



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Sciences

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Radiační ochrana v pediatrii

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: **OCHRANA OBYVATELSTVA**

Autor: Bc. Alena Válková, DiS.

Vedoucí práce: prof. Dr. rer. nat. Friedo Zölzer

České Budějovice 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem ***Radiační ochrana v pediatrii*** jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 9.8.2018

.....

podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat prof. Dr. rer. nat. Friedovi Zölzerovi, vedoucímu mé diplomové práce, za vedení, trpělivost, připomínky a čas, který mi věnoval. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Kateřině Daníčkové a Ing. Daše Chmelové, radiačním fyzičkám, které mi při zpracování pomáhaly svými připomínkami, radami a náměty. Mé poděkování patří též mé rodině a blízkým přátelům za pomoc a podporu.

Radiační ochrana v pediatrii

Abstrakt

Cílem diplomové práce je posoudit celkovou znalost jak zdravotnických pracovníků, tak rodičů dětských pacientů v oblasti dodržování zásad radiační ochrany.

Teoretická část je věnována ionizujícímu záření – jakým způsobem a kde vzniká, jak interaguje s fotonovým zářením a jak se tvoří rentgenové záření. Dále jsou popisovány jeho biologické účinky a jak se proti nim chránit včetně výkladu o radiační ochraně na obecné rovině, ale též z hlediska zobrazovacích metod v pediatrii a lékařského ozáření.

Druhá výzkumná část popisuje vyhodnocení dvou dotazníkových šetření, a sice „Rodiče dětských pacientů“ a „Odborná veřejnost“. Dotazníky byly zaměřeny na zhodnocení znalosti radiační ochrany jak u laické veřejnosti, tak u odborníků. Následně bylo zjišťováno, zda jsou využívány všechny dostupné metody radiační ochrany u dětských pacientů a zda je laická veřejnost dostatečně informována o radiační ochraně dětí. V dotazníkovém šetření se prokázalo, že odborníci mají dobrou znalost radiační ochrany. U laické veřejnosti jsem zjistila nedostatečné znalosti v této oblasti, a proto je výstupem diplomové práce brožura pro rodiče a doprovod dětských pacientů.

Klíčová slova

Radiační ochrana, pediatrie, ionizující záření, rentgenové záření, principy radiační ochrany, pediatrická radiologie, lékařské ozáření.

Radiation protection in pediatrics

Abstract

The aim of the diploma thesis is to evaluate the overall knowledge of both healthcare workers and parents of pediatric patients, whether the principles of radiation protection are respected and how to remedy these shortcomings.

The theoretical part is devoted to ionizing radiation - there are chapters on how and where it occurs, the interaction of photon radiation and the description of X-rays. Furthermore, its biological effects and how to protect against them. There is also a description of radiation protection in general as well as a chapter on medical exposure and imaging methods in pediatrics.

The second research section describes the evaluation of two questionnaire surveys, namely "Parents of pediatric patients" and the "Professional public". The questionnaires focused on the evaluation of the radiation protection knowledge both for the general public and for the experts. Consequently, whether all available methods of radiation protection are used in pediatric patients. And if the lay public is sufficiently informed about the radiation protection of children. The questionnaire survey showed that experts have a good knowledge of radiation protection. For the general public I have found insufficient knowledge in this area, the lay public has little information and therefore the output of the diploma thesis is a brochure for parents and escorts of pediatric patients.

Key words

Radiation protection; pediatrics; ionizing radiation, X-rays; principles of radiation protection; pediatric radiology; medical radiation

Obsah

Úvod	10
1. Teoretická část	11
1.1 Ionizující záření	11
1.1.1 Charakteristika ionizujícího záření.....	11
1.1.1.1 Záření alfa (α)	11
1.1.1.2 Záření beta (β).....	12
1.1.1.3 Záření gama (γ).....	12
1.1.1.4 Neutronové záření.....	12
1.1.1.5 Rentgenové záření.....	13
1.1.2 Interakce ionizujícího záření s hmotou.....	15
1.1.2.1 Interakce fotonového záření s hmotou.....	15
1.1.3 Zdroje ionizujícího záření.....	17
1.1.3.1 Přírodní zdroje	17
1.1.3.2 Umělé zdroje (vytvořené člověkem).....	18
1.2 Biologické účinky ionizujícího záření	18
1.2.1 Účinky záření na buňku a tkáň	19
1.2.1.1 Stochastické účinky	21
1.2.1.1.1 Genetické poškození	23
1.2.1.2 Deterministické účinky.....	23
1.2.1.2.1 Projevy deterministických účinků.....	24
1.2.2 Účinek záření na vývoj zárodku a plodu	25

1.2.3	Radiobiologie v pediatrii	26
1.3	Radiační ochrana.....	27
1.3.	Principy radiační ochrany	28
1.3.1.1	Princip zdůvodnění	28
1.3.1.2	Princip optimalizace	28
1.3.1.3	Princip limitování	29
1.3.1.4	Princip fyzické bezpečnosti zdrojů	29
1.3.2	Způsoby radiační ochrany	29
1.3.2.1	Ochrana časem.....	29
1.3.2.2	Ochrana vzdáleností.....	30
1.3.2.3	Ochrana stíněním	30
1.4	Lékařské ozáření	30
1.4.1	Dávka v lékařském ozáření	31
1.4.2	Sledování lékařského ozáření.....	31
1.4.3	Radiační ochrana při lékařském ozáření	32
1.5	Rentgenová diagnostika.....	33
1.5.1	Rentgenka.....	33
1.5.2	Skiografie	34
1.5.3	Skiaskopie	35
1.5.4	Počítačová tomografie.....	36
1.6	Zobrazovací metody – pediatrie	38
1.6.1	Nejčastější typy vyšetření v pediatrické radiologii	38
1.6.2	Radiační ochrana v pediatrické radiologii.....	41
1.6.2.1	Princip odůvodnění	41

