrazovacích systémů žádoucí. Fotoelektrický jev je dominantní při interakci fotonů s nízkou energií s materiálem o vysokém atomovém čísle, oproti Comptonovému jevu, který je primárně dominantní u materiálů s nízkým protonovým číslem.

### Tvorba elektron-pozitronových párů

Poslední interakcí je tvorba elektron-pozitronového páru. Ten vzniká především v Coulombovském poli atomu. Energie fotonu částečně přechází na kinetickou energii  $E_p$ ,  $E_e$  a klidovou hmotnost obou částic  $m_e$ .

$$E_p + E_e = h\nu - 2m_e \cdot c^2$$

Ze vztahu vyplývá podmínka vzniku elektron-pozitronového páru, kdy foton musí být větší energii než  $2m_e \cdot c^2$ . Pozitron má nízkou dobu života a rychle anihiluje s elektronem. Vzniká záření  $\gamma$  o 2 fotonech s energií 511 keV šířící se přesně v opačném směru. Tento jev se však u energií používaných v rentgenových zobrazovacích systémech neuplatňuje.

[1; 3; 4; 5; 6; 7]

### 2.3 Charakteristika rentgenového záření

Rentgenové záření je elektromagnetické vlnění o vlnové délce  $\lambda \in (10^{-8}, 10^{-12})$  a energii v oblasti 20-150 keV. Fotony rentgenového záření mají schopnost pronikat různými typy prostředí. Průchodem látkou jsou utlumeny.

Útlumem se rozumí celková ztráta fotonů absorpcí a rozptylem. Na míře útlumu rentgenového záření závisí hlavně na atomovém čísle materiálu a hustotě daného materiálu, kterým svazek prochází a energii záření. Interakcemi fotonů s prostředím dochází k zeslabení intenzity rentgenového záření, které lze vyjádřit vztahem:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}$$

Kde  $I_0$  je intenzita dopadajícího fotonového záření,  $I$  je intenzita elektromagnetického záření po průchodu látkou,  $d$  je tloušťka absorbující látky a  $\mu$  je absorpční koeficient závislý na vlnové délce rentgenového záření a protonovém čísle absorbující látky. Pokles je tedy exponenciální.

K vyjádření zeslabení se využívá polotloušťka  $D_{1/2}$ . Polotloušťka je definována jako tloušťka materiálu, která způsobí pohlcení přesně poloviny fotonů záření. Udává se pro hodnocení stínění záření a je úměrná energii záření.

$$D_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Energie fotonu je dána frekvencí, ze vztahu

$$E = h \cdot f$$

Totéž platí o vlnové délce elektromagnetického záření ve vakuu, ze vztahu

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Pozorovanou závislost intenzity záření na tloušťce vrstvy zeslabujícího materiálu ovlivňuje řada podmínek. Výrazný vliv na průběh závislosti mají především geometrické vymezení svazku a dále také energetické poměry ve svazku. Pokud jde o geometrii soustavy zdroje a detektoru rozlišují se zpravidla dva krajní případy: tzv. geometrie úzkého a širokého svazku.

V případě geometrie úzkého svazku platí, že jakmile dopadající částice jednou podstoupila interakci, je ze svazku odstraněna a nemůže již být ve svazku detekována. V nejjednodušším případě úzkého monoenergetického svazku fotonů má průběh zeslabení exponenciální charakter.

V případě geometrie širokého svazku je třeba do vztahu pro exponenciální zeslabení započítat ještě tzv. vzrůstový (build-up) faktor  $B$ , který charakterizuje zvýšení intenzity záření v zeslabeném svazku v důsledku rozptylu zpět do svazku (nebo detektoru). Vztah lze potom zapsat ve tvaru:

$$I = I_0 \cdot B \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

Vzrůstový faktor není konstanta je závislý na celé řadě podmínek např. na geometrickém uspořádání, na energii záření na složení a tloušťce materiálu.

Z hlediska energetických poměrů se zvláště uvažují monoenergetické svazky a svazky polyenergetické. V praxi jsou monoenergetické svazky poměrně vzácné. Lze se s nimi setkat především tam, kde jsou používány radionuklidové zdroje (např. v nukleární medicíně). Svazky používané v rentgenové diagnostice mají spojité spektrum zahrnující poměrně široký interval energií. V případě těchto polyenergetických svazků narušuje exponenciální průběh zeslabení jev označovaný jako tvrdnutí svazku. Počáteční vrstva materiálu zeslabuje výrazně především nízké energie, zatímco vysoké energie ponechává prakticky beze změny. Tím dochází ke zvyšování podílu vyšších energií ve spektru. Svazek se stává pronikavějším, tedy tvrdne. Změny energetických poměrů svazku odráží tvar energetického spektra. Místo o tvrdnutí svazku se proto často hovoří také o tvrdnutí spektra. [1]

## 2.4 Složky rentgenového záření

Průchodem emitovaných elektronů hmotným médiem často dochází k rozptylu elektronů, které mohou ztratit svou energii emisí brzdným zářením. Pokud nastane jev vnitřní konverze nebo elektronového záchytu, dochází k emisi charakteristického záření. Obecně tedy může být rentgenové záření rozděleno na dvě složky, a to na již zmíněné brzdné a charakteristické záření.

### 2.4.1 Brzdné záření (Bremsstrahlung)

Emitovaný elektron letící skrze hmotné médium je přitahován coulombickými silami a dochází ke změně vektoru rychlosti daného elektronu, ztrácí svou kinetickou energii a mění směr dráhy letu. Důsledkem toho vzniká foton brzdného záření o energii rovné ztracené kinetické energii elektronu.

Dle zákonitostí Maxwellovy elektrodynamiky každý nerovnoměrný pohyb elektrického náboje má za následek emisi elektromagnetického vlnění. Dochází tedy k emisi brzdného záření i v případě, že kinetické energie letícího elektronu je pohlcena celá. V této chvíli má foton maximální energii. Jen však malá část původní kinetické energie se mění na brzdné záření. Téměř 99 % původní energie se díky coulombického rozptylu transponuje do energie atomů média a mění se tak na teplo.

Brzdné záření má spektrum spojitě začínající nízkými energiemi a končící téměř stejnou hodnotou, jako měla původní kinetická energie emitovaného elektronu. Velikost ztracené kinetické energie je přímo úměrná vzdálenosti interakce od jádra, jelikož coulombické síly klesají kvadraticky s rostoucí vzdáleností od jádra. Při větších vzdálenostech od jádra atomu jsou elektrony ovlivňovány menšími coulombickými silami a tím pádem bude mít foton brzdného záření menší energii. S přibližující se vzdáleností k jádru atomu elektrony rychleji mění vektor rychlosti v důsledku působení silnějších coulombických sil, tedy narůstá energie vyzářeného fotonu.

Pravděpodobnost vzniku této interakce roste s rostoucím atomovým číslem média a u částic s nízkou hmotností, např. elektrony.

#### **2.4.2 Charakteristické záření**

Kromě brzdného záření se spojitým spektrem je přítomna i druhá složka, a to záření charakteristické. Elektrony atomu jsou vázány vazebnou silou v určité energetické hladině (K, L, M, N, O, P a Q) elektronového obalu. Největší vazebnou energii má energetická hladina K, tedy ta nacházející se nejbližší k jádru. S rostoucí vzdáleností hladiny od jádra klesá i hodnota vazebné energie elektronu. Každý prvek má však vazebné energie elektronů pro každé energetické hladiny jiné.

Pokud je energie emitovaného elektronu větší nežli vazebná energie elektronu v dané vrstvě, dochází k uvolnění elektronu a atom je ionizován. Aby došlo ke stabilizaci elektronového obalu, tak na uvolněné místo přeskakuje elektron z vyšší energetické hladiny a vyzařuje přebytek energie, tedy rozdíl mezi energetickými hladinami formou charakteristického záření. Proto je spektrum tohoto typu záření diskrétní, tedy čárové.

Pro radiodiagnostické účely mají význam vrstvy K a L, které mají dostatečnou energii. Vliv charakteristického záření stoupá s energií fotonů.

#### **2.4.3 Spektrum RTG záření**

Výsledné spektrum je tedy tvořeno superpozicí obou spekter. Je tedy spojitě s píky odpovídající energiím charakteristického záření. Spektrum je možné popsat kvalitativně či kvantitativně. Kvalitativním popisem se rozumí energie rtg svazku, tedy

prostupnost nebo pronikavost. Kvantitou se potom rozumí množství fotonů daného rtg záření. Na kvalitu a kvantitu rentgenového záření mají vliv především materiál anody rentgenky, napětí a proud rentgenky, čas expozice, typ generátoru záření a filtrace.

### **Materiál anody**

Anoda je kladná elektroda rentgenky, na kterou dopadají urychlené elektrony emitované katodou. Z jakého je materiálu, tedy ovlivňuje efektivitu tvorby brzdného záření, které je přímo úměrné atomovému číslu materiálu. S rostoucím atomovým číslem, roste počet emitovaných fotonů brzdného záření, ovlivňuje energii fotonů charakteristického záření. K výrobě báze anody se používají lehké materiály s vysokou tepelnou kapacitou, které hůře vedou teplo (grafit a molybden). K výrobě terčiku (ohniska) anody se obvykle používá slitina wolframu a rhenia. Tato slitina představuje vysokou tepelnou vodivost i tepelnou kapacitu s vysokým bodem tání (přes 3 400 °C).

### **Napětí rentgenky**

Neboli napětí mezi katodou a anodou je udáváno především v kilovoltech [kV]. Rozdíl elektrických potenciálů mezi elektrodami urychluje emitované elektrony z katody na anodu. Napětí na rentgence tak ovlivňuje pronikavost a efektivitu generování záření. Zvýšením napětí se mění rtg spektrum kvalitativně i kvantitativně.

### **Proud rentgenky**

Vyjadřuje množství uvolněných elektronů ze žhavené katody urychlované k anodě. S rostoucím proudem úměrně roste počet fotonů. Ovlivňuje tak dávku obdrženu pacientem. Pokud by byl záměr snížit obdrženu dávku o polovinu, musí se o polovinu snížit proud rentgenkou za stálých hodnot ostatních parametrů. Proud je udáván zpravidla v miliampérech [mA].

Expoziční čas ovlivňuje dobu trvání produkce rentgenového záření. Množství vznikajících fotonů je přímo úměrné součinu proudu a času [mAs], tedy elektrickému množství, které ovlivňuje spektrum kvantitativně.

## Filtrace

Nízkoenergetické rentgenové záření s nízkou energií nemá radiodiagnostické využití. Absorbuje se v povrchu vyšetřované oblasti a způsobuje nežádoucí radiální zátěž. Fotony proto prochází dvěma typy filtrace. V první řadě inherentní filtrací sestávající se skleněnou baňkou rentgenky, chladícím médiem a výstupním okénkem. V druhé řadě se přikládá do svazku spektrální filtrace tvořenou nejčastěji hliníkem, mědí či zlatem.

Filtrace ovlivňuje spektrum kvalitativně i kvantitativně.

## Typ generátoru

Pro napájení rentgenky je vyžadováno stejnosměrné vysoké napětí [kV], v případě střídavého napětí je třeba usměrnění a transformace na vyšší hodnoty. Pro hodnocení vlastností napájení se používá hodnocení zvlnění napětí definované jako

$$\varphi = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max}} \cdot 100\%$$

Při vysokých hodnotách zvlnění dochází k horší transformaci kinetické energie elektronů a rentgenové záření je tedy žádoucí, aby zvlnění napětí bylo co nejmenší. Napájecí napětí a anodový proud je v průběhu činnosti rentgenky měřeno a pomocí korekčních zpětnovazebných obvodů jsou doladovány změny do požadovaného stavu zvýšením proudu vláknem katody nebo úpravou obvodu generátoru.[8; 9; 10]



### 3 Dozimetrie ionizujícího záření

Během lékařského ozáření obdrží pacient dávku ionizujícího záření. Velikost závisí na použité modalitě a typu vyšetření. Dozimetrie ionizujícího záření se zabývá procesy od začátku emise záření až po účinky na jednotlivých materiálech, měřením a stanovováním dávek. Provádí se hlavně z důvodu optimalizace zobrazování pro jednotlivé modalitě a pro stanovení absorbovaných dávek v jednotlivých tkáních a orgánech pro hodnocení účinků ionizujícího záření na lidský organismus.

Dozimetrie jako vědní disciplína zažila svůj rozvoj hned po objevení paprsků X a radioaktivity. V roce 1928 byla definována první veličina expozice s jednotkou röntgen [r], která charakterizovala pole ionizujícího záření i deskripci ozáření pacientů. Z doporučení ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements) z roku 1937 vychází úprava definice jednotky röntgen a první využití termínu „dávka“. Byl navržen koncept absorbované dávky s jednotkou rad s jasnou definicí a následným rozšířením konceptu o jiné materiály, než je vzduch (ICRP 1955). Dále byla představena veličina dávkový ekvivalent s jednotkou rem (Radioation Equivalent in Man). [11]

#### 3.1 Fyzikální veličiny v radiodiagnostice

##### 3.1.1 Absorbovaná dávka

Tato dozimetrická veličina charakterizuje důsledek interakce přímo a nepřímo ionizujícího záření s médiem a je definována jako podíl střední energie, která je sdělena ionizujícím zářením látce v daném objemu, a hmotnosti látky v daném objemu.

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

Sdělená energie je definována jako součet všech energií přímo a nepřímo ionizujících záření, které do objemu vstoupily a vystoupily a součet všech změn klidových hmotností jader a elementárních částic ke kterým mohlo dojít v daném objemu při eventuálních jaderných přeměnách vyvolaných účinky záření.

$$\varepsilon = \Sigma \varepsilon_{in} - \Sigma \varepsilon_{out} + \Sigma \varepsilon_{nucl}$$

Jednotkou dávky je Gray [Gy], tedy joule na kilogram [J.kg<sup>-1</sup>]. Jednotka byla pojmenována na počest britského fyzika L.H. Graye. Dřívější jednotkou byl rad (1 rad = 10<sup>-2</sup> Gy). V případě, kdy při interakci nepřímo ionizujícího záření s hmotou je místo dané interakce jiné nežli místo sekundární interakce způsobené sekundární nabitou částicí přispívající absorbovanou dávkou, je dávka veličinou nevypovídající o projevech primárního záření.

### 3.1.2 Dávkový příkon

Dávkový příkon je dávkou obdrženu v daném místě za daný čas. Tedy podíl přírůstku dávky za určitý časový interval.

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Jednotkou dávkového příkonu je Gray za sekundu [Gy. s<sup>-1</sup>]. Velikost dávky či dávkového příkonu je přímo úměrná fluenci záření, je závislá na intenzitě a druhu záření, počtu kvant záření, vlastnostech interakcí a absorpci v látce.

### 3.1.3 Kerma

Kerma (Kinetic Energy Released in Material) charakterizuje působení nepřímo ionizujícího záření z hlediska předání energie primárních nenabitých částic nabitým částicím v daném prostředí a je rovna poměru součtu počátečních kinetických energií všech nabitých částic uvolněných nenabitými částicemi v objemu a hmotnosti tohoto objemu.

$$K = \frac{dE_k}{dm}$$

Jednotkou kermy je opět Gray [Gy] a je využívána jen v souvislosti s nepřímo ionizujícím zářením.

### 3.1.4 Kermový příkon

Kermový příkon je definován, jako kermový přírůstek za časový interval.

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt}$$

Jednotkou kermového příkonu je [Gy. s<sup>-1</sup>].

### 3.1.5 Vztah dávky a kermy

Absorbovaná dávka lze vyjádřit pomocí fluence energie a hmotnostního součinitele absorpce energie.

$$D = \psi \cdot \frac{\mu_{en}}{\rho}$$

Kerma lze vyjádřit také pomocí fluence a hmotnostního součinitele přenosu energie.

$$K = \psi \cdot \frac{\mu_{tr}}{\rho}$$

Z těchto vztahů lze získat vztah mezi dávkou a kermou.

$$D = K \cdot \frac{\frac{\mu_{en}}{\rho}}{\frac{\mu_{tr}}{\rho}}$$

Mezi součinitelem absorpce zeslabení a součinitelem energie platí

$$\mu_{en} = \mu_{tr} \cdot (1 - G),$$

Kde G je podíl energie vyvinuté pro vznik brzdného záření. Za předpokladu elektronové rovnováhy platí rovnost mezi kermou a absorbovanou dávkou. Elektronová rovnováha je stav, kdy uvolněná energie primárního záření v daném objemu je rovna energii předané sekundárními elektrony. Tato rovnováha je porušena při nerovnovážných procesech v blízkosti povrchu látky a v okolí rozhraní dvou

různých prostředí. Při penetraci nepřímo ionizujícího primárního záření do objemu je uvolněná energie dále odnášena sekundárními elektrony a může tak docházet k absorpci ve větší hloubce. U rentgenového záření o nižších energiích je dobřeh sekundárních elektronů malý a energie je absorbována s vysokou pravděpodobností v místě interakce primární částice. Elektronová rovnováha nastává pouze zřídka, ale je možné ji považovat za splněnou, pokud maximální dosah sekundárních elektronů v objemu je malý ve srovnání s polotloušťkou materiálu pro fotony.

Kerma a absorbována dávka jsou nepřímo měřitelné veličiny, není tedy možno měřit dávky přímo v pacientovi. K toho důvodu se používají veličiny přímo měřitelné, a to dopadající kerma ve vzduchu a vstupní povrchová kerma.

### 3.1.6 Dopadající kerma ve vzduchu a vstupní povrchová kerma ve vzduchu

#### Dopadající kerma ve vzduchu $K_i$

Je kermou ve vzduchu od rentgenového svazku měřena na centrální ose svazku v místě vstupu svazku do pacienta, kdy zpětný rozptyl z těla pacienta nebo fantomu se nezapočítává. Jednotkou je Gray [Gy].

#### Vstupní povrchová kerma ve vzduchu $K_e$

Je kermou ve vzduchu od rentgenového svazku měřena na centrální ose svazku v místě vstupu svazku do pacienta, kdy zpětný rozptyl z těla pacienta nebo fantomu se započítává. Jednotkou je opět Gray [Gy].

Vztah mezi vstupní povrchovou kermou a dopadající kermou lze zapsat jako

$$K_e = K_i \cdot B$$

Kde  $B$  je koeficientem zpětného rozptylu (backscatter factor). Jeho hodnoty jsou etablovány a jsou závislé na napětí rentgenky, filtraci, polotloušťce svazku a velikosti pole. Čím vyšší je energie a polotloušťka spektra, tím je jeho hodnota větší.

V určitých případech není možné změřit dopadající ani vstupní povrchovou kermu, lze vyjádřit dávku pomocí veličiny Výtěžnost  $Y$  (X-ray tube output). Ta je definována

dle ICRU jako podíl kermu ve vzduchu ve specifikované vzdálenosti od ohniska a elektického množství. Jednotkou je tedy mGy/mAs.

$$Y(d) = \frac{K(d)}{P_{It}}$$

### 3.1.7 Součin kermu ve vzduchu a plochy

Součin kermu ve vzduchu a plochy  $P_{KA}$  (Air kerma-area product) je univerzální veličinou invariantní se vzdáleností. To znamená, že při standardně divergentních rentgenovém svazku záření se s rostoucí vzdáleností od ohniska rentgenky zvětšuje velikost pole  $A$  a klesá hodnota dopadající kermu  $K_i$ , dle zákona zeslabení. Výsledek je tedy s měnící se vzdáleností totožný a je roven integrálu kermu ve vzduchu a plochy kolmé na osu rentgenového svazku záření. Jednotkou součinu je Gy.m<sup>2</sup> nebo J.kg<sup>-1</sup>.m<sup>2</sup>

$$P_{KA} = \int_A K_i(x, y) dx dy$$

### 3.1.8 Součin kermu ve vzduchu a délky

Součin kermu ve vzduchu a délky  $P_{KL}$  (Air kerma-length product) je roven integrálu kermu ve vzduchu podél specifikované délky.

$$P_{KL} = \int_L K(z) dz$$

### 3.1.9 Kermový index výpočetní tomografie

Kermový index výpočetní tomografie  $C$  měřený volně ve vzduchu pro jednu rotaci skeneru CT je podílem integrálu vzdušné kermu podél přímky rovnoběžné s osou otáčení skeneru o délce 100 mm a nominální tloušťky řezu  $T$ .

$$C_{a,100} = \frac{1}{T} \cdot \int_{-50}^{+50} K(z) dz$$

Kde  $a$  je symbolem pro kermu ve vzduchu a indexy -50 a +50 symboly pro délku, podél které se integruje.