1.6.2.2	Princip optimalizace	42
1.6.3	Specifika skiagrafického vyšetření v pediatrické radiologii	47
2.	Výzkumná část	50
2.1	Cíl a výzkumné otázky	50
2.2	Hypotéza	50
3.	Metodika výzkumu	51
4.	Výsledky.....	53
4.1	Dotazníkové šetření odborníků	53
4.2	Dotazník pro rodiče	64
4.3	Statistické šetření	78
5.	Diskuze.....	80
5.1	Zvýšení povědomí o radiační ochraně v pediatrii.....	84
6.	Závěr	85
7.	Seznam použitých zdrojů	86
8.	Seznam zkratk	93
9.	Seznam obrázků a tabulek	94
10.	Přílohy.....	96
11.	Brožura „Jdeme na rentgen“	104

Úvod

Vzhledem k zdravotní péči dostupné v České republice a rozvoji moderních zobrazovacích metod roste i počet vyšetření pomocí ionizujícího záření nejen u dospělé populace, ale i u dětí. Dětské pacienti jsou ale vzhledem k biologickým a fyziologickým faktorům na záření mnohem citlivější než dospělý jedinec. Jednoduše proto, že mají před sebou ještě dlouhý život, a tedy i vyšší pravděpodobnost, že se dožijí pozdních účinků ozáření. Dalším faktorem je to, že poškození buněk, k němuž dochází při každém ozáření, se sčítá a zvyšuje tak pravděpodobnost projevu pozdních (stochastických) účinků. Z toho důvodu je velmi důležité zaměřit se na ochranu obyvatel a zvláště pak těch nejmenších tak, aby lékařské ozáření představovalo minimální zdravotní újmu a přineslo maximální přínos pro každého jednotlivce.

Diplomová práce se zabývá právě radiační ochranou v pediatrii. Vzhledem k informacím uvedeným výše je velmi důležité zaměřit se na radiační ochranu těch nejmenších. První část se zabývá teorií ionizujícího záření, biologickými účinky záření, radiační ochranou a také pediatrickou radiologií jak z hlediska základních principů radiační ochrany, tak z hlediska výpočtu dávek pro dětské pacienty.

V druhé části jsou stanoveny cíle diplomové práce a dotazníkové šetření provedené mezi laiky (nejčastěji rodiče malých pacientů) a odborníky v radiologii. Pro přehlednost jsou výsledky dotazníků zpracovány do grafů. Také zde je menší statistické šetření. V diskuzi se zaměříme na porovnání dotazníkového šetření s praxí. Součástí výzkumné části je brožura vypracovaná pro rodiče (doprovod) dětských pacientů na rentgenové vyšetření, která by měla navýšit povědomí o radiační ochraně v pediatrické radiologii.

Hlavním záměrem diplomové práce je zhodnotit úroveň radiační ochrany v pediatrii, především v oblasti dodržování standardů a opatření zamezujících nadměrnému radiačnímu zatížení dětí a rovněž v oblasti informovanosti rodičů (doprovázejících osob) o průběhu vyšetření a přiměřené radiační ochraně.

1. Teoretická část

V této části se budu věnovat charakteristice ionizujícího záření, druhům ionizujícího záření a jejich vlastnostem, zdrojům ionizujícího záření a zobrazovacím metodám v radiodiagnostice – skiografii, skiaskopii a počítačové tomografii.

1.1 Ionizující záření

1.1.1 Charakteristika ionizujícího záření

Ionizující záření jsou procesy, při kterých dochází k přenosu energie prostorem na dálku prostřednictvím elektromagnetických polí nebo mikročástic. (1) Podle typu interakce záření s hmotou ho můžeme rozdělit na přímo ionizující a nepřímo ionizující. Přímou ionizující záření je tvořeno nabitými částicemi, které mají tolik kinetické energie, že dokážou vyvolat přímou ionizaci. K těmto částicím patří – elektrony, pozitrony, protony a částice α , β . (9)

Nepřímo ionizující záření zahrnuje nenabitě částice. Ty, protože nemají elektrický náboj, a samotné ionizaci nezpůsobí, ale při interakci s prostředím uvolňují sekundární částice, které následně způsobují ionizaci prostředí. Mezi nepřímo ionizující záření patří neutronové záření a dále některé složky elektromagnetického záření např. záření gama a rentgenové záření. (15)

Mezi nejčastější druhy ionizujícího záření patří záření α , β , γ a neutronové záření, které se ale v radiodiagnostice nevyužívá. Uvádím je zde pro všeobecný přehled. Zvláštní podkapitola je věnována rentgenovému záření používanému v radiodiagnostice.

1.1.1.1 Záření alfa (α)

Je tvořeno proudem rychle letících ${}^4_2\text{He}$ (obsahuje dva protony a dva neutrony). Zdrojem záření alfa jsou těžké radionuklidy např. izotopy polonia, uranu, transuranových prvků. Částice alfa mají největší hmotnost a největší elektrický náboj, protože částice alfa nese

dva elektrické náboje, je při průchodu prostředím velmi silně ionizována a rychle ztrácí svoji energii. Dosah záření alfa je tedy velmi krátký, ve vzduchu je to několik centimetrů, ve vodě a tkáni jenom desetiny milimetru (při dopadu na kůži se absorbuje v epidermis). Mezi tyto zářiče patří např. ^{226}Ra . (7) Toto záření je tvořeno jadernými reakcemi a v radiodiagnostice jej nevyužíváme.

1.1.1.2 Záření beta (β)

Záření beta tvoří elektrony nebo pozitrony. Vzniká při radioaktivní přeměně přirozených i uměle připravených radionuklidů. Jelikož při průchodu prostředím se částice beta pohybují mnohem rychleji a méně ionizují, mají delší dosah než záření alfa. Jejich dosah závisí na energii, záření beta s max. energií 2 MeV má dolet ve vzduchu přibližně 8 m, ve vodě 1 cm a v hliníku 4 mm. (7) Toto záření vzniká při jaderných reakcích a v radiodiagnostice jej nevyužíváme.

1.1.1.3 Záření gama (γ)

Záření gama je tvořeno fotony. Vzniká při jaderných reakcích, kdy dochází k přechodu jádra z vyššího energetického stavu do nižšího energetického stavu, kdy při této reakci se jádro zbavuje své excitační energie, která zůstává po alfa nebo beta rozpadu. Proto záření gama doplňuje velmi často alfa nebo beta záření. (9) Na rozdíl od dvou výše uvedených druhů záření (alfa, beta) záření gama není přímo ionizující a má nekonečný dosah. Vyznačuje se velmi krátkou vlnovou délkou 10^{-11} až 10^{-13} m.

1.1.1.4 Neutronové záření

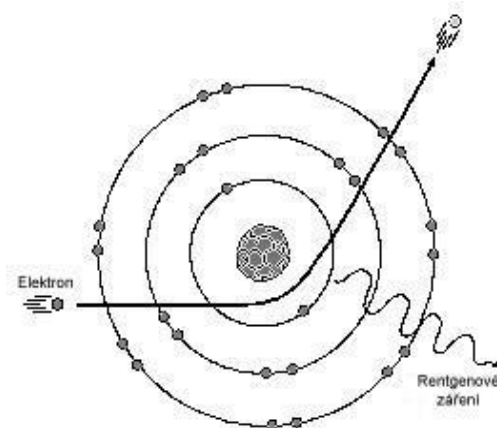
Neutronové záření je proudem letících neutronů. Lze je vyvolat uměle, a to v jaderných reaktorech nebo při jaderné explozi. Neutronové záření má, v závislosti na energii, vysokou pronikavost, protože nenes elektrický náboj a neztrácí tedy energii přímou ionizací atomů. Ionizaci způsobují až sekundární částice, které vznikly při interakci s atomovými jádry. Při střetu s jádrem reagují čtyřmi způsoby: pružným rozptylem, nepružným rozptylem, radiačním záchytem anebo jadernou reakcí. K ochraně před tímto

záření se využívají materiály obsahující vodík a jádra lehkých prvků, které dobře toto záření pohlcují. (11)

1.1.1.5 Rentgenové záření

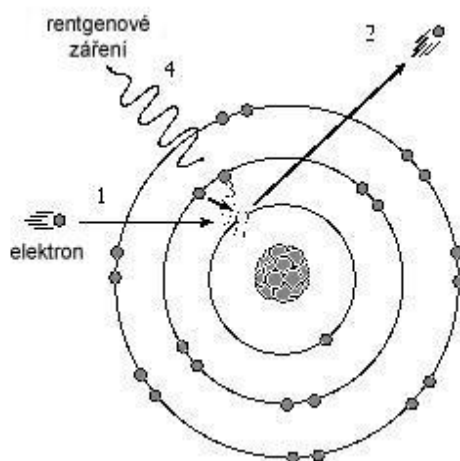
Rentgenové záření je elektromagnetické vlnění o velmi krátké vlnové délce v rozmezí 10^{-9} až 10^{-13} m, které vzniká v rentgence, kdy rychle letící elektrony jsou prudce zabrzděny v těžkých kovech a tím dojde ke vzniku 2 druhů záření, a to k brzdnému záření a charakteristickému záření. (1)

Brzdné záření – je způsobeno zpomalením rychle letících elektronů v blízkosti jádra atomu. Jádro atomu je kladně nabitě a přitáhne letící elektron, který změni směr letu a zpomalí. Rozdíl v energiích se vyzáří v různých energiích. Získané spektrum energie je spojité. Princip vzniku brzdného záření je znázorněný na obr. č. 1.



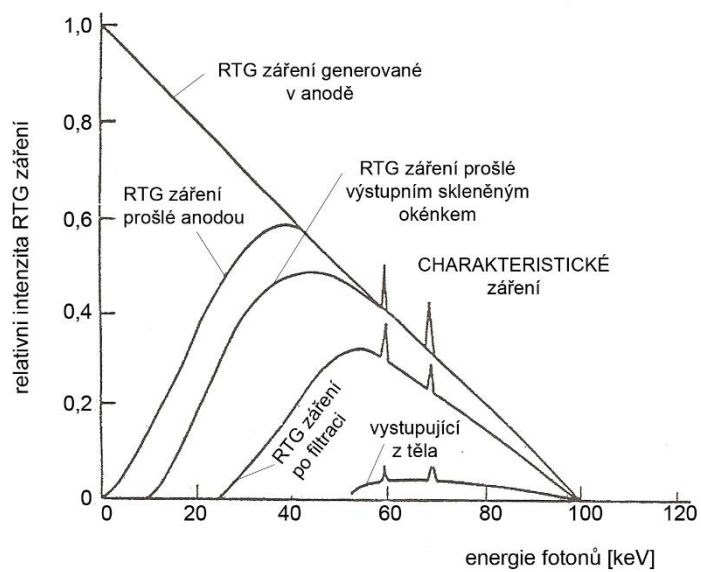
Obr. č. 1 Brzdné záření (zdroj: 41)

Charakteristické záření – je dáno materiálem anody. Vzniká při srážce letícího elektronu a elektronu, který je vázaný v atomovém obalu. Vázaný elektron je vyražen ven z atomu, kde pokračuje v letu nižší rychlostí. Vzniklé místo zaplní elektron z vrstvy vzdálenější od jádra atomu, při tomto se uvolní značné množství energie ve formě fotonu rentgenového záření. (1). Princip vzniku charakteristického záření je znázorněný na obr. č. 2.



Obr. č. 2 Charakteristické záření (zdroj: 41)

Charakteristické záření má čárové spektrum a jeho energie je závislá od materiálu anody. Obr. č. 3 zobrazuje spektrum rentgenového záření wolframové rentgenky.



Obr. č. 3 Spektrum rentgenového záření (zdroj:41)

Rentgenové záření se šíří přímočaře (neohýbá se). Stejně jako gama záření má nekonečný dosah a jeho intenzita záření klesá se čtvercem vzdálenosti od zdroje záření.