U multi-slice CT skenerů, kde se paralelně nabírá více řezů, je nominální tloušťka  $T$  vynásobena počtem řezů  $N$ , tedy

$$C_{a,100} = \frac{1}{N \cdot T} \cdot \int_{-50}^{+50} K(z) dz$$

$C$  index je také měřen uvnitř PMMA (polymethyl metacrylate) fantomech, potom tedy platí

$$C_{PMMA,100} = \frac{1}{N \cdot T} \cdot \int_{-50}^{+50} K(z) dz$$

### 3.1.10 Vážený kermový index výpočetní tomografie

Vážený kermový výpočetní tomografie index dává dohromady hodnoty  $C_{PMMA}$  naměřené uprostřed a na periferii standardního CT fantomu.

$$C_w = \frac{1}{3} (C_{PMMA,100,c} + 2C_{PMMA,100,p})$$

Velikost  $C_{PMMA,100,c}$  je měřena ve středu standardního CT fantomu a velikost  $C_{PMMA,100,p}$  je průměrem hodnot měřených ve 4 pozicích na periferii daného fantomu.

### 3.1.11 Objemový kermový index výpočetní tomografie

Objemový kermový index výpočetní tomografie  $C_{VOL}$  ( $CTDI_{VOL}$ ) již bere v potaz pitch faktor  $p$  a vyjadřuje intenzitu skenování daného referenčního fantomu.

$$C_{VOL} = \frac{C_w}{p}$$

$C_{VOL}$  tedy kvantifikuje a vypovídá o ozáření pacienta s velikostí referenčních hodnot. Pokud se použije stejné množství záření na dva pacienty odlišných velikostí, tak výsledná dávka pro jednotlivé orgány nebude stejná.  $CTDI_{VOL}$  je stanoven pro cylindrický PMMA fantom o referenčních velikostech 16 cm a 32 cm určené pro protokoly hlavy a těla.

### 3.1.12 Efektivní průměr pacienta a SSDE

Průřez pacientů bývá zpravidla oválného průřezu než kruhového. Pro výpočet efektivního průměru je třeba znát předozadní nebo boční průměr pacienta. Ten odpovídá průměru kruhu o stejné ploše, jako plocha průřezu pacienta.

$$\text{efektivní průměr} = \sqrt{AP \cdot LAT}$$

Pro korekci  $C_{VOL}$  na skutečnou velikost pacienta je třeba použít konverzní faktor. Výsledkem je SSDE (Size-Specific Dose Estimate) vyjadřující kvantifikaci dávky při CT vyšetření daného pacienta o konkrétním průměru. Pokud je efektivní průměr pacienta menší než průměr fantomu, konverzní faktor nabývá hodnot větších než 1. Tedy hodnoty  $CTDI_{VOL}$  podhodnocuje dávku obdrženou pacientem. Pokud je však efektivní průměr větší než průměr fantomu, konverzní faktor nabývá menších hodnot než 1. Tedy hodnoty  $CTDI_{VOL}$  nadhodnocuje dávku obdrženou pacientem.

[1; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18]

## 3.2 Veličiny vztahované k odhadu rizika

### 3.2.1 Orgánová dávka

Orgánová dávka vychází z absorbované dávky a je definovaná jako integrál absorbované dávky v bodě  $D_T$  v celém orgánu T dělený hmotností orgánu.

$$D_T = \frac{1}{m_T} \cdot \int_{m_T} D_t dm$$

### 3.2.2 Ekvivalentní dávka

Ekvivalentní dávka je dozimetrickou veličinou kombinující veličiny radiační dávky s druhem záření a zohledňuje tedy kvalitu záření. Ekvivalentní dávka je definována jako součin radiačního váhového faktoru  $w_R$  o ionizujícím záření R a střední absorbované dávky v tkáni nebo orgánu T.

$$H_T = w_R \cdot D_T$$

Jednotkou je Sievert [Sv] nebo J/kg. Radiační váhový faktor  $w_R$  má jednotku Sv/Gy a vyjadřuje účinnost daného záření z pohledu radiobiologie. Radiační váhový faktor je pro fotony a elektrony roven 1 a platí rovnost orgánové dávky  $D_T$  a ekvivalentní dávky  $H_T$ . Pro ostatní typy záření se však  $w_R$  liší, kde například pro protony je roven 5, pro neutrony do energií menší než 10keV roven 5, až po částice alfa a těžká jádra s hodnotou  $w_R = 20$ .

Pro sumaci příspěvků od všech druhů záření lze pro ekvivalentní dávku vyjádřit jako

$$H_T = \sum w_R \cdot D_T$$

a vyjadřuje míru deterministických účinků.

### 3.2.3 Efektivní dávka

Pro určení pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků slouží efektivní dávka, která zohledňuje radiosenzitivitu ozářených orgánů vyjádřenou tkáňovým váhovým faktorem  $w_T$ . Potom je tedy efektivní dávka definována jako součin sumy všech ekvivalentních dávek a vážených tkáňových faktorů přes všechny orgány.

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

Jednotkou je Sievert [Sv] a vážený tkáňový faktor  $w_T$  vyjadřuje relativní příspěvek daného orgánu T k celkové zdravotní újmě při rovnoměrném ozáření těla. Celkový součet všech váhových faktorů je roven 1. Pomocí efektivní dávky lze vyjádřit radiační zátěž při nerovnoměrném ozáření, jako kdyby bylo záření rovnoměrné. Z toho vyplývá možnost porovnávání radiační zátěže od různých zdrojů. Různé druhy záření mají odlišnou biologickou účinnost a různé druhy tkání jsou různě radiosenzitivní či radiorezistentní. Jedná se však o zjednodušený koncept vyjadřující odhadem složité, individuálně závislé procesy biologických účinků v organismu a je založen na střední dávce v orgánech referenčního člověka. Využívá se pro prospektivní hodnocení dávek pro plánování a optimalizaci radiační ochrany a nepřekračování limitů dávek. [1; 16; 12; 14]



## 4 Radiační ochrana

Cílem radiační ochrany je zabezpečení dostatečné úrovně ochrany zdraví, a přitom umožnit přínos z využití zdrojů ionizujícího záření. Z radiobiologického hlediska se jedná o maximální snahu zabránění vzniku účinků deterministických a co nejvíce možně omezit účinky stochastické. [19; 20; 21; 22; ]

### 4.1 Principy radiační ochrany

Lékařské ozáření (LO) je nejvýznamnějším zdrojem ozáření obyvatelstva z umělých zdrojů ionizujícího záření. Jedná se o jediný případ, kdy je člověk zcela zdůvodněně vystaven ionizujícímu záření za účelem diagnostiky nebo terapie.

V obecné rovině se využívá čtyřech základních principů pro zajišťování RO, které jsou uplatňovány v praxi.

#### 4.1.1 Princip zdůvodnění

Během činnosti vedoucí k lékařskému ozáření je nutné zajistit, aby toto ozáření bylo zdůvodněno benefity, které vyvažují nebo převažují rizika vznikající během této radiační činnosti. Pokud tedy pacient podstupuje vyšetření LO s použitím ionizujícího záření, jenž je škodlivé a způsobuje určitou újmu na zdraví pacienta, měl by z tohoto principu vyplývat dostatečný benefit pro pacienta.

Před vyšetřením s ionizujícím zářením by tedy měly být brány v potaz ostatní varianty, které ionizující záření nevyužívají. Avšak za podmínky získání požadované diagnostické informace.

Řada radiodiagnostických výkonů je nesprávně indikováno a tím pádem nezdůvodněné. Pro posuzování správné indikace vyšetření mají lékaři možnost používat indikační kritéria popisující konkrétní zdůvodněná vyšetření při určitých symptomech. Indikační kritéria jsou neustále vytvářena a aktualizována Radiologickou společností a publikována Ministerstvem zdravotnictví (MZ ČR) v Národních radiologických standardech v rámci Věstníku MZ ČR.

#### 4.1.2 Princip optimalizace

Hlavní myšlenkou principu optimalizace je zajištění velikostí individuálních dávek, počet jednotlivců podstupující ozáření a pravděpodobnost ozáření na tak nízkou úroveň, s ohledem na hospodářská a sociální hlediska, aby se získala dostatečná diagnostická informace. Princip optimalizace bývá často označován principem ALARA („As Low As Reasonably Achievable“). Při optimalizaci lékařského ozáření musí být splněny veškeré organizační a technické podmínky pro bezpečné používání zdroje ionizujícího záření dle platné legislativy. Pro účely optimalizace v radiodiagnostice se používají diagnostické referenční úrovně (DRÚ), které slouží pro posouzení, zdali je dávka obdržená pacientem při určitých zobrazovacích vyšetření vysoká nebo nízká pro tento výkon.

#### 4.1.3 Princip limitování

Jedná se o systém prostředků a metod, na základě, kterého lze provádět adekvátní kontrolu ozáření osob při stanovených činnostech vedoucích k ozáření. Pro LO nejsou stanovené žádné limity, které by mohly omezit zdravotnické benefity pro pacientovo zdraví. Pro personál pracující ve zdravotnictví však limity stanoveny jsou. Uplatňují se pro obecnou populaci, studenty a pracovníky se zdrojem záření.

#### 4.1.4 Princip bezpečnosti zdroje

Všechny zdroje ionizujícího záření podléhají pravidelné kontrole z důvodu ověření spolehlivosti a stability daného zdroje. Před prvním použitím a zařazením zdroje ionizujícího záření do klinické praxe musí být provedena zkouška přijímací. Následně jsou parametry kontrolovány a vyhodnocovány prostřednictvím zkoušek dlouhodobé stability a zkoušek provozní stálosti. Tyto zkoušky mají za cíl snížení pravděpodobnosti vzniku událostí vedoucích ke zvýšení ozáření a omezení důsledků nehody, ke které by došlo. [23; 24; 25]

### 4.2 Radiační ochrana na pracovištích s ionizujícím zářením

Základním organizačním opatřením v RO je označení prostorů, ve kterých se pracuje se zdroji ionizujícího záření (ZIZ). Stavba a vybavení pracoviště

musí být vybaveny tak, aby byla zajištěna dostatečná radiační ochrana pracovníků a zbylých osob.

Sledované pásmo na pracovišti se ZIZ vymezuje tak, kde by za běžného provozu nebo za předvídatelných odchylek od běžného provozu mohlo dojít k ozáření, které by bylo větší než obecný limit pro obyvatelstvo (1 mSv/rok). Přístup do sledovaného pásma regulován není, avšak pracovat v něm mohou pouze radiační pracovníci kategorie B.

Kontrolovaným pásmem je nazýván prostor pracoviště se ZIZ a kde je třeba dodržovat režim ochrany osob před ionizujícím zářením. Vchody do kontrolovaného pásma jsou označeny varovnými znaky. Zde mají volný přístup pouze poučení radiační pracovníci vybavení ochrannými pomůckami a osobními dozimetry. Zbylé osoby jsou evidovány za doprovodu radiačních pracovníků. Kontrolované pásmo je vymezeno tam, kde za běžného provozu nebo za předvídatelných odchylek od běžného provozu, by mohla radiační dávka pracovníků překročit 3/10 limitu pro radiační pracovníky.

Každá fyzická osoba vystavená profesnímu ozáření je radiačním pracovníkem. Radiačním pracovníkem kategorie A je radiační pracovník, který by mohl obdržet efektivní dávku nad 6 mSv/rok, ekvivalentní dávku nad 15 mSv na oční čočku nebo nad 3/10 limitu ozáření na kůži a končetiny. Ostatní radiační pracovníci spadají do kategorie B.

U radiační ochrany pracovníků v radiodiagnostice je hlavním zdrojem ozáření rozptýlené sekundární záření vznikající interakcemi fotonů RTG záření s tělem pacienta a šíří se všemi směry. Ozáření pracovníků primárním RTG svazkem dochází výjimečně, především u lékařů provádějících výkon pod RTG kontrolou s rukama v primárním svazku. Mezi základní způsoby RO před zevním ozářením se stává ochrana časem, vzdáleností a stíněním.

### **4.3 Radiační zátěž při radiační diagnostice**

Radiační expozice z diagnostických lékařských vyšetření je obecně nízká a je téměř vždy odůvodněna přínosem přesné diagnózy. Tyto expozice bývají srovnatelné s dávkami z pozadí. Nejčastěji prováděná expozice ionizujícím zářením je RTG diagnostika. Dříve, když se skiografie prováděla na RTG filmy přes fluorescenční

stínítka, činily dávky z diagnostického vyšetření často několik desítek mSv. S vývojem zesilovacích fólií, zesilovačů obrazu a digitálních flat-panelů se dávky z rentgenových vyšetření začaly značně snižovat. Nyní u prostých snímků tyto dávky představují desetiny až jednotky mSv. Relativně vyšší dávky vznikají u CT vyšetření větších oblastí, které jsou však vyváženy větší komplexností diagnostické informace. Vyšší dávky rovněž vznikají při intervenčních výkonech pod skiaskopickou kontrolou.

V planární RTG diagnostice se využívá veličiny plošné dávky DAP (Dose Area Product) [Gy.cm<sup>2</sup>], což je součin vstupní dávky a velikosti plochy.

$$DAP = D \cdot S$$

Efektivní dávka  $D_{ef}$  [mSv], kterou obdrží pacient je rovna součinu plošné dávky a koeficientu zahrnující zprůměrované tkáňové váhové faktory pro struktury v ozařované oblasti.

$$D_{ef} = E_{DAP} \cdot DAP$$

DAP hodnoty se měří během RTG vyšetření pomocí tenkých planoparalelních ionizačních komůrek namontovaných na výstupní kolimátor RTG přístroje, tedy takzvané DAP metry nebo KAP metry.

U CT vyšetření rentgenka obíhá kruhově kolem zobrazované oblasti a ozařuje ji ze všech stran v podstatě rovnoměrnou dávkou uvnitř každého řezu. Využívá se zde výsledné délkové dávky DLP (Dose Length Product [mGy.cm], která je rovna součinu absorbované dávky a délky ozářené oblasti.

$$DLP = D \cdot L = CTDI \cdot L$$

Efektivní dávka  $D_{ef}$  [mSv], kterou obdrží pacient je rovna součinu výsledné délkové dávky a koeficientu zahrnující zprůměrované tkáňové váhové faktory pro struktury v ozařované oblasti.

$$D_{ef} = E_{DLP} \cdot DLP$$

Během vyšetření téměř všechny RTG přístroje ve výsledkovém protokolu zaznamenávají hodnoty DAP, CTDI a DLP. Efektivní dávka  $D_{ef}$  potom lze snadno stanovit vynásobením hodnot DAP nebo DLP s příslušnými koeficienty  $E_{DAP}$  nebo  $E_{DLP}$ .

#### 4.4 Stínění pacientů

Při rentgenových výkonech se často objevují radiosenzitivní orgány v primárním rentgenovém svazku. Ty je lepší chránit nebo šetřit snížením dávky na co nejmenší úroveň, avšak hlavním cílem radiodiagnostického vyšetření je získání diagnostické informace. Ochranné stínění gonád bylo zařazeno do praxe před mnoha lety a měla sloužit jako ochrana před rizikem vzniku neplodnosti v důsledku působení ionizujícího záření. Od té doby došlo k velkému pokroku v technologiích i poznacích v oboru radiobiologie, že využití ochranného stínění gonád má pouze psychologický účinek. První zmínka o používání ochranného stínění gonád se objevil v British Journal of Radiology roku 1955 jako doporučení ICRP. V padesátých letech minulého století byla dávka na varle při skiagrafickém vyšetření pánve 2,5mGy, zatímco dnes se jedná o 0,06mGy, tedy 2,5 % z původní dávky. U žen činila dávka na vaječníky při stejném vyšetření 1,2mGy a dnes 0,01mGy. Tedy 1 % z původní dávky. Dále se s dobou měnila i hodnota tkáňového váhového faktoru gonád, tedy jejich radiosenzitivita, kdy se považovaly za velmi citlivé a tkáňový váhový faktor v roce 1977, dle doporučení ICRP, nabýval hodnoty 0,25. Postupem času se faktor snižoval až na 0,08 a tedy téměř trojnásobně nižší hodnotu než původně. Ochranné stínění může být využito pro stínění v primárním svazku a mimo primární svazek. [26; 27; 28]

##### 4.4.1 Stínění v primárním rentgenovém svazku

Aplikace stínění v primárním svazku během RTG vyšetření je nutnost řádného nastavení expoziční automatiky neboli AEC.

Tento nástroj určuje dobu expozice na základě elektrického signálu senzoru, který je ozařován. Senzory AEC jsou tvořeny ionizačními komůrkami nebo polovodičovými

detektory. Pokud tento senzor obdrží dostatečný signál, tedy dostatečnou dávku, dochází k ukončení expozice.

Nastavení probíhá ve volbě aktivních senzorů ukončující expozici. Tedy expozice končí v momentu, kdy nestíněné detektory obdrží dostatečnou dávku.

Pokud se vezmou v potaz všechna negativa, tedy snížení dávek pacientů, neprůkaznost genetických účinků, nižší radiosenzitivita gonád, nesprávná pozice stínění a ovlivnění AEC ochranným stíněním, pak je velmi obtížné najít v dnešní době skutečný důvod, proč používat ochranné stínění gonád. Použití ochranného stínění gonád v primárním RTG svazku se nedoporučuje, za mnohem efektivnější je považováno provedení správné projekce, dostatečná kolimace a správná volba expozičních parametrů.[29]

#### **4.4.2 Stínění mimo primární rentgenový svazek**

Využití stínění mimo primární rentgenový svazek má v pediatrické radiologii, jestliže se nachází radiosenzitivní orgány v blízkosti primárního svazku a za předpokladu neomezení zisku dostatečné diagnostické informace. Nicméně toto stínění nezabrání ozáření rozptýleným zářením šířícím se uvnitř těla pacienta a jeho pozitivní efekt využití je diskutabilní. Ochranné stínění mělo větší využití v minulosti, kdy nebyla tak efektivní kolimace a stínění rentgenky proti mimo ohniskovému záření.

## 5 Legislativa při používání ionizujícího záření

Základním legislativním rámcem pro práci s ionizujícím zářením je atomový zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření a související normy a předpisy. Atomový zákon stanovuje nejobecnější pravidla pro práci se zdroji ionizujícího záření. Postupné inovace a zlepšování předpisů v oblasti radiační ochrany probíhají zejména na základě odborných doporučení Mezinárodní komise pro radiační ochranu ICRP.