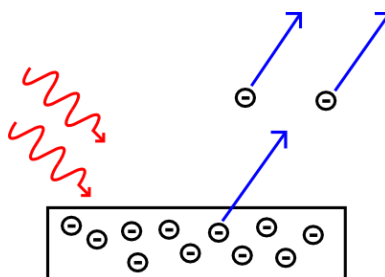
1.1.2 Interakce ionizujícího záření s hmotou

Ionizující záření ztrácí při průchodu hmotou (látkou) svoji energii, záleží přitom o jaký druh ionizujícího záření se jedná a dále na fyzikálních vlastnostech látky, kterou ionizující záření proniká. V radiodiagnostice se jedná o fotonové záření, jehož způsoby interakce s hmotou jsou popsány níže.

1.1.2.1 Interakce fotonového záření s hmotou

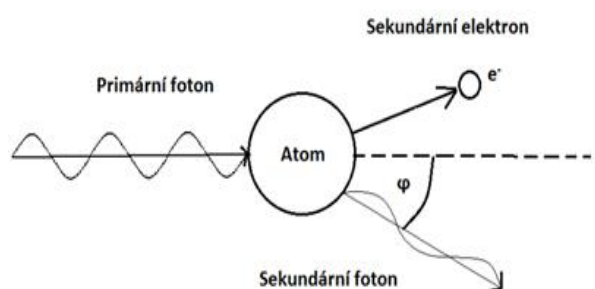
Záření gama a rentgenové záření vyvolává tři základní typy interakce – fotoefekt, Comptonův jev a tvorbu elektron-pozitronových párů.

K fotoefektu dochází především u záření s nižšími energiemi a v látkách, kde je vyšší protonové číslo Z . Foton předá veškerou svoji energii elektronu na jedné z vnitřních slupek elektronového obalu, elektron (fotoelektron) je z obalu uvolněn a prázdné místo obsadí elektron z vyšší slupky, přebytečná energie z toho elektronu se nejčastěji uvolní ve formě charakteristického rentgenového záření. (4) K fotoefektu dochází pouze v případě, když je energie dopadajícího fotonu vyšší než vazbová energie elektronu na příslušné slupce atomu. (1) Fotoefekt je znázorněný na obr. č.4.



Obr. č. 4 Fotoefekt (zdroj:42)

Comptonův jev nejčastěji nastává u záření středních a vyšších energií a v látkách s nízkým protonovým číslem Z . (4) Tento jev probíhá na volně vázaných či slabě vázaných elektronech (vnější orbity). Když letící foton interaguje se slabě vázaným elektronem na vnější slupce elektronového obalu, předá mu pouze část své energie. Z valenční vrstvy se poté uvolní elektron, který získá část energie primárního fotonu ve formě kinetické energie. Foton poté pokračuje v letu, ale jiným směrem než primární foton a s nižší energií. (15) Princip Comptonova rozptylu je zobrazený na obr. č. 5.



Obr. č. 5 Comptonův rozptyl (zdroj:43)

Fotoefekt a Comptonův jev se při interakci fotonového záření často prolínají. Ve většině případů dochází nejprve k Comptonovu jevu (může být několikanásobný) a poté rozptýlené fotony s nižší energií reagují fotoefektem.

Tvorba elektron-pozitronových párů se odehrává u velmi vysokých energií (nad 1,022 MeV), kdy foton letí blízko jádra a může se přeměnit na elektron – pozitronový pár. Po ionizačním zbrzdění poté zůstává jako trvalá částice jen elektron. Při energiích fotonů používaných v radiodiagnostice k této interakci nedochází.

U všech tří případů uvolněný elektron dále reaguje s prostředím, způsobuje ionizaci a excitaci.

1.1.3 Zdroje ionizujícího záření

Zdroje ionizujícího záření mohou být radionuklidy (přírodní, umělé) nebo generátory (rentgenka, urychlovače záření atd.). Zdroje ionizujícího záření lze také rozdělit dle původu na přírodní a umělé.

1.1.3.1 Přírodní zdroje

Na ozáření z přírodního pozadí se podílí dva druhy záření, a to kosmické záření a přírodní radionuklidy (mají pozemský původ). (15) Kosmické záření dopadá na Zemi z vesmíru, způsobuje externí ozáření osob. Závisí také na nadmořské výšce a poloze na Zemi. V ČR je hodnota přírodního ozáření přibližně 1.4 mSv/rok. Toto záření je tvořeno z cca 86 % protony, dále částicemi α 11 %, elektrony (cca 2 %) a zbytek tvoří těžká jádra (1 %). (15) Přírodní radionuklidy lze zařadit do tří skupin. Kosmogenní radionuklidy vznikají průběžně během jaderných reakcí při interakci kosmického záření ve vnějším atmosférickém obalu Země (např. ^{14}C). Původní primordiální radionuklidy (původní, fosilní) pocházejí z raných stadií vesmíru a z důvodů jejich dlouhého poločasu přeměny se vyskytují na Zemi ve významných množstvích (např. ^{238}U , který má poločas rozpadu 4,5 miliard let). Sekundární radionuklidy jsou druhotně vzniklé z původních radionuklidů tvořících přeměnové řady (např. u uran-radiové řady začínající ^{238}U je nejvýznamnější ^{226}Ra).

Zevní ozáření člověka z přírodních radionuklidů je nejčastěji způsobeno primordiálními radionuklidy obsažených v horninách, v půdách. Na území České republiky je přibližně v jednom kg zeminy obsaženo v průměru 600 Bq ^{40}K , 40 Bq ^{226}Ra a 40 Bq ^{232}Th .

Vnitřní ozáření je způsobeno radionuklidy, které se do lidského těla dostávají, buďto inhalací (vdechováním), nejčastěji radonu a jeho dceřiných produktů, dále ingestí

(potravinou) radonu a jeho dceřiných produktů v potravinách a v pitné vodě. Zdrojem radonu je voda, stavební materiál a zemní vzduch v podloží objektu. (15)

Průměrná roční efektivní dávka ze všech přírodních zdrojů je u každého obyvatele České republiky přibližně 2,4 mSv.

1.1.3.2 Umělé zdroje (vytvořené člověkem)

Umělé zdroje můžeme rozdělit na radionuklidové a na generátory. Mezi nejčastější umělé zdroje ionizujícího záření, s nimiž se setkáváme, jsou právě generátory ionizujícího záření používané při lékařském ozáření – rentgeny v rentgenové diagnostice (podrobněji v kapitole 5) nebo lineární urychlovače v radioterapii. Spadají sem i umělé radionuklidy používané v nukleární medicíně (^{99m}Tc) či při brachyterapii (^{192}Ir) nebo paliativní radioterapii (^{60}Co , ^{137}Cs). Toto ozáření představuje zhruba 93 % celkové efektivní dávky u člověka z umělých zdrojů.

Nejmohutnějším zdrojem ionizujícího záření je jaderný reaktor, avšak celkově jaderné elektrárny způsobují jen velmi malé ozáření obyvatelstva (méně než 1 % celkové dávky z umělých zdrojů) prostřednictvím úniku radioaktivních látek do životního prostředí. Při havárii jaderné elektrárny může být radiační zátěž obyvatelstva několikanásobně vyšší (15).

1.2 Biologické účinky ionizujícího záření

Biologickými účinky ionizujícího záření se zabývá obor radiobiologie. Znalost těchto účinků je významné pro radiační ochranu, je to zásadní mezník pro odvození koncepce radiační ochrany. (10) Poznatky se dělí podle toho, do jaké úrovně spadají, buď do úrovně molekulární, buněčné, tkáňové nebo úrovně celého organismu. (4)

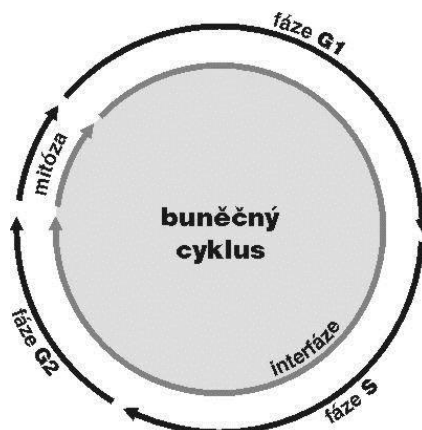
Biologické účinky ionizujícího záření závisí na druhu a energii záření, dávce, dávkovém příkonu a vlastnostech ozářené tkáně nebo orgánů. (9)

1.2.1 Účinky záření na buňku a tkáň

Nejdůležitější molekulou v buňce je DNA, v které je obsažena základní informace o buňce a její struktuře, funkci organismu. Při ozáření buňky dochází k poškození nejen DNA, ale i dalších molekul např. proteinů, lipidů apod. Jelikož tyto molekuly nejsou obsaženy v buňce jen jednou, ale vícekrát, tak můžeme pozorovat změny až po ozáření většího počtu z nich. (17)

Ionizující částice mohou způsobit poškození cílových molekul ionizací a excitací, což je nazýváno jako přímý účinek ionizujícího záření a uplatňuje se velmi málo asi ve 30 %. V cca 70 % dochází k nepřímému účinku ionizujícího záření vlivem vysoce reaktivních radikálů, které poškozují biomolekuly. Tyto radikály vznikají radiolýzou vody (tvoří velmi podstatnou část buňky). Radikály reagují a poškozují obsah buňky (nukleové kyseliny, sacharidy, aminokyseliny). Při poškození DNA můžeme sledovat narušení bází, cukrů, fosfátů, ale i vazeb, zlomení jednoho či dvou vláken DNA. Jednoduché zlomy DNA (single – strand breaks, SSB) vznikají častěji, jsou lépe opravitelné, protože pro opravu je přítomna druhá nepoškozená spirála DNA. Dvojitě zlomy (double – strand break, DSB) jsou charakteristické poškozením obou vláken najednou či jako kombinace jednoduchých zlomů v jednom místě DNA. Dvojitě zlomy DNA se zvyšují s rostoucí lineární energií záření. U savčích buněk dochází při dávce cca 1 Gy okolo 1000 jednoduchých a cca 50 až 100 dvojitých zlomů. (15)

Působením ionizujícího záření dochází k biologickým změnám, pro vliv ionizujícího záření na buňku je vhodné si nejdříve vysvětlit, jak funguje buněčný cyklus, který má čtyři fáze. Fáze G₁ – začátek buněčného cyklu, růst buňky, probíhá syntéza proteinů. Fáze S – replikace dna. Fáze G₂ – příprava buňky k dělení. Fáze M – dělení buňky, mitóza. Buňky jsou v jednotlivých fázích různě citlivé na záření. Nejcitlivější jsou na konci G₁ fáze a při přechodu z fáze G₂ do fáze M. Nejnižší citlivost je na začátku fáze G₁ a ve fázi S. (15)



Obr. č. 6 Buněčný cyklus (zdroj:44)

Buňka je mezi jednotlivými fázemi buněčného cyklu kontrolována tzv. check pointy. V každé fázi cyklu se nachází kontrolní bod, kde zpětně probíhá kontrola proběhlého procesu v dané fázi a buňka po kontrole může postoupit do dalšího cyklu. Pokud jsou zde zjištěna poškození, buněčný cyklus se zastaví a spustí se opravy. Při neopravitelném poškození DNA je signálem aktivována programová smrt buňky neboli apoptóza (závisí však na druhu buňky).

Záření na buňky způsobí tedy její zánik nebo změnu cytogenetické informace (mutaci), při současném zachování schopnosti dalšího buněčného dělení. Tyto procesy mohou probíhat souběžně, to znamená, že část buněk zanikne a další část podléhá mutaci nebo maligní transformaci. Změny cytogenetických informací probíhají i bez vlivu ionizujícího záření, ale počet se může působením ionizujícího záření zvýšit. (19)

Radiobiologické účinky záření se studují při ozařování tkáňových kultur. Tkáňové kultury se ozáří různými dávkami a poté se hodnotí počet buněk, které přežívají. Hodnocení je závislé na druhu ozářené tkáně a dávce aplikovaného záření. Radiosenzitivní tkáně jsou tkáně s rychle se dělícími buňkami, které jsou málo diferencované (vysoce citlivé jsou tkáně během ontogeneze a postnatálního růstu).