Pro dohled a koordinaci celého systému opatření pro bezpečné používání ZIZ jsou zřízeny orgány pro RO. V České republice roku 1993 je zřízen Státní ústav pro jadernou bezpečnost (SÚJB) jako nástupce dřívější Československé komise pro atomovou energii (ČSKAE). V roce 1995 byla působnost SÚJB rozšířena o oblast ochrany před ionizujícím zářením a téhož roku je založen Státní ústav radiační ochrany (SÚRO).

Na každém pracovišti se ZIZ je jmenován dohlížečící pracovník RO, který se na daném pracovišti zabývá otázkami RO a vede příslušnou dokumentaci.

### 5.1 Lékařské ozáření dle platné legislativy

Lékařským ozářením se dle platné legislativy, konkrétně § 2 odst. 3 písm. c) zákona č. 263/2016 Sb. atomový zákon, rozumí vystavením pacientů ionizujícímu záření v rámci jejich lékařského vyšetření nebo léčby. Dále se lékařským ozářením označuje ozáření osob poskytující pomoc fyzické osobě podstupující LO a osob dobrovolně se účastnící lékařského ověřování nezavedené metody spojené s LO a ozáření v rámci pracovnělékařských služeb a preventivní zdravotní péče.

Všeobecné podmínky a definice týkající se LO dále definuje atomový zákon č.263/2016 Sb. Tento zákon dále upravuje komplexně celou oblast atomové energie a zároveň integruje všechny dotčené související podoblasti, kterými jsou zajištění jaderné bezpečnosti, RO, monitorování ozáření, zvládnutí radiační mimořádné události či nakládání s radioaktivním odpadem.

O poskytování specifických zdravotních služeb a s věcmi s tím spojenými upravuje zákon č.373/2011 Sb., který i zpracovává příslušné předpisy Evropské unie

(EU), stanovuje obecné zásady RO osob v souvislosti s lékařským ozářením, režim provádění radiologických postupů a činností zahrnujících LO a míru odpovědnosti poskytovatelů a zdravotnických pracovníků a zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.

## **5.2 Optimalizace a radiační ochrana dle platné legislativy**

Do české legislativy byly implementovány požadavky Směrnice rady EU 2013/59 Euratom ochraně zdraví osob v souvislosti s lékařským ozářením. Ohledně radiační ochrany pacienta je v platnosti zákon č. 263/2016 Sb. a konkrétní části Vyhlášky č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

Je tedy zásadní kompatibilita legislativy národní s nadnárodní stanovující pravidla lékařského ozářením, ale také zavádění této legislativy do praxe. A to hlavně kvalifikace personálu, dodržování a zajištění standardů radiologických postupů nebo zajištění technické úrovně radiologických přístrojů.

Tyto podmínky jsou kontrolovány formou dozoru státu ze strany SÚJB nebo klinickými audity.

Pro posouzení správné optimalizace dávek pacientů jsou stanoveny DRÚ, které jsou stanoveny v příloze č.22 vyhlášky č. 422/2016 Sb.

Vyhláška 422/2016 Sb. o RO a zabezpečení radionuklidového zdroje zapracovává příslušné předpisy Euratomu a stanoví požadavky na zajišťování RO v expozičních situacích a způsob zabezpečení radionuklidového zdroje, včetně radionuklidového zdroje 1. až 3. kategorie zabezpečení.



## 6 Management dávek záření

Základem pro posouzení, zda je radiační ochrana pacientů na určitém pracovišti optimalizována, jsou kvantitativní údaje, ze kterých je možno odvodit velikost ozáření jednotlivých pacientů. Tato data z rentgenových výkonů jsou získávána, analyzována a uchovávána. Stanovování a uchovávání dávek pacientů zdravotnickými zařízeními je vyžadováno českou legislativou, tak i směrnicí 2013/59/EURATOM.

Stanovení dávek je postupem, kdy na základě zaznamenaných údajů o LO a na základě fyzikálních parametrů je stanovena hodnota veličiny hodnotící dávku pacientů. Dále je postupem, kdy s přijatelnou přesností stanoví hodnoty veličin důležitých pro posuzování rizika nežádoucích účinků ionizujícího záření a postupem pro stanovení typické hodnoty efektivní dávky pro dané vyšetření během standardního průběhu vyšetření u standardního pacienta.

Hodnocení dávek je postupem hodnotícím, jestli poskytovatel zdravotnických služeb odpovídá DRÚ nebo je posuzováno riziko nežádoucích účinků srovnáním stanovených dávek v rizikových orgánech s tolerančními hodnotami.

### 6.1 DICOM standard

Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM) je celosvětově unifikovaným standardem a formátem pro zobrazování, přenos a archivaci dat ze zobrazovacích metod. Formát DICOM obsahuje mimo obrazovou dokumentaci i informace o použité modalitě a jejím nastavení.

Tyto informace jsou uloženy v DICOM tagu, které obsahují navíc informace o pacientovi, indikujícím či popisujícím lékaři, radiologickém asistentovi provádějící výkon, jaký rentgenový přístroj byl použit, expozičních parametrech, celkové dávce, velikosti pixelu, či použitém algoritmu. DICOM tagy jsou meta-datové elementy spojené s obrazovou dokumentací. Tagy jsou ve formátu (ggge,eeee), kde „gggg“ je hexadecimální číslo označující konkrétní element ve skupině. Pokud existuje jméno pacienta definováno tagem (0020,0020), najdeme jméno tohoto pacienta v datasetu pod tímto tagem.

Tento formát zajišťuje kompatibilitu, aby data uložená v DICOM formátu mohla být k dispozici v kterémkoliv jiném zdravotnickém zařízení. DICOM prohlížeč dokáže přečíst vedle obrazu i informace z DICOM hlavičky a umožňuje identifikaci obrazu i se všemi parametry.[30]

## 6.2 Informace o dávkách

K obrazové dokumentaci z vyšetření jsou přítomna data expozičních a dávkových parametrů. Zdrojem těchto informací může být DICOM hlavička (header), dávkové protokoly, RDSR (Radiation Dose Structured Reports) nebo MPPS (Modality Performed Procedure Step).

DICOM header je součástí každého souboru, který obsahuje informace o daném vyšetření. Dané informace z hlavičky jsou snadno zobrazitelné, ale z hlediska monitorování dávek jsou nedostatečné. To je dáno tím, že obrazy nemohou nést informaci o celkové dávce známé až po ukončení vyšetření a vytvoření DICOM souborů.

Dávkové protokoly (Dose reports) obsahují informace z daného vyšetření formou obrazu. Tento formát však není mezi výrobci standardizován a musí se tak veškeré analýzy obrazu nastavit pro každý RTG systém. Tento report je pak možné zobrazit v běžném DICOM prohlížeči v podobě obrazové dokumentace, ale obtížně mohou pak být počítačově zpracovávána.

Radiation Dose Structured Report (RDSR) je dokument v DICOM formátu obsahující strukturálně uložené relevantní informace o daném vyšetření. Informace jsou uloženy v tazích v DICOM hlavičce v přesné struktuře a jsou tedy popsány DICOM standardem pro jednotlivé zobrazovací modalitty.

Modality Performed Procedure Step (MPPS) uzavírá smyčku mezi informačním systémem, PACSem a danou modalitou poskytující informaci o aktuálním vyšetření, počtu snímků a statusu vyšetření. MPPS umožňuje způsob sdělování stavu studie, co bylo skutečně provedené vyšetření, aby bylo možné sdělit informace o případných změnách v postupu oproti tomu, co bylo naplánováno. Dále dává informaci o času provedení vyšetření, zařazení vyšetření do čekací fronty či počtu vytvořených snímků.

[31; 30]

### 6.3 Anonymizace dat

Informace v DICOM souborech potřebných pro management dávek obsahují mimo jiné osobní údaje pacientů podstupující vyšetření. S těmi je zapotřebí nakládat s nařízeními v rámci ochrany osobních údajů, hlavně při přenosu a sdílení potřebných dat. Pro účely studií je nutné před sdílením těchto dat anonymizace citlivých údajů. Ty mohou být na různých stupních, od anonymizace identifikačních dat pacienta až po anonymizace například lékaře provádějícího výkon a jsou detailně popsány v DICOM standardu.

### 6.4 Programy pro sledování dávky

Pro možnosti různých úkonů s informacemi potřebných pro management dávek, jako ukládání a jejich zpětné dohledání, tvorba reportů, analýz či exportu dat je zapotřebí programů pro sledování dávek. Řada z nich, jak komerčních či volně dostupných, potřebuje pro plnou automatizaci kompatibilitu a propojení s nemocničním informačním systémem a PACSem. Ty potom dokážou stanovovat průměrné dávky pro dané vyšetření, porovnání dvou modalit mezi sebou a mnoho dalších funkcí. Výstupem každého RTG systému je kvantitativní informace o dávkové veličině, kterou je možné použít pro odhad orgánových dávek založeného na modelu standardní anatomie pacienta.

Programů pro sledování dávek je hned několik a jsou vyráběny předními firmami figurujícími ve zdravotnictví. Ty je možné zakoupit od daných výrobců. Dále jsou k dispozici i volně dostupné bezplatné programy, které však bývají ochuzeny o pokročilé možnosti a funkce. Programy jsou často využívány pro stanovování diagnostických referenčních úrovní.

## 7 Diagnostické referenční úrovně

Jako jeden z principů RO je princip optimalizace, tedy získání požadované dostačující informace za použití rozumně dosažitelné a co nejnižší dávky. Pro LO nejsou stanoveny limity, ale jsou usměrňovány pomocí DRÚ. Jsou úrovněmi dávek u standardních pacientů pro běžně provádějí vyšetření pro obecně používané rentgenové systémy a používají se vždy pro skupinu, nikoliv pro jednotlivce. Při použití standardních postupů se neočekává překročení těchto úrovní. Standardním nebo referenčním pacientem se rozumí takový pacient, který má tělesnou hmotnost od 50 kg do 90 kg a průměrná hmotnost skupiny referenčních pacientů činí 70 kg s možnou odchylkou 5 kg. Skupinou standardních pacientů se rozumí skupina alespoň deseti pacientů, ženy i muži dohromady. DRÚ existují na dvou úrovních, národních a místních. [32; 33; 34]

### 7.1 NDRÚ

Národní diagnostické referenční (NDRÚ) úrovně jsou stanoveny v příloze č.22 vyhlášky č. 422/2016 pro skiagrafická vyšetření dospělých, skiagraficko-skiaskopická a skiaskopická vyšetření, vyšetření dospělých pomocí CT dospělých u skupiny standardních pacientů bez ohledu na pohlaví s průměrnou hmotností 70 kg (+/- 5 kg) s hmotností jednotlivých pacientů v rozmezí 50 – 90 kg, pro vyšetření dospělých v intervenční radiologii, pro skupiny standardních pacientů bez ohledu na pohlaví s průměrnou hmotností 80 kg (+/- 5 kg) s hmotností jednotlivých pacientů v rozmezí 60 - 100 kg, pro mamografická vyšetření pro skupiny standardních pacientek definovaných tloušťkou prsu po kompresi v cranio-caudální projekci uvedenou v prvním sloupci tabulky, pro zubní vyšetření dospělých pro všechny dospělé pacienty a pro diagnostická vyšetření dospělých v nukleární medicíně pro dospělé pacienty bez ohledu na pohlaví s hmotností 70 kg (+/- 5 kg). [35]

### 7.2 MDRÚ

Místní diagnostickou referenční (MDRÚ) úrovní se rozumí hodnota příslušné dávkové veličiny, která je pro konkrétní zdravotnické zařízení a určitý místní radiologický standard stanovena jako aritmetický průměr z průměrných hodnot těchto

veličin z jednotlivých vyšetřoven nebo přístrojů zdravotnického zařízení. Výběr výkonů, pro které se stanovují MDRÚ, je v kompetenci daného poskytovatele zdravotních služeb a jsou to ty výkony, pro které je stanovena NDRÚ, dále ty výkony, které jsou reprezentativní z hlediska klinického provozu, a výkony významné z hlediska radiační zátěže. Hodnoty MDRÚ jsou součástí místních radiologických standardů. MDRÚ pro dané vyšetření je jedno číslo reprezentující poskytovatele zdravotních služeb jako celek. MDRÚ je nutné stanovit tak, aby nedocházelo za účelem snížení dávky pacientům ke zhoršování kvality diagnostického obrazu.

### 7.3 Vyjadřování MDRÚ pomocí veličin

Místní diagnostické referenční úrovně a střední dávky se stanovují v přímo měřitelných veličinách.

Ve skiografii je ideální veličinou pro vyjádření DRÚ vstupní povrchová kerma u jednoho snímku nebo součin kermy a plochy u celého vyšetření nebo u jednoho snímku ( $K_e$  [mGy] a  $P_{KA}$ ,  $KAP$  [mGy.cm<sup>2</sup>]). Vstupní povrchová kerma  $K_e$  je také využívána u zkoušky dlouhodobé stability na fantomu.

U skiaskopického vyšetření je veličinou pro vyjádření DRÚ nejvíc vyhovující součin kermy a plochy pro celé vyšetření za využití KAP metru ( $P_{KA}$ ,  $KAP$  [mGy.cm<sup>2</sup>]).

Vyjádření DRÚ u vyšetření CT lze součinem kermy a délky pro CT nebo objemovým kermovým indexem výpočetní tomografie ( $P_{KL,CT}$  [mGy.cm] a  $C_{VOL}$  [mGy]). Potřebná data jsou získávána ze záznamu vyjádřeném na daném skenu.

V mamografii pro standardní tloušťku prsu po stlačení kompresními deskami se pro vyjádření DRÚ využívá střední absorbované dávky v mléčné žláze na jednu projekci ( $D_G$ ,  $MGD$ ,  $AGD$  [mGy]). Data jsou získávána ze zaznamenaných expozičních parametrů nebo měřením pomocí mamografických PMMA fantomů.

### 7.4 Stanovování MDRÚ

Na začátku celého procesu se stanovují vybraná vyšetření, na kterých budou prováděny výpočty. Potřebné dokumenty a data pro stanovení MDRÚ jsou pacientova data o provedeném vyšetření a protokol z provedené zkoušky dlouhodobé stability (ZDS). Mezi důležité údaje o vyšetření patří typ vyšetření a použitá projekce, napětí U

v kilovoltech, součin proudu rentgenky a expozičního času  $P_{It}$ , vzdálenost ohniska a kůže  $FSD_v$  a pokud přístroj umožňuje zobrazit dávku pomocí vstupní povrchové kermy nebo jiné dozimetrické veličiny. Z protokolu ZDS pro stanovení MDRÚ jsou zapotřebí hodnoty napětí  $U$ , součinu proudu s expozičním časem  $P_{It}$  a vstupní povrchová kerma  $K_{eZDS}$ . Volba daných vyšetření je závislá na poskytovateli zdravotnických služeb a není v povinnosti pro zajištění měření u veškerých vyšetření.

Následně probíhá sběr dat o ozáření pacientů neboli dávková studie, pro vybraná vyšetření o reprezentativním vzorku alespoň 10 dospělých standardních pacientů o celkové průměrné hmotnosti  $70 \pm 5$  kg a zároveň se nesmí lišit rozdílem váhy přesahující 20 kg. Po sběru dat se stanoví střední dávky pro každý RTG přístroj pro skupinu standardních pacientů nebo fantomů jako průměrná hodnota příslušné dozimetrické veličiny a vypočítá se průměrná hodnota ze středních dávek z daných přístrojů pro daný výkon.

Ke stanovení střední dávky jednotlivého skiagrafického přístroje (vyšetřovny) se nejprve vyjadřuje hodnota  $K_{eZDS}$ , tedy vstupní povrchová kerma z protokolu ZDS, která je formulována jako rovnice lineární závislosti pro určité intervaly napětí.

Tedy například pro interval napětí  $U$  (55-65) je rovnice přímky  $K_{eZDS} = 0,0122U - 0,32$ .

Z dávkové studie se zjistí hodnota použitého napětí [kV] pro daného pacienta u daného vyšetření a implementuje se do rovnice lineární závislosti. Kupříkladu při hodnotě napětí 60 kV by rovnice vypadala  $K_{eZDS} = 0,0122 \cdot 60 - 0,69 = 0,412$  mGy. Dále se vyjadřuje vstupní povrchová kerma pro dané vyšetření pomocí rovnice

$$K_{ev} = K_{eZDS} \cdot \frac{P_{Itv}}{P_{ItZDS}} \cdot \left( \frac{FSD_{ZDS}}{FSD_v} \right)^2 \cdot k_U$$

Kde,  $P_{It}$  je součinem expozičního času a proudu rentgenky,  $FSD$  je vzdáleností ohniska a kůže [cm] a  $k_U$  korekčním faktorem pro napětí ze závislosti vstupní povrchové kermy  $K_e$  a napětí s hodnotami stanovenými v ZDS.

Střední dávka se stanovuje aritmetickým průměrem  $K_{ev}$ . Výsledná hodnota se zaokrouhlí nahoru a vyjádří se pomocí dvou platných čísel.

Aritmetickým průměrem ze středních dávek z jednotlivých skiagrafických přístrojů se získá střední hodnota distribuce dle vztahu

$$SHD = \frac{\sum_{i=1}^n S D_i}{n}$$

Kde  $n$  je počtem skiagrafických přístrojů a  $SD$  je střední dávkou daného přístroje. Ta se následně porovnává s NDRÚ, pokud jsou k dispozici. Za předpokladu, kdy stanovené MDRÚ jsou vyšší než NDRÚ, zjistí se příčiny a zdali je možné snížit dávku. Pokud je praxe na daném přístroji neoptimalizována, provede se optimalizace a znovu dávková studie. Pokud však je praxe na daném přístroji optimalizována a nelze snížit dávku, musí poskytovatel zdravotnických služeb vyjádřit důvody, proč jsou dané MDRÚ vyšší než NDRÚ. Výsledná hodnota je potom MDRÚ pro daný výkon a zdravotnické zařízení.

## 7.5 Revize MDRÚ

Povinností každého poskytovatele zdravotnických služeb je zajistit správné nastavení těchto hodnot, jejich pravidelnou kontrolu a případnou optimalizaci. Revize MDRÚ by měla být provedena jednou ročně po prvním stanovení MDRÚ. Pro tuto revizi se nemusí opakovat dávková studie, nýbrž dostačující je kontrola expozičních parametrů a vyšetřovacích postupů. Jestliže však je již stanovena MDRÚ na daném pracovišti, tak se provádí revize jednou za 3 roky i s dávkovou studií.

Pokud nedošlo k výměně přístroje či jeho vybavení, není nutné opakovat celou dávkovou studii. Sběr dat pro dávkovou studii je zapotřebí provést alespoň jednou za 3 roky z každého přístroje bez ohledu na to, zda nastala nějaká změna v postupech nebo vybavení a revize nemusí u všech přístrojů být provedena během jednoho kalendářního roku. Jestliže při revizi standardních postupů a změn ve vybavení nedošlo ke změně, střední dávka daného přístroje se nemění. Jinak je v povinnosti provést novou dávkovou studii. Za předpokladu, že průměrná hodnota středních dávek z přístrojů se liší od stávajících MDRÚ o 10 až 20 % a více a je souběžně důvod ke změně odhalen při revizi, tak se hodnota MDRÚ aktualizuje a je na místě zjistit příčiny a praxi optimalizovat.

## 8 Radiologický asistent

Zobrazovací metody a přístroje v radiodiagnostice jsou neustále zdokonalovány a neustále se vyvíjí. Tím dochází ke zlepšování RO a celkové kvality zdravotnické služby. Nicméně jedním z nejdůležitějších článků na pracovišti radiodiagnostiky je RA, který vykonává správně provedená vyšetření, dávku, dodržuje všechny předpisy a standardy v rámci RO.