Radiorezistentní jsou málo či pomalu dělící se diferencovanými buňkami. Stupeň poškození je ovlivněn proliferační aktivitou dané tkáně. U aktivně prolifерujících typů tkání, např. sliznice, kostní dřeň, epitel kůže, se poškození projevuje velmi rychle, jsou to tzv. časně reagující tkáně (H-tkáně). U pomalu prolifерujících tkání, jako je mozek, mícha, nervy, chrupavka, kost, dochází po ozáření k pozdním změnám, tzv. pozdně reagující tkáně (F – typ tkáně). (15)

Radiační ochranu je možné z pohledu účinků ionizujícího záření rozdělit na dvě skupiny dle vztahu dávky a účinku. První jsou stochastické (pravděpodobnostní) a druhé deterministické (prahové).

Tab. 1 Stručný přehled biologických účinků záření (*zdroj: 3*)

Časné	Pozdní		
Somatické			Genetické
<ul style="list-style-type: none"> • akutní nemoc z ozáření • akutní lokální změny • akutní radiodermatitis • poškození fertility 	<ul style="list-style-type: none"> • nenádorová pozdní poškození • chronická radiodermatitis • zákal oční čočky 	<ul style="list-style-type: none"> • zhoubné nádory 	<ul style="list-style-type: none"> • genetické účinky u potomstva
poškození vývoje plodu			
nestochastické		stochastické	

1.2.1.1 Stochastické účinky

Stochastické účinky (neboli pravděpodobnostní) mohou už po jediné ionizaci způsobit poškození DNA v buněčném jádru. Existuje předpoklad, že pro stochastické účinky neexistuje dávkový práh. Ke stochastickým účinkům patří vznik genetických poškození a nádorová onemocnění. (19)

K základní charakteristice stochastických účinků patří:

- jsou bezprahové
- lineární vztah mezi dávkou a účinkem
- účinky jednotlivých ozáření se během času sčítají (např. rok)
- klinicky nerozlišitelné od spontánně vzniklých případů
- způsobují zhoubné nádory a genetická poškození
- pravděpodobnost vzniku s každou dávkou.

Pro stochastické účinky platí, že i v neozářené populaci se nádory a dědičné nepříznivé projevy běžně projevují, avšak existuje dostatek důkazů o tom, že působením ionizujícího záření se zvyšuje pravděpodobnost výskytu těchto projevů. Přitom klinický obraz a další charakteristiky nedovolují rozlišit, zda se jedná o poruchu v rámci spontánního výskytu nebo o následek ozáření. Riziko projevu stochastických účinků je stanoveno na $5,5$ (resp. $4,1$) $\cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$. (17)

Pro zhodnocení rozvoje nádorů po ozáření je významný časový faktor. Nazývá se tzv. dobou latence – což je doba mezi ozářením a manifestací nádoru, která se velmi dobře určuje po jednorázovém ozáření. Pro leukémie byl stanoven medián latence 8 let (nejkratší latence byla po dvou letech). Pro solidní nádory činí medián latence dobu okolo 15 až 25 let. Ve studiích o následcích jaderných útoků na japonská města Hirošimu a Nagasaki byl zjišťován zvýšený výskyt solidních nádorů i po 45 letech. (17)

Leukémie se projevila u přeživších po atomových útocích na Hirošimu a Nagasaki. Dále se projevila u pacientů, kteří se radioterapeuticky léčili na ankylozující spondylitidu. Nádory štítné žlázy se projevily u dětí po Černobylské havárii, také se vyskytla u přeživších po útocích v Hirošimě a Nagasaki. Nádory prsu opět se projevily u žen, které přežily atomové útoky v Japonsku, pozdní následky měly rovněž ženy, jež byly opakovaně vyšetřovány ve studii při nové léčbě tuberkulózy (Nové Skotsko). Nádory

kostí se projevily u dětí, které podstoupily radioterapii při léčbě nemoci tinea capitis. Taktéž se u nich objevila rakovina kůže.

1.2.1.1.1 Genetické poškození

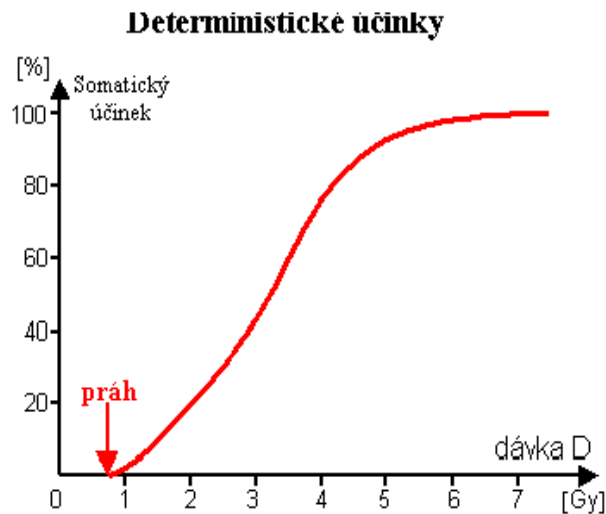
Na základě genetického poškození můžeme pouze odhadovat vliv ozáření rodičovské generace na potomky, dle studií se důsledky manifestují různorodým způsobem. K riziku vzniku genetického poškození se nejčastěji postupuje nepřímou metodou – a tou je dávka zdvojující frekvenci spontánních mutací (dávka potřebná pro indukci stejného množství mutací jako mutací spontánně se vyskytujících). Mutovaný gen se může objevovat až po dobu 40 generací. Rizika případných genetických následků po ozáření jsou stanovena pro radiačního pracovníka $0,8 \cdot 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ a pro průměrného obyvatele $1,33 \cdot 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$. (17) Pro kojence a děti, u nichž očekáváme plné reprodukční schopnosti, je riziko několikrát vyšší než výše uvedená hodnota. (5)

1.2.1.2 Deterministické účinky

Deterministické účinky (prahové) nastávají v důsledku buněčné smrti po ozáření, kdy závažnost stoupá po překročení tzv. dávkového prahu. Pokud dávkový práh není překročen, tyto účinky se neprojeví, viz obr. č. 7 níže.