### 8.1 Definice a zařazení pracovníka

Radiologický asistent je nelékařský zdravotní pracovník vykonávající činnosti podle § 3 odst. 1 vyhlášky č. 55/2011 Sb. o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků a dále může bez odborného dohledu, bez indikace a v souladu s postupy stanovenými zákonem o specifických zdravotních službách pro poskytování zdravotních služeb, jejichž součástí je lékařské ozáření. Zajišťuje RO, a ve spolupráci s lékařem se podílí na diagnostické a léčebné péči. Uplatňují se ve zdravotnických i soukromých zařízeních a v oborech radiodiagnostiky, nukleární medicíny a radioterapie.

V radiodiagnostice je zodpovědný za technické provedení diagnostických vyšetření a za zajištění obrazové dokumentace. Obsluhuje přístroje využívající zejména ionizujícího záření k diagnostice nebo k asistenci a vedení lékaře během terapeutických výkonů. Obsluhuje však také diagnostické zobrazovací přístroje nevyužívající rentgenového záření. Z ošetrovatelských postupů zajišťují pacientovi žilní vstup a na základě indikace aplikují kontrastní látku. [36][37]

### 8.2 Práce RA s RO a tvorbou MDRÚ

Odborný RA pro radiodiagnostiku vykonává činnosti bez odborného dohledu a bez indikace v souladu s postupy LO může spolupracovat s klinickým radiologickým fyzikem při stanovování MDRÚ v radiodiagnostice a při intervenčních výkonech. Identifikuje příčiny jejich překračování, sleduje dodržování MDRÚ a realizuje nápravná opatření při jejich překračování. Spolupracuje s klinickým radiologickým fyzikem při optimalizaci LO v radiodiagnostice a při intervenčních výkonech a při úpravách vyšetřovacích protokolů. Provádí hodnocení kvality LO, pokud je aplikujícím



odborníkem s klinickou odpovědností za odůvodnění LO dle § 161 vyhlášky č. 55/2011 Sb. o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků.

Dále provádí zkoušky provozní stálosti zdroje ionizujícího záření používaného pro lékařské ozáření dle § 32 vyhlášky č. 422/2016 Sb. o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

## 9 Metodika výzkumu

### 9.1 Výzkumný cíl a hypotézy

Tato diplomová práce se zabývá zjištěním vědomostí a znalostí radiologických asistentů v oblasti radiační ochrany se zaměřením na diagnostické referenční úrovně.

Cíl: Zjistit znalosti a vědomosti radiologických asistentů o aplikaci radiační ochrany a stanovování diagnostických referenčních úrovní v rámci radiační ochrany.

Dílčí hypotézy pro cíl:

H1: Úroveň znalostí/vědomostí v radiační ochraně a DRÚ se liší podle délky praxe.

H2: Úroveň znalostí/vědomostí v radiační ochraně a DRÚ se liší podle úrovně dosaženého vzdělání.

H3: Úroveň znalostí/vědomostí v radiační ochraně a DRÚ se liší podle získané specializace.

H4: Četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření se liší podle délky praxe.

H5: Četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření se liší podle úrovně dosaženého vzdělání.

H6: Četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření se liší podle získané specializace.

H7: Znalosti o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření se liší podle délky praxe.

H8: Znalosti o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření se liší podle úrovně dosaženého vzdělání.

H9: Znalosti o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření se liší podle získané specializace.

## 9.2 Popis souboru

Výzkumný soubor je tvořen RA z České republiky, kteří vyplnili dotazník. Aby byl respondent zařazen do výzkumného souboru, musel být řádně vyplněn celý dotazník. Tahle podmínka byla naplněna pomocí nastavení dotazníku, kdy bylo možné odeslat výhradně vyplněný dotazník.

## 9.3 Metoda sběru dat

Výzkumné šetření bylo provedeno pomocí kvantitativního typu výzkumu. Náběr dat byl realizován prostřednictvím nestandardizovaného dotazníku vlastní konstrukce.

Dotazník obsahuje 17 uzavřených otázek o časové náročnosti 5-10 minut. Na začátku jsou respondenti srozuměni s účelem dotazníkového šetření a o odhadované časové délce vyplnění.

První část dotazníku je zaměřena na demografické rozložení výzkumného souboru (pohlaví, věk, dosažené vzdělání, délka praxe, odborná specializace, zdravotnické zařízení).

Druhá část je zaměřena na vědomostní a znalostní test v rámci RO, kde jsou otázky v rámci optimalizace, dozimetrických veličin a základní charakteristice DRÚ, metodikou stanovování DRÚ, výběr dozimetrických veličin a postupů při stanovování DRÚ. Dále respondenti hodnotí své praktické znalosti v RO na pracovišti a stanovování DRÚ.

## 9.4 Realizace výzkumu

Po udělení souhlasného stanoviska Etické komise fakulty zdravotnických věd Univerzity Palackého byl zahájen sběr dat. Náběr dat se uskutečnil od června 2023 do ledna 2024. Dotazník byl vytvořen pomocí platformy Google Forms a rozeslán v online podobě. Dotazník byl anonymní a distribuován pomocí emailu a sociálních sítí. S rozesláním dotazníků významně pomohla Společnost radiologických asistentů České republiky (SRLA) sdílením internetového odkazu prostřednictvím vlastních facebookových stránek. Pro dotazníkové šetření bylo získáno 127 správně vyplněných dotazníků.

## 9.5 Zpracování dat

Získaná data byla konvertována do programu Microsoft Office Excel. Veškeré otázky byly vyjádřeny pomocí absolutní a relativní četnosti.

Byla použita popisná statistika (medián, maximum, minimum, aritmetický průměr a směrodatná odchylka) a v rámci analýzy dat bylo provedeno vyhodnocení rozložení jednotlivých sledovaných proměnných v rámci daných segmentů respondentů. Analyzovány byly hodnoty průměrů, mediánů a percentilů.

V rámci provedených statistických analýz byla ověřována normalita testovaných proměnných pomocí Shapiro-Wilkova testu. Nulová hypotéza tohoto testu předpokládá, že proměnná má normální rozdělení. V případě, kdy je signifikance testu menší než hladina významnosti 0,05, je nulová hypotéza zamítnuta a testovaná data tak nemají normální rozdělení.

Na základě zjištěných výsledků, kdy jednotlivé testované proměnné nemají normální rozdělení, byly pro testování významnosti diferencí z hlediska vzdělání, délky praxe a specializace zvoleny neparametrický Kruskal-Wallis test, který testuje shodu distribučních funkcí ve více než dvou výběrech a parametrický Mann-Whitney test, který testuje shodu dvou náhodných veličin v rámci nezávislých výběrů.

Statistické analýzy byl provedeny na standardní hladině významnosti 0,05 v programu IBM SPSS Statistics.

## 10 Analýza získaných dat

### 10.1 Demografické rozložení výzkumného souboru

Tabulka 1 - Demografické rozložení výzkumného souboru

Atribut		Absolutní četnost	Relativní četnost [%]
Pohlaví	Muž	29	22,8
	Žena	98	77,2
Dosažené vzdělání	Středoškolské	6	4,7
	Vyšší odborné	21	16,6
	Bakalářské	78	61,4
	Magisterské	22	17,3
Věk	20-30	56	44,1
	31-40	30	23,6
	41-50	23	18,1
	51-60	15	11,8
	61+	3	2,4
Délka praxe	Méně než 5 let	52	40,9
	5-10 let	24	18,9
	11-20 let	26	20,5
	Více než 21 let	25	19,7
Odborná specializace	Ano	59	46,5
	Ne	68	53,5
Typ zdravotnického zařízení	Okresní	59	46,5
	Krajská	14	11
	Vojenská	1	0,8
	Fakultní	33	26
	Jiné (poliklinika...)	20	15,7

Výzkumný soubor zahrnuje demografické údaje 127 respondentů, jenž řádně vyplnili dotazník. Z celkového počtu respondentů je 98 žen (77,2 %) a 29 mužů (22,8 %).

V rámci dosaženého vzdělání se zúčastnilo 78 RA zastupující většinové bakalářské vzdělání (61,4 %), 22 RA s magisterským stupněm vzděláním (17,3 %), 21 laborantů se vzděláním vyšším odborným (16,6 %) a 6 dotazovaných se vzděláním středoškolským (4,7 %).

Dle věkových kategorií je nejvíce zastoupena kategorie 20-30 let s 56 respondenty (44,1 %), dále se jedná o kategorie 31-40 let s obsazením 30 dotázanými (23,6 %), kategorie 41-50 let s 23 RA (18,1 %). V kategorii 51-60 let se zapojilo 15 dotazovaných (11,8 %) a celkově 3 respondenti z věkové kategorie 61+ let (2,4 %).

Dalším demografickým atributem byla délka praxe, kde nejčetnější skupinu tvořili dotazovaní s praxí menší než 5 let s počtem 52 (40,9 %). S délkou praxe 11-20 let (20,5 %) se zúčastnilo 26 laborantů, 19,7 % z celkového počtu bylo tvořeno 25 RA s více než 21 lety praxe a 24 účastníků s praxí 5-10 let (18,9 %).

Skupinu bez odborné specializace tvořilo 68 RA (53,5 %) a s odbornou specializací 68 laborantů (46,5 %).

Dle typu zdravotnického zařízení tvořila nejčetnější skupina z okresních nemocnic o počtu 59 laborantech (46,5 %). 33 RA pracovali ve fakultních nemocnicích (26 %), 15,7 % respondentů bylo zastoupeno 20 laboranty z jiných zdravotnických zařízení. Z krajských nemocnic se zúčastnilo 14 respondentů (11 %) a 1 respondent z vojenské nemocnice (0,8 %).

## 10.2 Výsledky

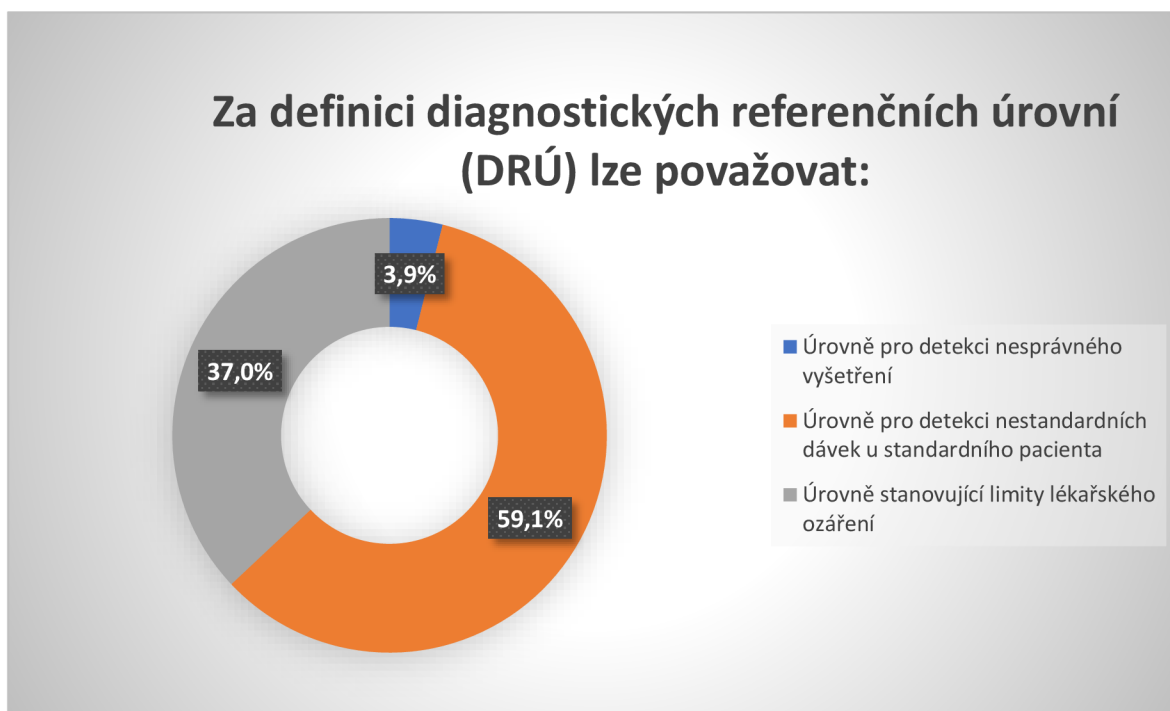
Pro cíl výzkumného šetření bylo zkonstruováno 11 otázek zaměřených na RO a její aplikaci v praxi. Otázky zjišťují, zda laboranti mají znalosti o optimalizaci v RO a používaných dozimetrických veličin v RO. Další otázky jsou hodnotícího charakteru na stupnici od 1 do 5 a zaměřené praktické aplikace RO během vyšetřování pomocí ionizujícího záření. Zbylé otázky byly zaměřeny ohledně stanovování DRÚ. Ty se zaměřují na znalosti a vědomosti RA o základních definicích, využití správných dozimetrických veličin pro stanovení DRÚ, metodiku a postupů stanovování. Sedm otázek má jen jednu správnou odpověď a za každou správnou odpověď byl přidělen jeden bod a za špatnou odpověď žádný bod. Dvě otázky jsou formulovány, aby zjistily,

zda mají RA znalost o postupech stanovování MDRÚ a postupech při překročení hodnoty střední dávky nad hodnotu MDRÚ. Možné odpovědi jsou tedy „Ano“ nebo „Ne“. Za odpověď „Ano“ se přiděluje bod a za odpověď „Ne“ se nepřiděluje žádný bod. Celkem tedy může respondent získat 9 bodů a hodnotí se tak jeho znalost v dané problematice.

Zbylé 2 otázky jsou zaměřeny na znalosti a aplikaci RO během skiagrafických vyšetření, kde se na škále 1-5 hodnotí v dané problematice.

### 10.2.1 Otázka č. 7

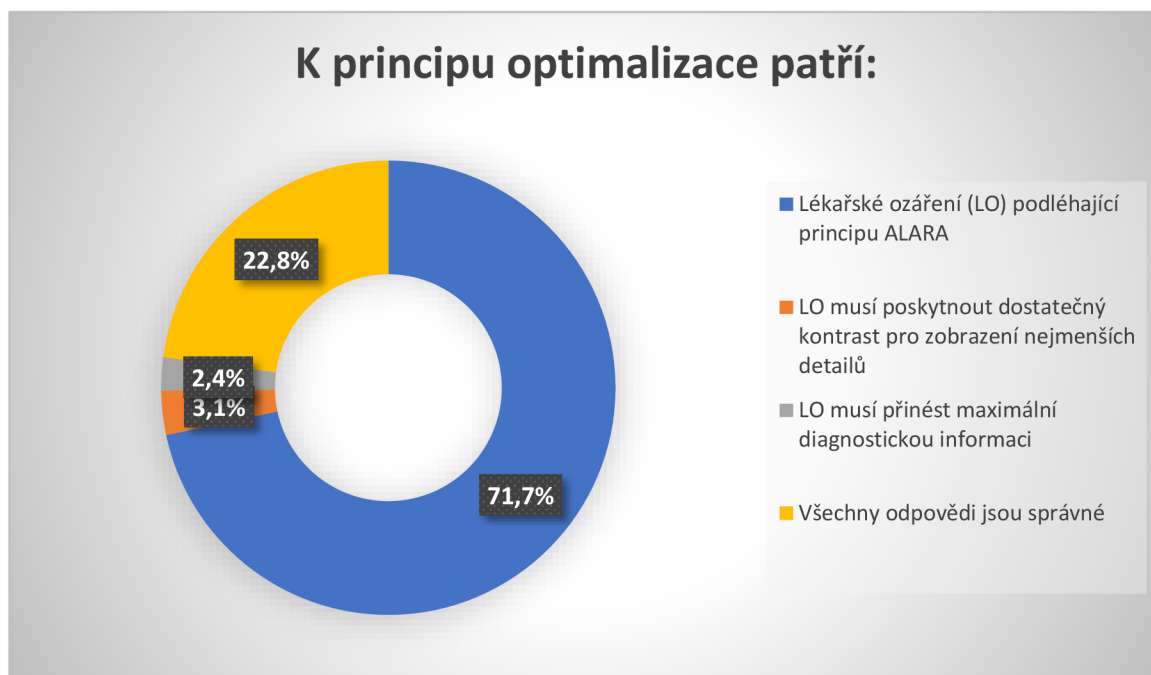
Graf 1 - Odpovědi na otázku č. 7



Z grafu lze vyčíst, že na otázku č. 7 zodpovědělo správně 75 RA (59,1 %). Druhou nejpočetnější odpovědí byla odpověď „Úrovně stanovující limity lékařského ozáření“ s četností 47 (37 %). Pouze 5 respondentů odpovědělo, že se jedná o úrovně pro detekci nesprávných vyšetření (3,9 %).

## 10.2.2 Otázka č. 8

Graf 2 - Odpovědi na otázku č. 8

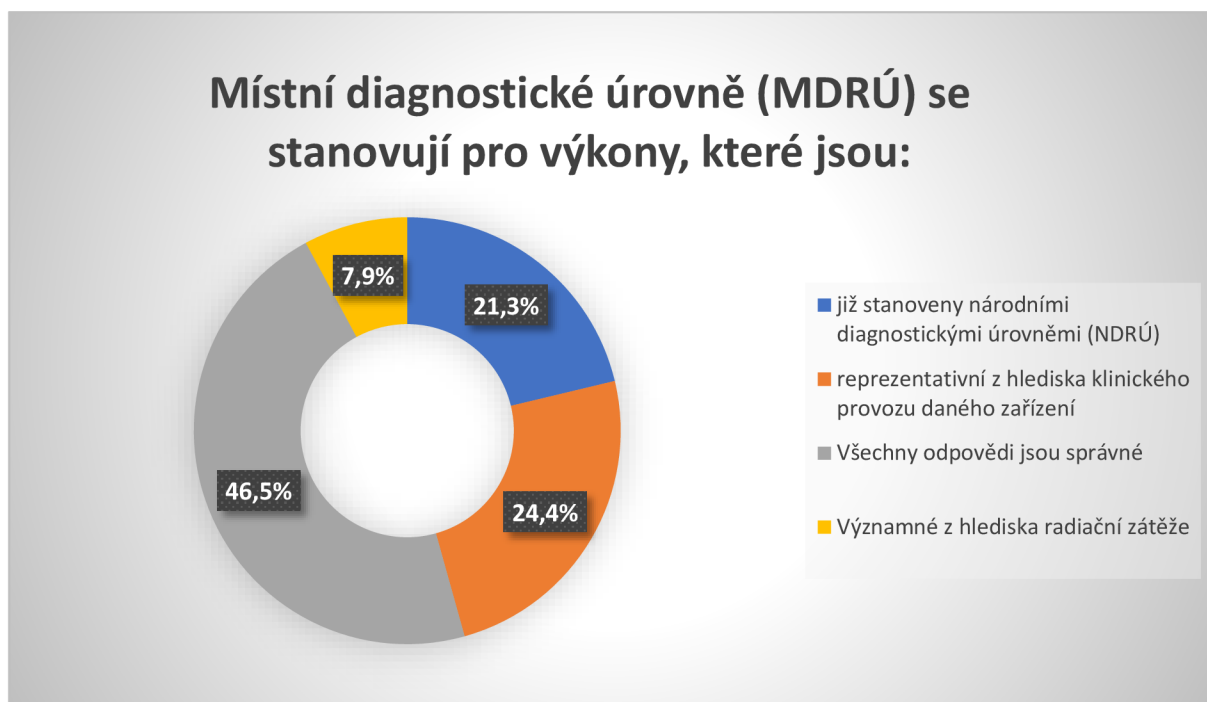


Graf 2 vyobrazuje relativní četnosti na otázku „K principu optimalizace patří:“, kde z celkových 127 respondentů jich odpovědělo správně 91 a vybralo možnost „Lékařské ozáření (LO) podléhající principu ALARA“ (71,7 %). Druhou nejčastěji vyskytující se odpovědí s četností 29 byla „Všechny odpovědi jsou správné“ (22,8 %). 4 dotazující vybrali odpověď „LO musí poskytnout dostatečný kontrast pro zobrazení nejmenších detailů“ (3,1 %) a 3 laboranti se vyjádřili odpovědí „LO musí přinést maximální diagnostickou informaci“ (2,4 %).