Charakteristika deterministických účinků:

- vznikají po překročení určitého prahu, který se liší podle druhu tkáně
- závažnost těchto účinků se zvyšuje společně s dávkou záření
- účinky nastávají v krátkém čase po ozáření a přetrvávají dny, týdny
- mají charakteristický klinický obraz
- existují reparativní procesy poškození
- reakce tkáně na ozáření.



Obr. č. 7 Závažnost poškození deterministickými účinky (zdroj:33)

1.2.1.2.1 Projevy deterministických účinků

1, Akutní nemoc z ozáření (ANO) – nastává po jednorázovém celotělovém ozáření dávkou vyšší než 0,7 Gy. Klinický obraz této nemoci je různý dle celkové obdržené celotělové dávky. Nejdříve se projeví příznaky poruchy krvetvorných orgánů, při vyšších dávkách dochází k poškození trávicí soustavy a v krajních případech dochází k poruchám centrálního nervového systému. (17)

2, Akutní lokální změny

Poškození kůže – je nejčastější lokalizovaný projev po ozáření, protože kůže je při každém ozáření vstupním polem pro svazek záření. Stupně poškození kůže jsou závislé na dávce záření, druhu záření, vzdálenosti od zdroje záření, velikosti pole. Nejlehčí projev je zarudnutí (erytém) a nejtěžší vytvoření nekrotické tkáně a vředů. Tyto projevy se objeví v rozmezí 1 až 3 týdnů po ozáření. Práh poškození se udává od 3 Gy.

Postižení fertility – dochází k němu při ozáření pohlavních žláz (gonád). Muži jsou citlivější na záření, přechodné snížení počtu spermií u nich nastává po dávce 0,25 Gy, při ozáření dávkou 3 až 8 Gy dochází ke sterilitě trvalé, výjimečně se může plodnost obnovit. U žen je trvalá sterilita způsobena dávkou 3 Gy, avšak záleží na věku ženy. Rozdílnost je

dána tím, že mužům se spermie tvoří po celý život, ale žena má určitý počet vajíček, které se po každém cyklu sníží.

Dalšími akutními změnami po ozáření můžou být radiační zánět plic (pneumotitis) nebo radiační zánět nosohltanu po jednorázovém ozáření hlavy či hrudníku dávkou okolo 5 Gy. (19)

3. Pozdní projevy poškození

Chronická radiační dermatitida může vzniknout po dlouhodobých expozicích rukou ionizujícímu záření. Vzniká po prahové dávce 30 až 50 Gy. Projevuje se tenkou, křehkou a suchou kůží se sklony k praskání, nehty jsou rýhované. V některých případech může vzniknout z tohoto poškození spinocelulární karcinom. (4)

Katarakta neboli zákal oční čočky se projevuje po jednorázovém ozáření dávkou vyšší 1,5 až 2 Gy nebo po dlouhodobé expozici s prahem 2-4 Gy. Projevy jsou patrné nejdříve po 2 letech po expozici. (4)

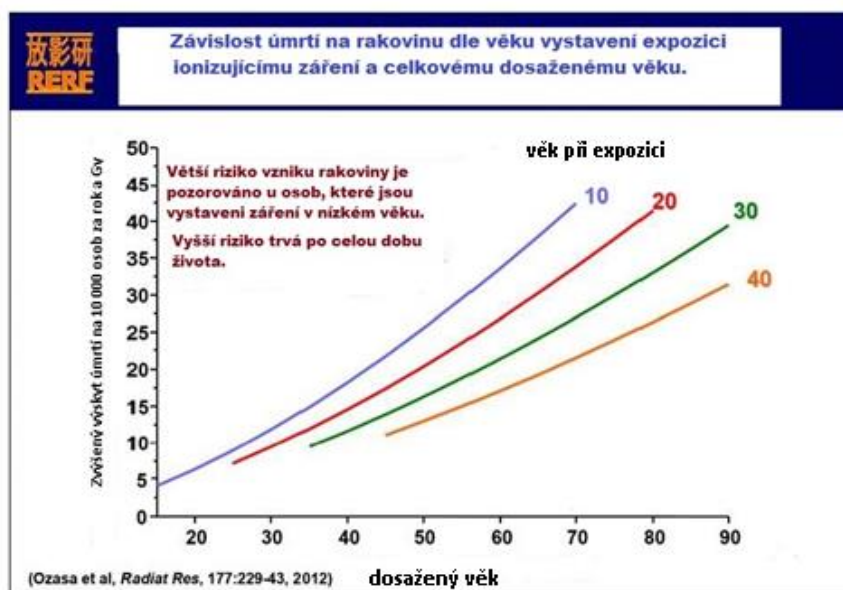
1.2.2 Účinek záření na vývoj zárodku a plodu

Pro vliv ionizujícího záření na zárodek či plod je určující, v jakém období bylo tomuto záření vystaveno. V počátečních stádiích (cca do 3 týdnů od početí) se projeví poškození těchto buněk nejčastěji zánikem oplozeného vajíčka. Nejvíce je plod radiosenzitivní mezi 3. až 8. týdnem od početí, kdy je vzhledem k probíhající embryogenezi velmi vysoké riziko vzniku malformací plodu. Práh vzniku odhadovaného poškození je 0,1 Gy. Mezi 8. a 25. týdnem je plod citlivý na vznik mentální retardace, prahem jsou hodnoty od 0,2 Gy. Od 4. týdne po početí může být plod citlivý na vyvolání zhoubných nádorů vzniklých ozářením v prenatálním období, tyto nádory se mohou vyskytnout v dětském věku či v dospělosti. Je důležité vědět, že riziko vzniku nádorových onemocnění je dvakrát až třikrát větší než u dospělých. (5)

1.2.3 Radiobiologie v pediatrii

Děti patří mezi skupinu, která je nejvíce citlivá vůči ionizujícímu záření. Dle dat zveřejněných Mezinárodní atomovou agenturou ve Vídni (IAEA) jsou děti až 10krát citlivější na ionizující záření než dospělí (viz obr. č. 8). Vyšší citlivost na ionizující záření je dána tím, že děti mají vyšší aktivitu proliferačních buněk a jejich tkáně jsou nezralé. Je také dokázáno, že ti, kteří jsou v dětství vystaveni ionizujícímu záření, mají výrazně vyšší riziko leukémie, rakoviny štítné žlázy a nemelanomového karcinomu kůže než pacienti vystavení v pozdějším věku.