### 10.2.3 Otázka č. 9

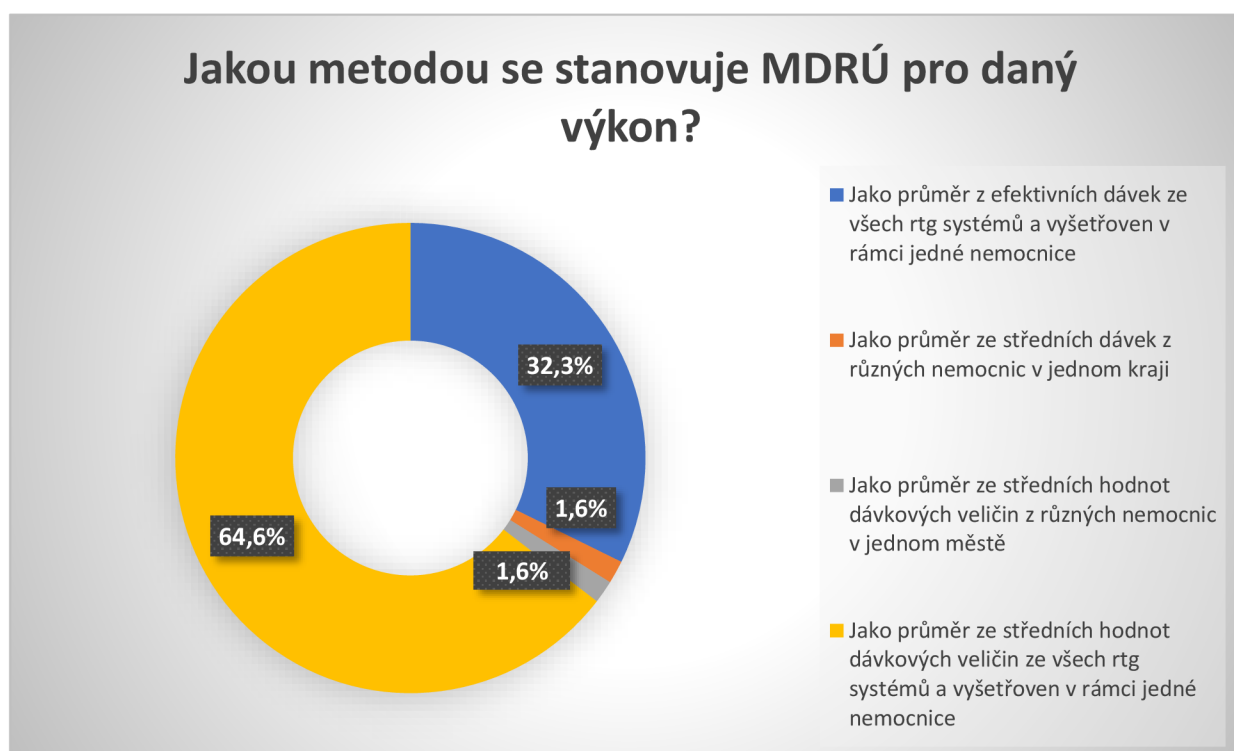
Graf 3 - Odpovědi na otázku č.9



Z grafu 3 je patrné, že 59 odpovědí bylo správných (46,5 %). Druhou nejčastější odpovědí byla „reprezentativní z hlediska klinického provozu daného zařízení“, kterých bylo 31 (24,4 %). Dále 27 laborantů vyhodnotilo za správnou odpověď „již stanoveny národními diagnostickými úrovněmi (NDRÚ)“ (21,3 %) a 10 odpovědí s možností „Významné z hlediska radiační zátěže“ (7,9 %).

## 10.2.4 Otázka č. 10

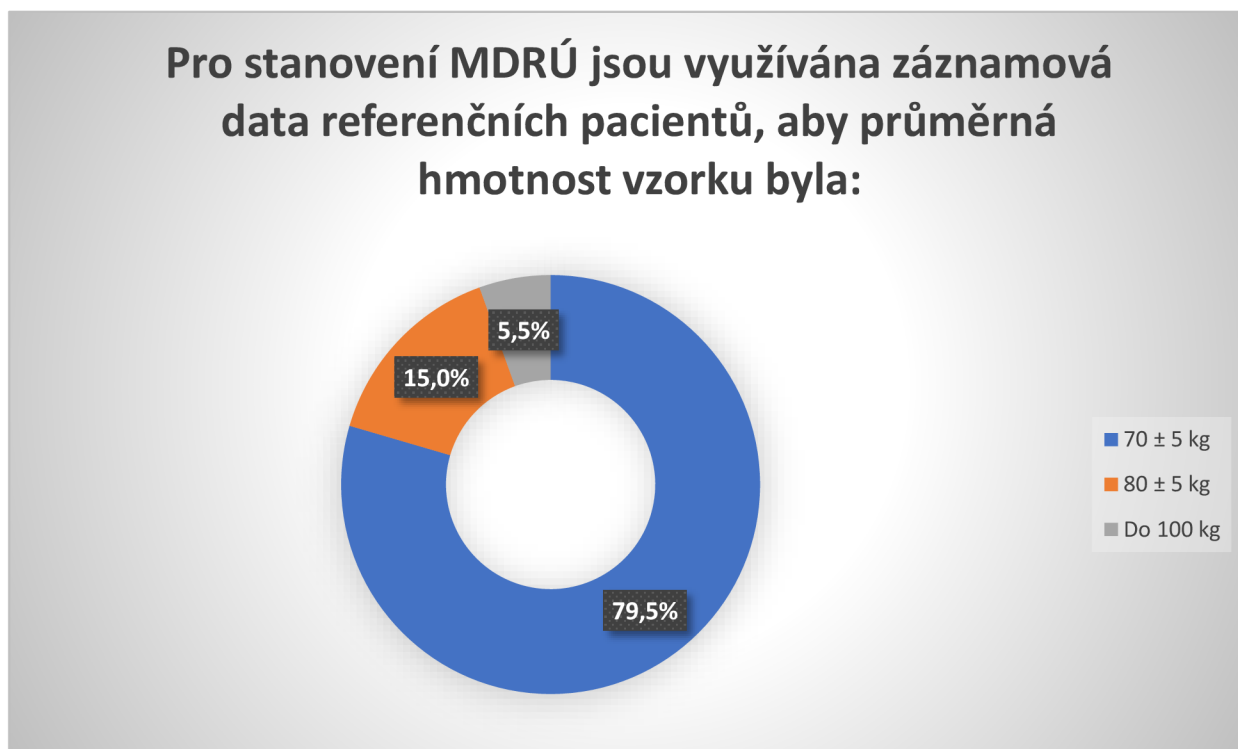
Graf 4 - Odpovědi k otázce č.10



Z grafu 4 vyplývá, že 82 RA odpovědělo správně na otázku č. 10 (64,6 %). Dále 41 odpovědí bylo označeno za správnou „Jako průměr efektivních dávek ze všech RTG systémů a vyšetřoven v rámci jedné nemocnice“ (32,3 %). Odpověď „Jako průměr středních dávek z různých nemocnic v jednom kraji“ byla vyplněna 2 respondenty (1,6 %) a zbylá odpověď „Jako průměr středních hodnot dávkových veličin z různých nemocnic v jednom městě“ byla vybrána 2 laboranty (1,6 %).

## 10.2.5 Otázka č. 11

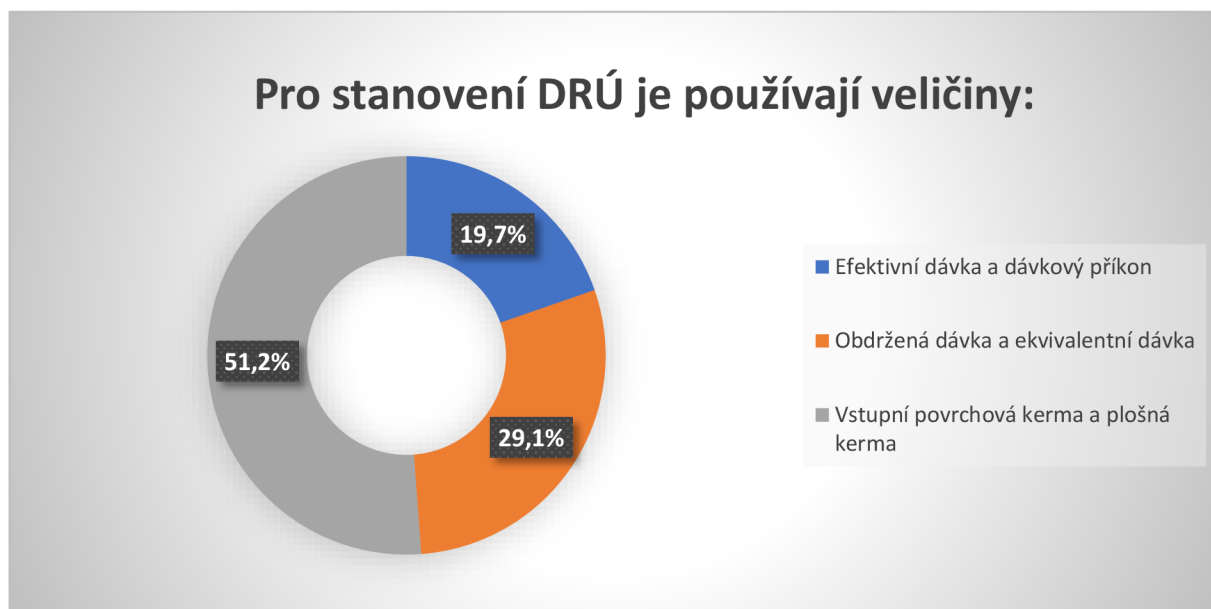
Graf 5 - Odpovědi na otázku č. 11



Graf 5 ukazuje, že 101 dotazovaných odpověděla správně, že průměrná hmotnost vzorku referenčních pacientů pro stanovení MDRÚ by měla být „70 ± 5 kg“ (79,5 %). Celkem 19 odpovědí bylo zastoupeno variantou „80 ± 5 kg“ a 7 RA volilo možnost, že průměrná hmotnost vzorku je „Do 100 kg“ (5,5 %).

## 10.2.6 Otázka č. 12

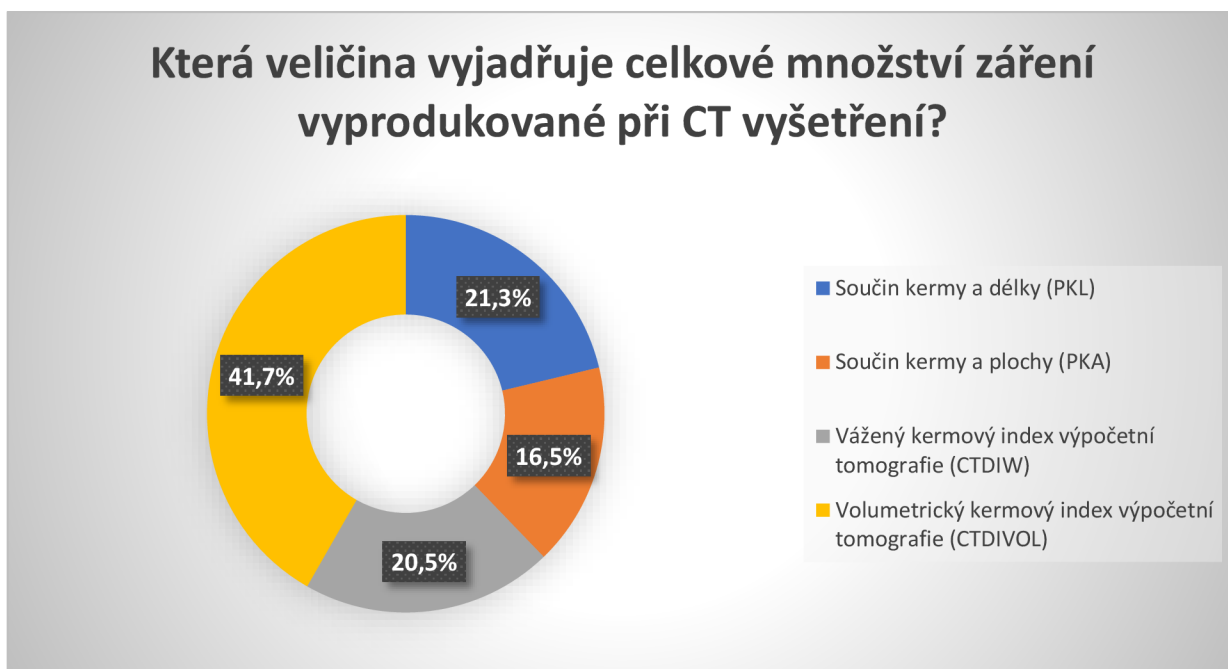
Graf 6 - Odpovědi na otázku č. 12



Z grafu 6 lze vyčíst, že 65 respondentů odpověděla správně na otázku a zvolili tedy odpověď „Vstupní povrchová kerma a plošná kerma“ (51,2 %). Dalších 37 dotázaných zvolilo odpověď „Obdržená dávka a ekvivalentní dávka“ (29,1 %) a 25 RA zodpovědělo otázku jako „Efektivní dávka a dávkový příkon“ (19,7 %).

## 10.2.7 Otázka č. 13

Graf 7 - Odpovědi na otázku č. 13



Graf 7 prezentuje relativní četnosti na otázku „Která veličina vyjadřuje celkové množství záření vyprodukované při CT vyšetření?“, kde z celkových 127 respondentů jich odpovědělo správně 27 (21,3 %). Správnou odpovědí je „Součin kermu a délky (PKL)“. Nejčetněji vyskytující se odpovědí je „Volumetrický kermový index výpočetní tomografie (CTDIVOL)“, kterou zvolilo 53 laborantů (41,7 %).

## 10.2.8 Otázka č.14

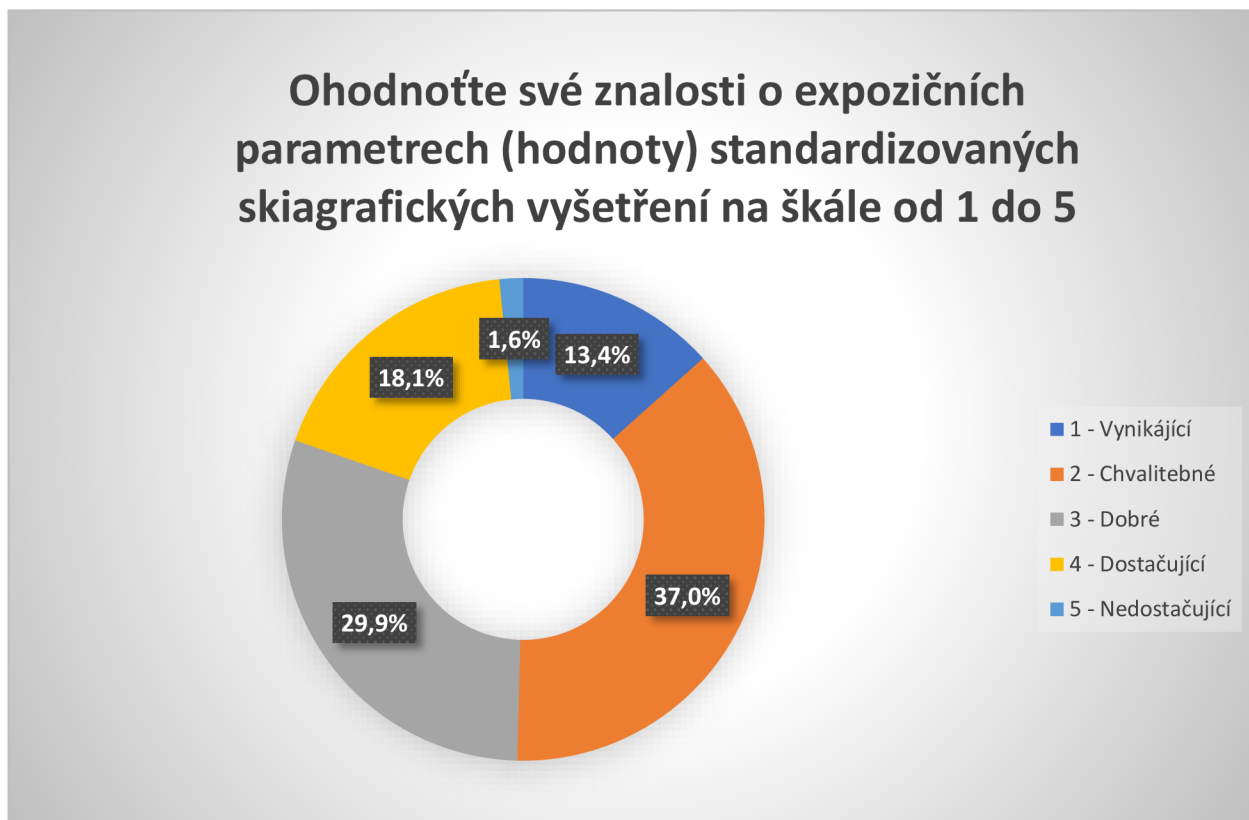
Graf 8 - Odpovědi na otázku č. 14



U otázky č. 14 se měli respondenti sami ohodnotit, jak často kontrolují expoziční parametry u skiagrafických vyšetření. Z grafu 8 je patrné, že během skiagrafických vyšetření kontroluje expoziční parametry 42 laborantů často (33,1 %), vždycky expoziční parametry kontroluje 30 RA (23,6 %), 29 zodpovězených téměř vždycky kontroluje parametry expozice. Za možnost „Občas“ se postavilo 24 RA (18,9 %) a 2 laboranti označili možnost „Vůbec“ (1,6 %).

## 10.2.9 Otázka č. 15

Graf 9 - Odpovědi na otázku č. 15



V otázce č. 15 se dotázaní měli ohodnotit ve svých znalostech o expozičních parametrech u standardizovaných skiagrafických vyšetření na škále od 1 do 5. Z grafu 9 lze vyčíst, že nejvíce respondentů, kterých bylo 47, se hodnotí chvalitebně (37 %). RA, kteří si vybrali možnost „Dobré“, bylo 38 (29,9 %). 23 laborantů se ohodnotilo známkou 4, tedy „Dostačující“ (18,1 %), dalších 17 laborantů hodnotilo své znalosti jako „Vynikající“ (13,4 %) a 2 dotazovaní vybrali možnost „Nedostačující“ (1,6 %).

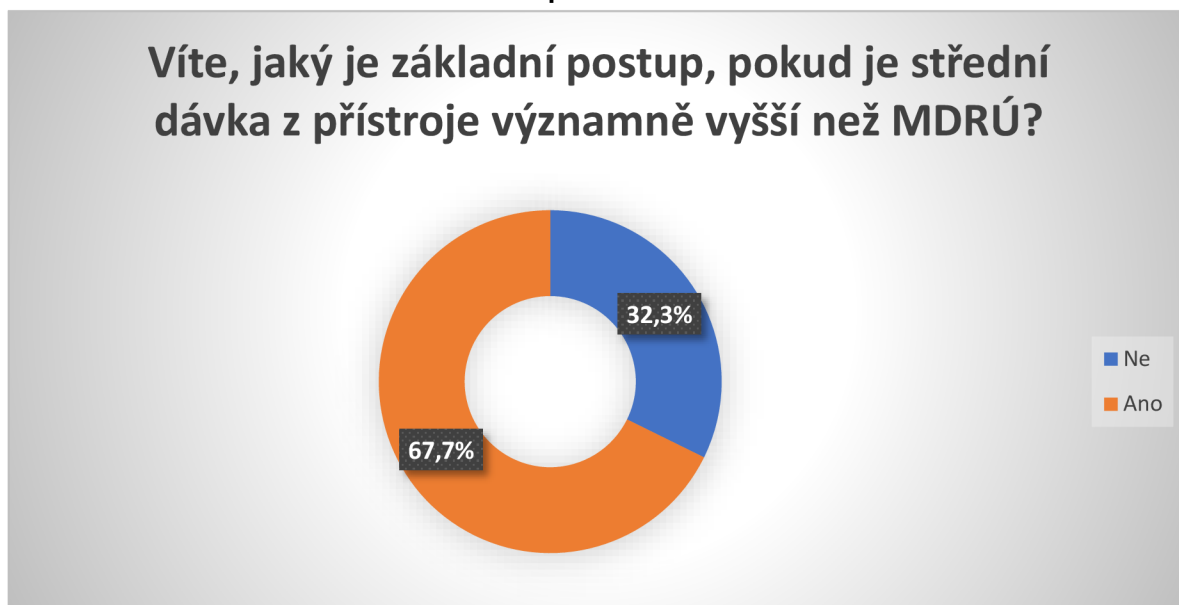
**10.2.10 Otázka č. 16****Graf 10 - Odpovědi na otázku č. 16**

Otázka č. 16 měla RA prověřit, zda mají vědomosti o základních postupech při stanovování MDRÚ. Většina respondentů o počtu 97 tedy mají vědomosti o základních postupech (76,4 %). V opačném případě tyto vědomosti nemá 30 laborantů (23,6 %).



## 10.2.11 Otázka č. 17

Graf 11 - Odpovědi na otázku č. 17



Z grafu vyplývá, že 86 dotazovaných zdá základní postupy, pokud jsou střední dávky z rentgenového přístroje významně vyšší, než MDRÚ (67,7 %). Opačný názor na tuto problematiku má 41 laborantů (32,3 %).

Procentuální četnost správných odpovědí u otázek z dotazníkového šetření.

Tabulka 2 - Četnost správných odpovědí v procentech

Otázky	Četnost správných odpovědí [%]
č.7	59,1
č.8	71,7
č.9	46,5
č.10	64,6
č.11	79,5
č.12	51,2
č.13	21,3
č.16	76,4
č.17	67,7

Tabulka č. 2 prezentuje procentuální zastoupení správných odpovědí u jednotlivých otázek obsažených v dotazníku. Nejvyšší úspěšnost byla u otázky č. 11 „Pro stanovení MDRÚ jsou využívána záznamová data referenčních pacientů, aby průměrná hmotnost vzorku byla:“, kde většina (79,5 %) odpověděla správně a zvolila odpověď „70 ± 5 kg“. Naopak otázka s nejnižší úspěšností byla otázka č. 13, kde správnou odpověď na otázku „Která veličina vyjadřuje celkové množství záření vyprodukované při CT vyšetření?“ zvolilo pouze 21,3 % dotázaných („Součin kerry a délky (PKL)“).

**Tabulka 3 - Popisná statistika správných odpovědí**

Aritmetický průměr	59,2 %
Medián	64,6 %
Směrodatná odchylka	18,3 %
Maximum	79,5 %
Minimum	16,5 %

Tabulka č. 3 ukazuje výsledky popisné analýzy vycházející z relativních četností správných odpovědí z tabulky č.2. Aritmetický průměr správných odpovědí byl 59,2 %, hodnota mediánu 64,6 % a směrodatná odchylka 18,3 %. Maximum činilo 79,5 % a minimum dosáhlo na 16,5 %.

### 10.3 Ověření platnosti hypotéz

Cíl: Zjistit znalosti a vědomosti radiologických asistentů o aplikaci radiační ochrany a stanovování diagnostických referenčních úrovní v rámci radiační ochrany.

#### 10.3.1 Hypotéza 1

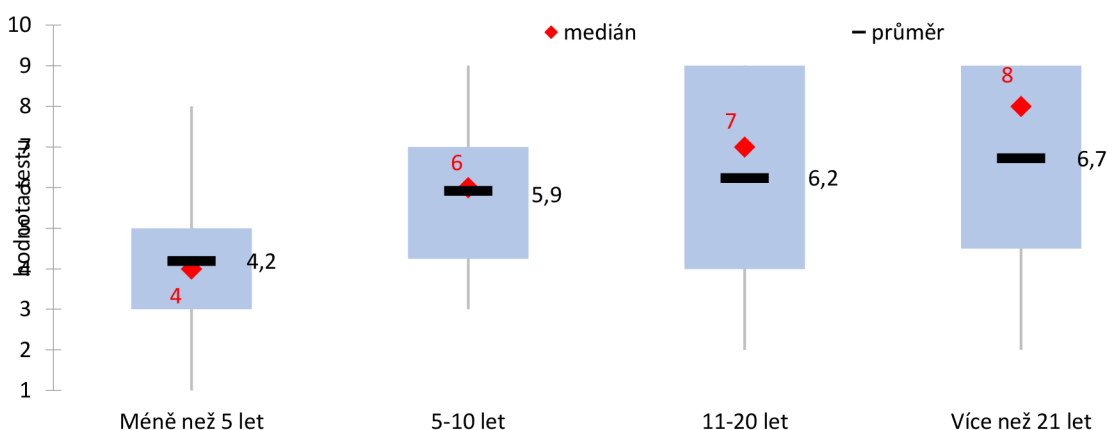
H<sub>0</sub>1: Úroveň znalostí/vědomostí v radiační ochraně se neliší podle délky praxe

H<sub>A</sub>1: Úroveň znalostí/vědomostí v radiační ochraně se liší podle délky praxe

Výsledky Shapiro-Wilkova testu nepotvrdily normální rozdělení proměnné charakterizující znalostí/vědomostí v RO. Z tohoto důvodu byly pro testování významnosti diferencí úrovně znalostí/vědomostí v RO z hlediska jednotlivých charakteristik respondentů použity neparametrické testy.

V případě diferenciace úrovně znalostí/vědomostí v radiační ochraně podle délky praxe byl použit Kruskal-Wallis test. Z výsledků tohoto testu můžeme konstatovat, že na základě dosažené signifikance (0,000) platí na hladině významnosti  $p=0,05$ , že se úroveň znalostí/vědomostí v RO podle délky praxe statisticky významně liší.

**Graf 12 - Hodnocení úrovně znalostí/vědomostí v radiační ochraně podle délky praxe**



Zdroj: vlastní šetření

Pozn.: ( $\chi^2=25,192$ ,  $df=3$ ,  $sig.=0,000$ )

Pozn.: v grafu jsou vedle hodnot průměru a mediánu zobrazeny minimum, dolní kvartil, horní kvartil a maximum

**Tabulka 4 - Výsledky testu významnosti diferencí mezi jednotlivými kategoriemi dle délky praxe**

Kategorie	Signifikance
Méně než 5 let / 5-10 let	0,002
Méně než 5 let / 11-20 let	0,000
Méně než 5 let / Více než 21 let	0,000
5-10 let / 11-20 let	0,720
5-10 let / Více než 21 let	0,292
11-20 let / Více než 21 let	0,476

Z tabulky vyplývá signifikantní rozdíl ve znalostech/vědomostech mezi kategoriemi s délkou praxe kratší 5 let a délkou praxe 11-20 let ( $p=0,000$ ). Další signifikantní rozdíl byl vyhodnocen u RA s praxí kratší 5 let a délkou praxe delší než 21 let ( $p=0,000$ ) a také mezi laboranty s délkou praxe kratší než 5 let a délkou praxe 5-10 let ( $p=0,002$ ).

Nulová hypotéza  $H_01$  tedy může být zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy  $H_{A1}$ .

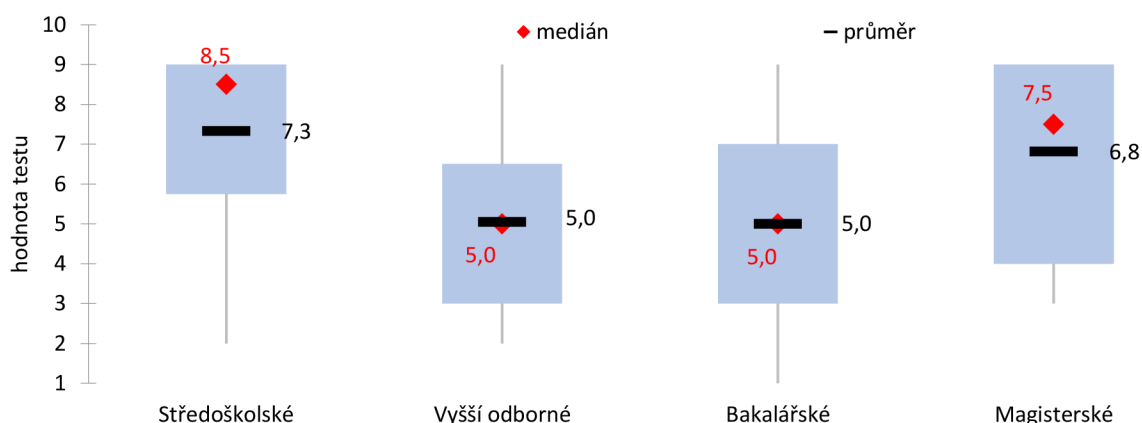
### 10.3.2 Hypotéza 2

$H_02$ : Úroveň znalostí/vědomostí v radiční ochraně se neliší podle úrovně dosaženého vzdělání.

$H_{A2}$ : Úroveň znalostí/vědomostí v radiční ochraně se liší podle úrovně dosaženého vzdělání.

V případě diferenciací úrovně znalostí/vědomostí v RO podle úrovně dosaženého vzdělání byl použit Kruskal-Wallis test. Z výsledků tohoto testu můžeme konstatovat, že na základě dosažené signifikance (0,003) platí na hladině významnosti  $p=0,05$ , že se úroveň znalostí/vědomostí v RO podle úrovně dosaženého vzdělání statisticky významně liší.

**Graf 13 - Hodnocení úrovně znalostí/vědomostí v radiční ochraně podle úrovně dosaženého vzdělání**



Zdroj: vlastní šetření

Pozn.: ( $\chi^2=14,188$ ,  $df=3$ ,  $sig.=0,003$ )

Pozn.: v grafu jsou vedle hodnot průměru a mediánu zobrazeny minimum, dolní kvartil, horní kvartil a maximum

**Tabulka 5 - Výsledky testu významnosti diferencí mezi jednotlivými kategoriemi dle dosaženého vzdělání**

Kategorie	Signifikance
Bakalářské / Vyšší odborné	0,997
Bakalářské / Magisterské	0,002
Bakalářské / Středoškolské	0,022
Vyšší odborné / Magisterské	0,014
Vyšší odborné / Středoškolské	0,036
Magisterské / Středoškolské	0,632

Tabulka ukazuje signifikantní rozdíly mezi respondenty bakalářského a magisterského vzdělání ( $p=0,002$ ). Dále mezi laboranty s vyšším odborným a magisterským vzděláním ( $p=0,014$ ), bakalářským a středoškolským vzděláním ( $p=0,022$ ) a vyšším odborným a středoškolským vzděláním ( $p=0,036$ ).

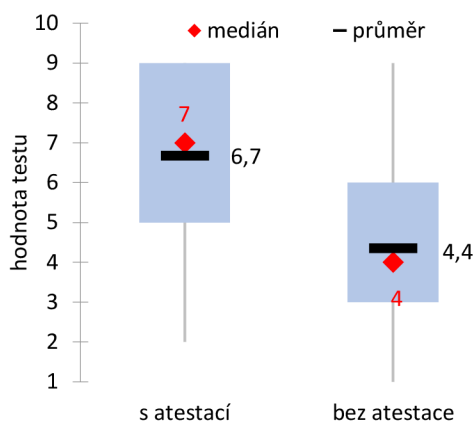
Nulová hypotéza  $H_02$  tedy může být zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy  $H_{A2}$ .

### 10.3.3 Hypotéza 3

$H_03$ : Úroveň znalostí/vědomostí v radiační ochraně se neliší podle získané specializace.

$H_{A3}$ : Úroveň znalostí/vědomostí v radiační ochraně se liší podle získané specializace.

V případě diferenciací úrovně znalostí/vědomostí v RO podle získané specializace byl použit Mann-Whitney test. Z výsledků tohoto testu můžeme konstatovat, že na základě dosažené signifikance (0,000) platí na hladině významnosti  $p=0,05$ , že se úroveň znalostí/vědomostí v RO podle získané specializace statisticky významně liší.

**Graf 14 - Hodnocení úrovně znalostí/vědomostí v radiační ochraně podle získané specializace**

Zdroj: vlastní šetření

Pozn.: ( $U=871,0$ ,  $\text{sig.}=0,000$ )

Pozn.: v grafu jsou vedle hodnot průměru a mediánu zobrazeny minimum, dolní kvartil, horní kvartil a maximum

Nulová hypotéza  $H_03$  tedy může být zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy  $H_{A3}$ .

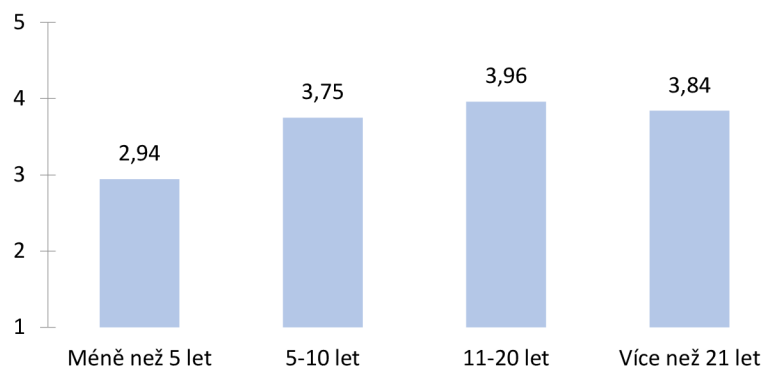
#### 10.3.4 Hypotéza 4

$H_04$ : Četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření se neliší podle délky praxe.

$H_{A4}$ : Četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření se liší podle délky praxe.

Výsledky Shapiro-Wilkova testu nepotvrdily normální rozdělení proměnné charakterizující četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření. Z tohoto důvodu byly pro testování významnosti diferencí v četnosti kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření z hlediska jednotlivých charakteristik respondentů použity neparametrické testy.

V případě diferenciací četnosti kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření podle délky praxe byl použit Kruskal-Wallis test. Z výsledků tohoto testu můžeme konstatovat, že na základě dosažené signifikance (0,000) platí na hladině významnosti  $p=0,05$ , že se četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření podle délky praxe statisticky významně liší.

**Graf 15 - Průměrná četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření podle délky praxe**

Zdroj: vlastní šetření

Pozn.: ( $\chi^2=22,745$ ,  $df=3$ ,  $sig.=0,000$ )

Pozn.: 1 = vůbec, 5 = vždycky

Pozn.: v grafu jsou zobrazeny hodnoty průměru

**Tabulka 6 - Výsledky testu významnosti diferencí mezi jednotlivými kategoriemi**

Kategorie	Signifikance
Méně než 5 let / 5-10 let	0,002
Méně než 5 let / Více než 21 let	0,001
Méně než 5 let / 11-20 let	0,000
5-10 let / Více než 21 let	0,857
5-10 let/ 11-20 let	0,534
Více než 21 let / 11-20 let	0,657

Tabulka popisuje jednotlivé výsledky, kde statisticky signifikantní difference byl mezi skupinami respondentů s praxí kratší než 5 let a praxí o délce 11-20 let ( $p=0,000$ ). Další významný rozdíl byl popsán u skupin s praxí kratší než 5 let a delší než 21 let ( $p=0,001$ ) a nakonec mezi skupinami s praxí kratší než 5 let a praxí 5-10 let ( $p=0,02$ ).

$H_0$  tedy může být zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy  $H_A$ .

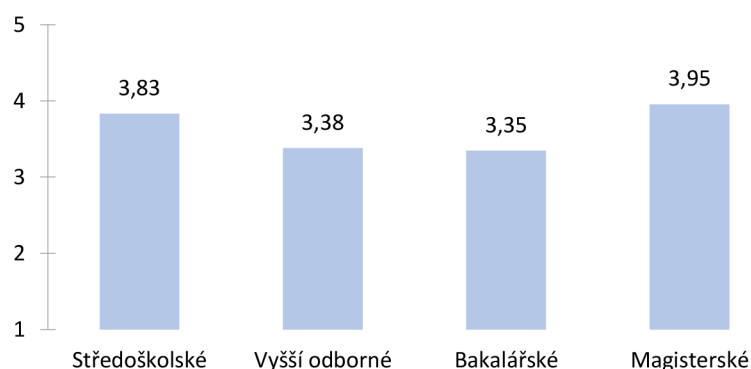
### 10.3.5 Hypotéza 5

H<sub>0</sub>5: Četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření se neliší podle délky praxe

H<sub>A</sub>5: Četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření se liší podle úrovně dosaženého vzdělání.

V případě diferenciací četnosti kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření podle úrovně dosaženého vzdělání byl použit Kruskal-Wallis test. Z výsledků tohoto testu můžeme konstatovat, že na základě dosažené signifikance (0,122) platí na hladině významnosti  $p=0,05$ , že se četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření podle úrovně dosaženého vzdělání neliší.

**Graf 16 - Průměrná četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření podle úrovně dosaženého vzdělání**



Zdroj: vlastní šetření

Pozn.: ( $\chi^2=5,794$ ,  $df=3$ ,  $sig.=0,122$ )

Pozn.: 1 = vůbec, 5 = vždycky

Pozn.: v grafu jsou zobrazeny hodnoty průměru

Alternativní hypotéza H<sub>A</sub>5 tedy může být zamítnuta ve prospěch nulové hypotézy H<sub>0</sub>5.



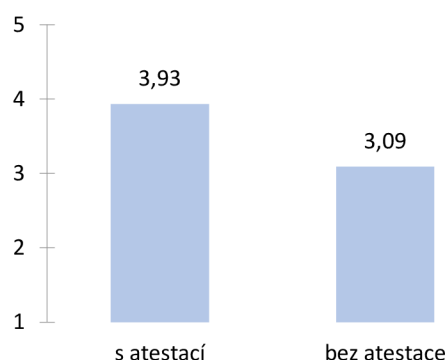
### 10.3.6 Hypotéza 6

H<sub>06</sub> Četnost kontroly expozičních parametrů u skiografických vyšetření se neliší podle získané specializace.

H<sub>A6</sub> Četnost kontroly expozičních parametrů u skiografických vyšetření se liší podle získané specializace.

V případě diferenciací četnosti kontroly expozičních parametrů u skiografických vyšetření podle získané specializace byl použit Mann-Whitney test. Z výsledků tohoto testu můžeme konstatovat, že na základě dosažené signifikance (0,000) platí na hladině významnosti  $p=0,05$ , že se četnosti kontroly expozičních parametrů u skiografických vyšetření podle získané specializace statisticky významně liší.

**Graf 17 - Průměrná četnost kontroly expozičních parametrů u skiografických vyšetření podle získané specializace**



Zdroj: vlastní šetření

Pozn.: (U=1132,0, sig.=0,000)

Pozn.: 1 = vůbec, 5 = vždycky

Pozn.: v grafu jsou zobrazeny hodnoty průměru

Nulová hypotéza H<sub>06</sub> tedy může být zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy H<sub>A6</sub>.

### 10.3.7 Hypotéza 7

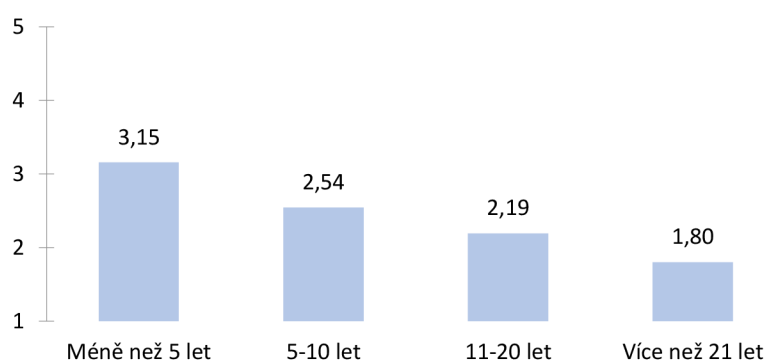
$H_07$ : Znalosti o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření se neliší podle délky praxe.

$H_{A7}$ : Znalosti o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření se liší podle délky praxe.

Výsledky Shapiro-Wilkova testu nepotvrdily normální rozdělení proměnné charakterizující znalosti o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření. Z tohoto důvodu byly pro testování významnosti diferencí ve znalostech o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření z hlediska jednotlivých charakteristik respondentů použity neparametrické testy.

V případě diferenciací znalostí o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření podle délky praxe byl použit Kruskal-Wallis test. Z výsledků tohoto testu můžeme konstatovat, že na základě dosažené signifikance (0,000) platí na hladině významnosti  $p=0,05$ , že se míra znalostí o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření podle délky praxe statisticky významně liší.

**Graf 18 - Průměrné hodnocení znalostí o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření podle délky praxe**



Zdroj: vlastní šetření

Pozn.: ( $\chi^2=38,639$ ,  $df=3$ ,  $sig.=0,000$ )

Pozn.: 1 = vynikající, 5 = nedostačující

Pozn.: v grafu jsou zobrazeny hodnoty průměru

**Tabulka 7 - Výsledky testu významnosti diferencí mezi jednotlivými kategoriemi dle délky praxe**

Kategorie	Signifikance
Více než 21 let / 11-20 let	0,206
Více než 21 let / 5-10 let	0,009
Více než 21 let / Méně než 5 let	0,000
11-20 let / 5-10 let	0,163
11-20 let / Méně než 5 let	0,000
5-10 let / Méně než 5 let	0,011

Z tabulky vyplývají statisticky významné rozdíly o znalostech expozičních parametrů u standardizovaných skiografických vyšetření mezi skupinami RA s délkami praxí delší než 21 let a kratší než 5 let ( $p=0,000$ ) a délkou 11-20 let a kratší než 5 let ( $p=0,000$ ). Signifikantní rozdíly byly stanoveny i mezi kategoriemi s délkami praxí delší než 21 let a o délce praxe mezi 5 a 10 lety ( $p=0,09$ ) a praxí kratší než 5 let a délkou praxe mezi 5-10 lety ( $p=0,011$ ).

Nulová hypotéza  $H_07$  tedy může být zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy  $H_{A7}$ .

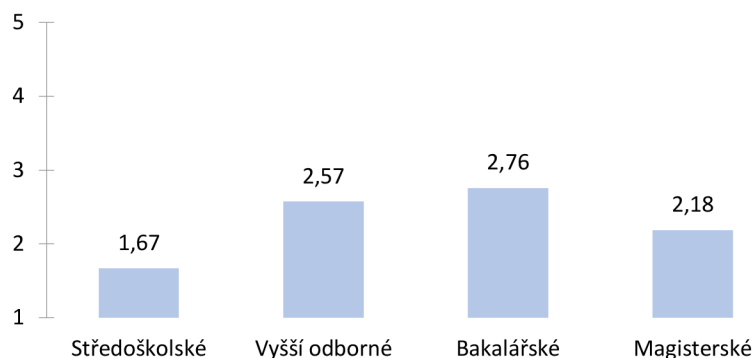
### 10.3.8 Hypotéza 8

$H_08$ : Znalosti o expozičních parametrech standardizovaných skiografických vyšetření se neliší podle úrovně dosaženého vzdělání.

$H_{A8}$ : Znalosti o expozičních parametrech standardizovaných skiografických vyšetření se liší podle úrovně dosaženého vzdělání.

V případě diferenciací znalostí o expozičních parametrech standardizovaných skiografických vyšetření podle úrovně dosaženého vzdělání byl použit Kruskal-Wallis test. Z výsledků tohoto testu můžeme konstatovat, že na základě dosažené signifikance (0,007) platí na hladině významnosti  $p=0,05$ , že míra znalostí o expozičních parametrech standardizovaných skiografických vyšetření podle úrovně dosaženého vzdělání statisticky významně liší.

**Graf 19 - Průměrné hodnocení znalostí o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafičkových vyšetření podle úrovně dosaženého vzdělání**



Zdroj: vlastní šetření

Pozn.: ( $\chi^2=12,090$ ,  $df=3$ ,  $sig.=0,007$ )

Pozn.: 1 = vynikající, 5 = nedostačující

Pozn.: v grafu jsou zobrazeny hodnoty průměru

**Tabulka 8 - Výsledky testu významnosti diferencí mezi jednotlivými kategoriemi dle dosaženého vzdělání**

Kategorie	Signifikance
Středoškolské / Magisterské	0,299
Středoškolské / Vyšší odborné	0,048
Středoškolské / Bakalářské	0,009
Magisterské / Vyšší odborné	0,151
Magisterské / Bakalářské	0,009
Vyšší odborné / Bakalářské	0,438

Z tabulky lze vyčíst statisticky signifikantní rozdíly ve znalostech o expozičních parametrech mezi respondenty se středoškolským a bakalářským vzděláním ( $p=0,009$ ) a mezi magisterským a bakalářským vzděláním ( $p = 0,009$ ). Statisticky významný rozdíl byl stanoven mezi kategoriemi laborantů se středoškolským a vyšším odborným vzděláním ( $p=0,048$ ).

Nulová hypotéza  $H_08$  tedy může být zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy  $H_{A8}$ .

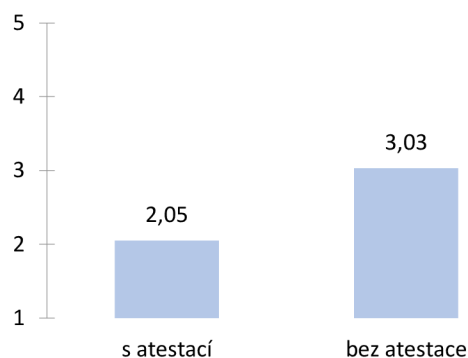
### 10.3.9 Hypotéza 9

H<sub>0</sub>9: Znalosti o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření se neliší podle získané specializace.

H<sub>A</sub>9: Znalosti o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření se liší podle získané specializace.

V případě diferenciací znalostí o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření podle získané specializace byl použit Mann-Whitney test. Z výsledků tohoto testu můžeme konstatovat, že na základě dosažené signifikance (0,000) platí na hladině významnosti  $p=0,05$ , že se míra znalostí o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření podle získané specializace statisticky významně liší.

**Graf 20 - Průměrné hodnocení znalostí o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření podle získané specializace**



Zdroj: vlastní šetření

Pozn.: ( $U=863,5$ ,  $sig.=0,000$ )

Pozn.: 1 = vynikající, 5 = nedostačující

Pozn.: v grafu jsou zobrazeny hodnoty průměru

Nulová hypotéza H<sub>0</sub>9 tedy může být zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy H<sub>A</sub>9.

## 11 Diskuse

Cílem diplomové práce bylo zjistit znalosti a vědomosti RA o aplikaci RO a stanovování DRÚ v rámci RO. Výzkum byl kvantitativní a data byla získána prostřednictvím anonymního dotazníkového šetření. Dotazník vlastní konstrukce se skládal ze 17 uzavřených otázek a byl distribuován pomocí internetového odkazu a zasílaného přes email a sociální sítě. Výzkumným souborem byli RA z České republiky, kterých celkem bylo 127.

Demografické rozložení výzkumného souboru popisuje, že dotazníkového šetření se zúčastnilo více žen (77,2 %) než mužů (22,8 %). Nejčtenější stupeň dosaženého vzdělání bylo bakalářské (61,4 %). Dále dle věkových kategorií byla nejčtenější skupina respondentů ve věku 20-30 let (44,1 %). Tento výsledek je navázán na následující, kde nejfrekventovanější skupinou dle délky praxe byli RA s délkou praxe kratší než 5 let (40,9 %). Z těchto výsledků lze konstatovat, že obor radiologické asistence ukončený bakalářským stupněm vzdělání je mladým oborem. Naopak nejméně čtenými respondenty dle stupně dosaženého vzdělání byli RA se středoškolským a vyšším odborným vzděláním o celkové relativní četnosti 21,3 %. Nejméně zastoupenými věkovými kategoriemi byli dotazovaní ve věku 51 let a více při celkovém zastoupení 14,2 %. Skupinu laborantů s délkou praxe delší než 21 let tvořilo 19,7 % z celkového počtu RA. Méně, než polovina dotazovaných měla specializaci ve svém oboru (46,5 %). Nejčtenějším typem zdravotnického zařízení byla nemocnice okresní (46,5 %) a následovala nemocnice fakultní (26 %). 11 % RA zodpovědělo, že vykonávají své zaměstnání v krajské nemocnici a jiném typu zdravotnického zařízení pracuje 15,7 % laborantů. Pouze jeden respondent v dotazníkovém šetření uvedl pracovní poměr ve vojenské nemocnici (0,8 %).

Vědomostně-znalostní test měl za úkol zjistit vědomosti a znalosti RA dle jednotlivých odpovědí. Po vyhodnocení otázek byla stanovena úspěšnost 59,2 %, která vypovídá o průměrné znalosti personálu. Nejmenší úspěšnost byla zaznamenána u otázky č. 13, kde správnou odpověď na otázku „Která veličina vyjadřuje celkové množství záření vyprodukované při CT vyšetření?“ zvolilo pouze 21,3 % dotázaných správnou odpověď. Zde byla nejčastější odpověď „Volumetrický

kermový index výpočetní tomografie (CTDIVOL)“, kde  $CTDI_{VOL}$  neboli objemový kermový (dávkový) index výpočetní tomografie představuje dávku na jeden řez a součin kermu a délky je  $CTDI_{VOL}$  integrovaná přes celý skenovací objem. [38]

Další nedostatky byly pozorovány u otázky č. 9, která se dotazovala, pro které výkony se stanovují místní diagnostické úrovně (MDRÚ), kde byla celková úspěšnost 46,5 %. Dle radiologických standardů slouží právě MDRÚ k hodnocení dávek pacientů. [15]

Naopak otázka s největší četností úspěšnosti byla otázka č. 11 „Pro stanovení MDRÚ jsou využívána záznamová data referenčních pacientů, aby průměrná hmotnost vzorku byla:“, kde správně odpovědělo 79,5 % respondentů a zvolilo odpověď „ $70 \pm 5$  kg“. U otázky s druhou největší úspěšností, která zněla „Víte, jaký je základní postup při stanovování MDRÚ?“, odpovědělo 76,4 % radiologických asistentů, že tento postup znají. Další úspěšnou otázkou byla otázka č. 8 „K principu optimalizace patří“, kde 71,7 % dotazovaných ví, že lékařské ozáření podléhá principu ALARA.

Pro daný cíl byly stanoveny hypotézy, u kterých byla ověřována normalita testovaných proměnných pomocí Shapiro-Wilkova testu. Pokud tedy dané testované proměnné neměly normální rozložení, byl pro ověření významnosti diferencí zvolen Kruskal-Wallis test, testující shodu distribučních funkcí ve více než dvou parametrech. Pro testování shody dvou náhodných veličin nezávislých výběrů byl vybrán parametrický Mann-Whitney test.

Hypotézy měly prověřit, zda se liší úroveň znalostí/vědomostí v RO se podle délky praxe, dosaženého vzdělání nebo zda mají respondenti specializaci. Dále zda se liší četnosti kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření dle délky praxe, dosaženého vzdělání nebo získané specializace a jestli se liší znalosti expozičních parametrů podle délky praxe, dosaženého vzdělání či získané specializace. U první hypotézy ověřující závislost znalostí/vědomostí RA dle délky praxe byly zaznamenány statisticky významné rozdíly mezi kategoriemi s délkou praxí kratší než 5 let v porovnání s ostatními skupinami. Zde se vyskytuje rostoucí trend v hodnocení znalostí a vědomostí s rostoucí délkou praxí. Druhá hypotéza ověřovala odlišnost

úrovně znalostí/vědomostí podle dosaženého vzdělání se statisticky významným rozdílem mezi kategoriemi se vzděláním bakalářským / magisterským, bakalářským / středoškolským, vyšším odborným / magisterským a vyšším odborným / středoškolským. V tomto hodnocení dle úrovně dosaženého vzdělání mají největší znalosti a vědomosti respondenti se středoškolským vzděláním a následně RA s magisterským stupněm vzdělání. Významný rozdíl byl pozorován u třetí hypotézy, zda se liší vědomosti dle získané specializace, kde dotázaní s atestací mají vyšší hodnocení znalostí než laboranti bez atestace. Z daných hypotéz vyplývá, že pro úroveň znalostí a vědomostí v RO a DRÚ u personálu je důležitější délka praxe a získaná specializace, než dosažený stupeň vzdělání. Je však důležité zmínit i úlohu dosaženého vzdělání, jelikož s rostoucím stupněm vzdělání roste i hodnocení úrovně znalostí, kromě respondentů se vzděláním středoškolským, zde se očekává kompenzace vzdělání díky dlouholeté délky praxe oproti ostatním respondentům.

Signifikanční rozdíly byly vyhodnoceny i u četnosti kontroly u skiagrafických vyšetření dle délky praxe a získané specializace. Dle délky praxe lze stanovit rostoucí mezikategoriální charakter četnosti kontrol, kromě nejzkušenější kategorie (Více než 21 let), která má nižší průměrnou četnost kontroly expozičních parametrů než skupina předcházející. Dle získané specializace byl zaznamenán signifikantní rozdíl ve prospěch RA s atestací.

Posledním zkoumaným parametrem byly znalosti o expozičních parametrech dle daných segmentů. Statisticky významný rozdíl byl stanoven mezi kategoriemi dle délky praxe, kde se vyskytuje rostoucí mezikategoriální trend ve znalostech o expozičních parametrech. To může být dáno délkou praxe, ale i zároveň skutečností, že laboranti s delší praxí na předchozích přístrojích museli při vyšetřeních expoziční parametry zadávat ručně. Další signifikantní rozdíl byl mezi skupinami o dosaženém stupni vzdělání. Zde však mají nejvyšší stupeň průměrného hodnocení respondenti se vzděláním středoškolským, posléze RA s magisterským, vyšším odborným a nakonec bakalářským stupněm vzdělání. Zde se opět ukazuje velký vliv délky praxe na znalostech o expozičních parametrech za předpokladu delší praxe u středoškolsky vzdělaných laborantů. A statisticky významný rozdíl byl také pozorován u personálu



dle získané specializace, kde RA s atestací mají vyšší průměrné hodnocení než bez atestace.

Hlavní limitací výzkumu je samotná anonymita dotazníku, který mohl být vyplněn i lidmi mimo oborového vzdělání a zaměření. Další limitací je počet respondentů, který dosáhl počtu 127. Je tedy zřejmé, že se dotazník nedostal ke každému RA v České republice. Limitem výzkumu by mohl být i fakt nesprávného vyplnění dotazníku, který dotazovaní nemuseli vyplnit pečlivě.

Dle MirDerikvand a jeho studie podobného charakteru byl pozorován signifikantní rozdíl mezi znalostmi o RO a DRÚ dle dosaženého stupně vzdělání a délky praxe u RA pracujících na CT. Další studie Assessment of diagnostic reference levels awareness and knowledge amongst CT radiographers stanovila, že RA s délkou praxe 4-10 let mají větší úroveň znalostí a vědomostí v porovnání s ostatními kategoriemi.

Studie Assessment of diagnostic reference levels awareness and knowledge amongst CT radiographers in Saudi Arabia dále prokázala statisticky významný vztah mezi délkou praxí a znalostmi o RO. U této studie se shodovaly určité otázky z dotazníkového šetření, kdy na otázku „Za definici diagnostických referenčních úrovní (DRÚ) lze považovat“ odpovědělo správně 35 % respondentů. RA v České republice měli úspěšnost u této otázky 59,1 %. Další otázkou podobného znění byla „K principu optimalizace patří:“. Zde správně odpovědělo 39 % dotázaných a v současném výzkumu správnou odpověď zvolilo 71,7 % RA.

Jiný výzkum podobného charakteru nebyl nalezen, který by mohl být porovnán se současným výzkumným šetřením. Dohledané studie mají své limitace a srovnání je tedy orientační.

Z výzkumného šetření je zřejmé, že úroveň znalostí a vědomostí u RA narůstá s délkou praxí, to může být problémem u méně zkušených RA.

Určitým řešením by mohla být rozšířenější teoretická i praktická výuka v oblasti RO na bakalářském studiu radiologické asistence, aby absolventi měli větší úroveň vědomostí při nástupu do pracovního poměru a mohli tak správně vykonávat své povolání v souladu s principy RO.

Dále by na daném pracovišti měli být absolventi s nižší úrovní vědomostí v těsné spolupráci se zkušenějšími kolegy s vyšší úrovní vědomostí, aby zlepšení úrovně vědomostí u RA s kratší praxí bylo co nejefektivnější a překonala se tak pomyslná mezera mezi úrovněmi znalostí.

Každý RA by se měl aktivně profesně rozvíjet, a to buď samostudiem nebo absolvováním vzdělávacích kurzů či přednášek. Profesní rozvoj a vzdělávání by mohlo vést k lepším znalostem a vědomostem v oblasti RO a DRÚ. [39; 40; 41]

## 12 Závěr

Diplomová práce se zabývala znalostmi a vědomostmi RA o aplikaci RO a stanovování DRÚ v rámci radiační ochrany.

Cílem teoretické části bylo shrnutí poznatků o ionizujícím záření, dozimetrii a veličinách, RO, legislativě, managementu dávek a DRÚ.

V praktické části bylo stanoveno vyhodnocení a prezentace výzkumného šetření, kterého se zúčastnilo 127 RA. Vědomostní test byl formou anonymního dotazníku měl celkem 17 uzavřených otázek s celkovou úspěšností 59,2 %, která může být považována za průměrnou úroveň znalostí a vědomostí v oblasti RO a DRÚ.

Podle statistických analýz vyplývá signifikantní rozdíl mezi skupinami s různou délkou praxí, kde rostoucí délka praxe má vliv na zvyšující se úroveň znalostí. Další statisticky významný rozdíl byl zaznamenán mezi skupinami s různým stupněm dosaženého vzdělání, kde dosažené vzdělání má vliv na úroveň znalostí. Statisticky významný vliv na úroveň znalostí má i odborná specializace, kde RA se specializací mají vyšší úroveň znalostí než laboranti bez ní. Na znalosti expozičních parametrů má zásadní vliv délka praxe, dále má význam i dosažené vzdělání a získaná specializace. Četnost kontroly expozičních parametrů je závislá na délce praxe laboranta, a zda má odbornou specializaci. Cíl byl splněn.

RA provádí radiologické zobrazovací a kvantitativní postupy, léčebné aplikace ionizujícího záření a specifické ošetrovatelské péče poskytované v souvislosti s radiologickými výkony, RO a ve spolupráci s lékařem se podílí na diagnostické a léčebné péči.

Je tedy důležité, aby tento zdravotnický personál byl motivován v profesním růstu a aktivně se účastnil vzdělávání vedoucí ke zvýšení úrovně znalostí a vědomostí nejen v RO, ale v celé řadě okruhů, které ve svém povolání vykonává.

## Použité zdroje

- [1] PODZIMEK, František. Radiologická fyzika. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2021. ISBN isbn978-80-01-06900-4.
- [2] DERTINGER, Hermann, Horst JUNG, Hermann DERTINGER a Horst JUNG. Direct and Indirect Action of Radiation. In: Molecular Radiation Biology [online]. New York, NY: Springer US, 1970, s. 70-90 [cit. 2024-04-21]. Heidelberg Science Library. ISBN 978-0-387-90013-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4684-6247-0\_6
- [3] Radiopaedia.org [online]. 1. Radiopaedia.org, 2005 [cit. 2024-04-21].
- [4] SAULI, Fabio. Gaseous Radiation Detectors [online]. 2. Cambridge University Press, 2022 [cit. 2024-04-21]. ISBN 9781009291200. Dostupné z: doi:10.1017/9781009291200
- [5] MAHESH, Mahadevappa. The Essential Physics of Medical Imaging, Third Edition. Medical Physics [online]. 2013, 40(7) [cit. 2024-04-21]. ISSN 0094-2405. Dostupné z: doi:10.1118/1.4811156
- [6] T. EDITORS OF ENCYCLOPAEDIA. Photoelectric effect: physics. In: Encyclopedia Britannica [online]. Britannica. 1998 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/photoelectric-effect>
- [7] PODZIMEK, František. Radiologická fyzika. V Praze: České vysoké učení technické, 2022. ISBN 978-80-01-06971-4.
- [8] PRABHU, Sangeetha, Divya Kumari NAVEEN, Sandhya BANGERA a B SUBRAHMANYA BHAT. Production of X-RAYS using X-RAY Tube. Journal of Physics: Conference Series [online]. 2020, 2020-12-01, 1712(1) [cit. 2024-04-21]. ISSN 1742-6588. Dostupné z: doi:10.1088/1742-6596/1712/1/012036
- [9] BUSHBERG, Jerrold T., Anthony J. SEIBERT, Edwin Marion LEIDHOLDT a John M. BOONE. The Essential Physics of Medical Imaging.: Jerrold T. Bushberg; J. Anthony Seibert; Edwin M. Leidholt Jr; John M. Boone. Fourth Edition. Mexiko: Wolters Kluwer, 2021. ISBN 9781975103224.
- [10] LANCA, Luis a Augusto SILVA. Digital Imaging Systems for Plain Radiography [online]. New York, NY: Springer New York, 2013 [cit. 2024-04-21]. ISBN 978-1-4614-5066-5. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4614-5067-2
- [11] CLARKE, R.H. a J. VALENTIN. The History of ICRP and the Evolution of its Policies. Annals of the ICRP [online]. 2009, 39(1), 75-110 [cit. 2024-04-21]. ISSN 0146-6453. Dostupné z: doi:10.1016/j.icrp.2009.07.009
- [12] Quantities and Units in Radiation Protection. In: STABIN, Michael G., ed. Radiation Protection and Dosimetry [online]. New York, NY: Springer New York, 2003, s. 67-74 [cit. 2024-04-21]. ISBN 978-0-387-49982-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-0-387-49983-3\_5
- [13] IAEA HUMAN HEALTH SERIES. Implementation of the International Code of Practice on Dosimetry in Diagnostic Radiology (TRS 457): Review of Test Results

- [online]. 4. Austria: IAEA, 2011 [cit. 2024-04-22]. ISBN 978-92-0-114010-4. Dostupné z: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1498\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1498_web.pdf)
- [14] DOSIMETRY IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY: AN INTERNATIONAL CODE OF PRACTICE [online]. Austria: IAEA, 2007 [cit. 2024-04-22]. ISBN 92-0-115406-2. Dostupné z: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS457\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS457_web.pdf)
- [15] SÚKUPOVÁ, Lucie. Radiační ochrana při rentgenových výkonech - to nejdůležitější pro praxi. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0709-4.
- [16] SÚKUPOVÁ, Lucie. Radiační ochrana při rentgenových výkonech - to nejdůležitější pro praxi. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0709-4.
- [17] PATIENT DOSIMETRY FOR X RAYS USED IN MEDICAL IMAGING. Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements [online]. 2005, 2005-12-01, 5(2), iv-vi [cit. 2024-04-21]. ISSN 1742-3422. Dostupné z: doi:10.1093/jicru/ndi018
- [18] MEGHZIFENE, Ahmed, David R. DANCE, Donald MCLEAN a Hans-Michael KRAMER. Dosimetry in diagnostic radiology. European Journal of Radiology [online]. 2010, 76(1), 11-14 [cit. 2024-04-21]. ISSN 0720048X. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejrad.2010.06.032
- [19] KLENER, Vladislav. Principy a praxe radiační ochrany. Praha: Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2000. ISBN 80-238-3703-6.
- [20] Radiation Protection In Diagnostic Radiology: Review Article. Journal of Pharmaceutical Negative Results [online]. 2022, 13(8), 1-7 [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: doi:10.47750/pnr.2022.13.S08.22
- [21] IAEA. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation [online]. No. SSG-46. Austria: IAEA, 2018 [cit. 2024-04-22]. ISBN 978-92-0-101717-8. ISSN 1020-525X. Dostupné z: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1775\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1775_web.pdf)
- [22] IAEA. Patient radiation exposure monitoring in medical imaging [online]. 112. Austria: IAEA, 2023 [cit. 2024-04-22]. ISBN 978-92-0-149222-7. Dostupné z: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1976\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1976_web.pdf)
- [23] Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards [online]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2014 [cit. 2024-04-21]. ISBN 9789201353108. Dostupné z: doi:10.61092/iaea.u2pu-60vm
- [24] SUJB. Hodnocení lékařského ozáření [online]. In: . 2021, s. 1-37 [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: [https://sujb.gov.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske\\_ozareni/Bulletinlo2021.pdf](https://sujb.gov.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/Bulletinlo2021.pdf)
- [25] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 422/2016 Sb.: Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: Sbírka zákonů. 2016, <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>.

- [26] MARSH, Rebecca M. a Michael SILOSKY. Patient Shielding in Diagnostic Imaging: Discontinuing a Legacy Practice. *American Journal of Roentgenology* [online]. 2019, 212(4), 755-757 [cit. 2024-04-21]. ISSN 0361-803X. Dostupné z: doi:10.2214/AJR.18.20508
- [27] FREEMAN, A. Paediatric gonad shielding in pelvic radiography: A systematic review and meta-analysis. *Radiography* [online]. 2022, 28(4), 964-972 [cit. 2024-04-21]. ISSN 10788174. Dostupné z: doi:10.1016/j.radi.2022.06.009
- [28] BISHOP, H A, M WEBBER a B J O'LOUGHLIN. Reducing gonad irradiation in pediatric diagnosis [online]. In: . [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13618739/>
- [29] LIAO, Ying-Lan, Nan-Ku LAI, Yeu-Sheng TYAN a Hui-Yu TSAI. Bismuth shield affecting CT image quality and radiation dose in adjacent and distant zones relative to shielding surface: A phantom study. *Biomedical Journal* [online]. 2019, 42(5), 343-351 [cit. 2024-04-21]. ISSN 23194170. Dostupné z: doi:10.1016/j.bj.2019.04.004
- [30] Digital Imaging and Communications in Medicine [online]. 2017 [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: <https://www.dicomstandard.org/>
- [31] MOROTA, Koichi, Takashi MORITAKE, Lue SUN, Takahiro ISHIHARA, Natsuyo KUMA, Satomi MURATA, Takahiro YAMADA a Ryuji OKAZAKI. Collection of DICOM RDSR (Digital Imaging and Communication in Medicine, Radiation Dose Structured Report) Information Aimed at Reducing Patient Exposure Dose. *Journal of UOEH* [online]. 2016, 38(4), 335-343 [cit. 2024-04-21]. ISSN 0387-821X. Dostupné z: doi:10.7888/juoeh.38.335
- [32] VAŇÓ, E., D.L. MILLER, C.J. MARTIN, et al. ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. *Annals of the ICRP* [online]. 2017, 46(1), 1-144 [cit. 2024-04-21]. ISSN 0146-6453. Dostupné z: doi:10.1177/0146645317717209
- [33] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 263/2016 Sb.: Zákon atomový zákon. In: Sbíрка zákonů. 2016, číslo 5.
- [34] IAEA. Radiation protection and safety of radiation sources : international basic safety standards [online]. 3. Austria: IAEA, 2014 [cit. 2024-04-22]. ISBN 978-92-0-135310-8. Dostupné z: doi:doi.org/10.61092/iaea.u2pu-60vm
- [35] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 422/2016 Sb.: Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: Sbíрка zákonů. 2016, číslo 3.
- [36] ČESKÁ REPUBLIKA. Nařízení vlády č. 222/2010 Sb.: Nařízení vlády o katalogu prací ve veřejných službách a správě. In: Sbíрка zákonů. 2010, číslo 7., <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2010-222>.
- [37] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 55/2011 Sb.: Vyhláška o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků. In: Sbíрка zákonů. 2011, číslo 5., <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-55#>.
- [38] SÚKUPOVÁ, Ing. Lucie. Co představuje parametr CTDIVOL uváděný CT skenery a je tento parametr skutečně vhodný pro stanovení dávek pacientům? *Ces Radiol*

- [online]. 2015, 69(3), 194-200 [cit. 2024-04-23]. Dostupné z: [http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad\\_1503\\_194\\_200.pdf](http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1503_194_200.pdf)
- [39] BAWAZEER, Omemh Abdullah. Assessment of diagnostic reference levels awareness and knowledge amongst CT radiographers in Saudi Arabia. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* [online]. 2022, 15(2), 98-105 [cit. 2024-04-23]. ISSN 16878507. Dostupné z: doi:10.1016/j.jrras.2022.05.009
- [40] MIRDERIKVAND, A., S. BAGHERZADEH a A. MOHAMMADSHARIFI. Evaluation of awareness and knowledge of CT technologist regarding diagnostic reference levels in Iran. *Radioprotection* [online]. 2023, 58(4), 299-302 [cit. 2024-04-23]. ISSN 0033-8451. Dostupné z: doi:10.1051/radiopro/2023032
- [41] ABDULKADIR, Muhammad K., Albert D. PIERSSON, Goni M. MUSA, Sadiq A. AUDU, Auwal ABUBAKAR, Basirat MUFTAUDEEN a Josiah E. UMANA. Assessment of diagnostic reference levels awareness and knowledge amongst CT radiographers. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine* [online]. 2021, 52(1) [cit. 2024-04-23]. ISSN 2090-4762. Dostupné z: doi:10.1186/s43055-021-00444-x

## Seznam grafů

Graf 1 - Odpovědi na otázku č.7.....	50
Graf 2 - Odpovědi na otázku č.8.....	51
Graf 3 - Odpovědi na otázku č.9.....	52
Graf 4 - Odpovědi k otázce č.10.....	53
Graf 5 - Odpovědi na otázku č.11.....	54
Graf 6 - Odpovědi na otázku č.12.....	55
Graf 7 - Odpovědi na otázku č.13.....	56
Graf 8 - Odpovědi na otázku č.14.....	57
Graf 9 - Odpovědi na otázku č.15.....	58
Graf 10 - Odpovědi na otázku č.16.....	59
Graf 11 - Odpovědi na otázku č.17.....	60
Graf 12 - Hodnocení úrovně znalostí/vědomostí v RO dle délky praxe .....	62
Graf 13 - Hodnocení úrovně znalostí/vědomostí v RO dle dosaženého vzdělání .....	63
Graf 14 - Hodnocení úrovně znalostí/vědomostí v RO podle získané specializace...	65
Graf 15 - Průměrná četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření podle délky praxe.....	66
Graf 16 - Průměrná četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření podle úrovně dosaženého vzdělání .....	67
Graf 17 - Průměrná četnost kontroly expozičních parametrů u skiagrafických vyšetření podle získané specializace .....	68
Graf 18 - Průměrné hodnocení znalostí o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření podle délky praxe.....	69
Graf 19 - Průměrné hodnocení znalostí o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření podle úrovně dosaženého vzdělání .....	71
Graf 20 - Průměrné hodnocení znalostí o expozičních parametrech standardizovaných skiagrafických vyšetření podle získané specializace .....	72



## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Demografické rozložení výzkumného souboru .....	48
Tabulka 2 - Četnost správných odpovědí v procentech.....	60
Tabulka 3 - Popisná statistika správných odpovědí.....	61
Tabulka 4 - Výsledky testu významnosti diferencí mezi jednotlivými kategoriemi dle délky praxe .....	62
Tabulka 5 - Výsledky testu významnosti diferencí mezi jednotlivými kategoriemi dle dosaženého vzdělání .....	64
Tabulka 6 - Výsledky testu významnosti diferencí mezi jednotlivými kategoriemi .....	66
Tabulka 7 - Výsledky testu významnosti diferencí mezi jednotlivými kategoriemi dle délky praxe .....	70
Tabulka 8 - Výsledky testu významnosti diferencí mezi jednotlivými kategoriemi dle dosaženého vzdělání .....	71

## Seznam pojmů a zkratk

ICRP – International Commission on Radiological Protection

ICRU – International Commission on Radiation Units and Measurements

CT – Výpočetní tomografie

PMMA – Polymethylmethakrylát

MZČR – Ministerstvo zdravotnictví České republiky

ALARA – „As Low As Reasonably Achievable“

DRÚ – Diagnostické referenční úrovně

ZIZ – Zdroj ionizujícího záření

RTG – označení pro rentgenové zařízení/náhrada adjektiva „rentgenový“

DAP – Dose Area Product

KAP – Kerma Area Product

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

ČSKAE – Československá komise pro atomovou energii

SÚRO – Státní ústav radiační ochrany

EU – Evropská Unie

EURATOM – Evropské společenství pro atomovou energii

DICOM – Digital Imaging and Communications in Medicine

RDSR – Radiation Dose Structured Report

MPPS – Modality Performed Procedure Step

PACS – Picture Archiving and Communication System

NDRÚ – Národní diagnostické referenční úrovně

MDRÚ – Místní diagnostické referenční úrovně

ZDS – Zkouška dlouhodobé stability

FSD – Focus to Skin Distance

RA – Radiologický asistent

RO – Radiční ochrana

SRLA – Společnost radiologických asistentů České republiky

LO – Lékařské ozáření

## Příloha 1 – Souhlasné stanovisko Etické komise



Fakulta  
zdravotnických věd

UPOL - 149495/FZV-2023

Vážený pan  
Bc. Michal Brada

2023-05-25

Vyjádření Etické komise FZV UP

Vážený pane bakaláři,

na základě Vaší Žádosti o stanovisko Etické komise FZV UP byla Vaše výzkumná část diplomové práce posouzena a po vyhodnocení všech zaslanych dokumentů Vám sdělujeme, že diplomové práci s názvem „**Diagnosticke referenční úrovně v praxi**“, jehož jste hlavním řešitelem, bylo uděleno

**souhlasné stanovisko Etické komise FZV UP .**

S pozdravem,

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI  
Fakulta zdravotnických věd  
Etická komise  
Hněvotínská 3, 775 15 Olomouc

Mgr. Renáta Váverková  
předsedkyně  
Etické komise FZV UP

## Příloha 2 – Dotazník

### Diplomová práce – Dotazník

1) Vaše pohlaví:

- Muž
- Žena

2) Váš věk:

- 20-30
- 31-40
- 41-50
- 51-60
- 61+

3) Vaše dosažené vzdělání:

- Středoškolské
- Vyšší odborné
- Bakalářské
- Magisterské

4) Vaše délka praxe:

- Méně než 5 let
- 5-10 let
- 11-20 let
- Více než 21 let

5) Máte odbornou atestaci?

- Ano
- Ne

6) Ve které nemocnici pracujete?

- Okresní
- Krajská
- Fakultní
- Vojenská
- Jiné (poliklinika, ...)

7) Za definici diagnostických referenčních úrovní (DRÚ) lze považovat:

- Úrovně pro detekci nestandardních dávek u standardního pacienta
- Úrovně pro detekci nesprávného vyšetření
- Úrovně stanovující limity lékařského ozáření

8) K principu optimalizace patří:

- Lékařské ozáření (LO) podléhající principu ALARA
- LO musí přinést maximální diagnostickou informaci
- LO musí poskytnout dostatečný kontrast pro zobrazení nejmenších detailů
- Všechny odpovědi jsou správné

9) Místní diagnostické úrovně (MDRÚ) se stanovují pro výkony, které jsou:

- již stanoveny národními diagnostickými úrovněmi (NDRÚ)
- reprezentativní z hlediska klinického provozu daného zařízení
- významné z hlediska radiační zátěže
- všechny odpovědi jsou správné

10) Jakou metodou se stanovuje MDRÚ pro daný výkon?

- Jako průměr ze středních hodnot dávkových veličin z různých nemocnic v jednom městě
- Jako průměr ze středních hodnot z různých nemocnic v jednom kraji

- 
- Jako průměr z efektivních dávek ze všech rtg systémů a vyšetřoven v rámci jedné nemocnice
  - Jako průměr ze středních hodnot dávkových veličin ze všech rtg systémů a vyšetřoven v rámci jedné nemocnice
- 11) Pro stanovení MDRÚ jsou využívána záznamová data referenčních pacientů, aby průměrná hmotnost vzorku byla:
- $80 \pm 5$  kg
  - $70 \pm 5$  kg
  - Do 100 kg
- 12) Pro stanovení DRÚ je používají veličiny:
- Vstupní povrchová kerma a plošná kerma
  - Obdržená dávka a ekvivalentní dávka
  - Efektivní dávka a dávkový příkon
- 13) Která veličina vyjadřuje celkové množství záření vyprodukované při CT vyšetření?
- Součin kermy a plochy ( $P_{KA}$ )
  - Volumetrický kermový index výpočetní tomografie ( $CTDI_{VOL}$ )
  - Vážený kermový index výpočetní tomografie ( $CTDI_w$ )
  - Součin kermy a délky ( $P_{KL}$ )
- 14) Jak často kontrolujete expoziční parametry u skiagrafických vyšetření?
- Vždycky
  - Téměř vždycky
  - Často
  - Občas
  - Vůbec

15) Ohodnoťte své znalosti o expozičních parametrech (hodnoty) standardizovaných skiografických vyšetření na škále od 1 do 5:

- 1 – vynikající
- 2 – chvalitebné
- 3 – dobré
- 4 – dostačující
- 5 – nedostačující

16) Víte, jaký je základní postup při stanovování MDRÚ?

- Ano
- Ne

17) Víte, jaký je základní postup, pokud je střední dávka z přístroje významně vyšší než MDRÚ?

- Ano
- Ne