Celoživotní riziko výskytu fatálního nádoru v populaci je vypočteno z efektivní dávky 1 Sv $5 \cdot 10^{-2}$, přičemž u dětí ve věku do 15 let je toto riziko dvakrát až třikrát vyšší než uvedená hodnota. Celoživotní riziko stochastických účinků expozice ionizujícímu záření v prvních deseti letech života je třikrát až čtyřikrát větší než při expozici ve věku mezi třiceti až čtyřiceti lety.



Obr. č. 8 Vyznačení nárůstu počtu úmrtí v závislosti na věku, v kterém byl vystaven ionizujícímu záření (*zdroj: 45*)

Při nadměrném ozáření je u dětí nejčastěji sledován karcinom štítné žlázy. Ženy mladší 15 let jsou při velmi častém ozařování v oblasti hrudníku náchylnější k výskytu rakoviny prsu. Nicméně v dlouhodobých studiích, které sledovaly vývoj po atomových útocích, bylo zjištěno, že riziko vzniku rakoviny je 10 %/1 Sv. IRCP snižuje riziko vzniku rakoviny na 5 % na Sv pro nižší dávky anebo nižší dávkové příkony.

Vzhledem k vyššímu růstu vyšetření na počítačové tomografii (CT) v pediatrii byla v roce 2011 vytvořena Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny (IARC) ve spolupráci s Evropskou komisí – Epidemiologická studie kvantifikace rizik pro pediatrickou počítačovou tomografii a optimalizaci dávek (EPI-CT). Tato studie je mezinárodní, jejím cílem bylo posoudit riziko dlouhodobých účinků u dětí a dospívajících vystavených ionizujícímu záření při vyšetření počítačovou tomografií. (24) Šetření byla provedena v devíti evropských zemích v rozmezí let 2008–2010 a byla do nich zapojena populace ve věku od 0 do 21 let. Dle několika studií v minulosti byla nalezena souvislost mezi dávkami záření a zvýšeným rizikem vzniku leukemií či nádorů na mozku. Šetření mělo díky svému rozsahu potvrdit či vyvrátit, popř. ustanovit parametry počítačové tomografie pro pediatrické pacienty. Studie se zabývala třemi oblastmi ozáření – hlavou, břichem a hrudníkem. (31) Byly v ní použity též fantomy pro měření dávek in vitro pacientů. Fantomy byly vytvořeny od novorozenců až po muže a ženu ve věku 15 let. Vzhledem k době latence kolem 8 let (viz nahoře) budou výsledky studie publikovány až v budoucnu. Předběžné analýzy částečných dat potvrzují, že rizikové faktory odpovídají očekáváním. (35)

1.3 Radiační ochrana

Koncepce radiační ochrany vychází z doporučení Mezinárodní komise radiologické ochrany (ICRP). Standardy jsou doporučovány Mezinárodní atomovou agenturou (IAEA) v Basic Safety Standards a v souladu s legislativou Evropské unie (direktivy

EUROATOMU). V České republice jsou normy harmonizovány s normami Evropské unie. (10) Radiační ochrana má za cíl zabezpečit dostatečnou úroveň ochrany zdraví, a přitom neomezovat přínos pro jednotlivce nebo společnost.

1.3. Principy radiační ochrany

Principy radiační ochrany jsou: princip zdůvodnění, princip optimalizace, princip limitování a princip fyzické bezpečnosti zdrojů.

1.3.1.1 Princip zdůvodnění

Každý, kdo vykonává činnost se zdrojem ionizujícího záření (omezení ozáření v důsledku radiační nehody, činnost vedoucí k ozáření nebo vzniku ozáření) musí dbát nato, aby přínos z této činnosti převyšoval rizika, která touto činností vznikají nebo mohou vzniknout. (3)

1.3.1.2 Princip optimalizace

Každý, kdo vykonává činnost vedoucí k ozáření, je povinen dodržovat takou úroveň radiační ochrany, aby případné riziko ohrožení života, zdraví osob a životního prostředí bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout s ohlednutím na hospodářské a společenské hledisko. (3)

Cíl principu optimalizace je ALARA – „As Low As Reasonably Achievable“ – tak nízké, jak je možné. To znamená, že chceme získat diagnostickou informaci za co nejnižší dávky s přihlednutím k současným odborným znalostem, hospodářským a společenským faktorům.

1.3.1.3 Princip limitování

Každý, kdo vykonává činnost, která vede k ozáření, je povinen postupovat tak, aby celkové ozáření osob nepřesáhlo dané limity ozáření. Toto neplatí pro lékařské ozáření. (3).

1.3.1.4 Princip fyzické bezpečnosti zdrojů

Tento princip stanovuje, aby všechny zdroje ionizujícího záření byly pravidelně kontrolovány. Tento princip také stanoví opatření proti odcizení a zneužití těchto zdrojů nepovolanými osobami. Po instalaci nového zdroje ionizujícího záření je provedena přijímací zkouška přístroje. Následně jsou pravidelně prováděny zkoušky dlouhodobé stability a zkoušky provozní stálosti. Rozsah, četnost a kdo provádí tyto zkoušky jsou stanoveny ve vyhlášce Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.

1.3.2 Způsoby radiační ochrany

Cílem radiační ochrany je snížení absorbované dávky na co nejnižší možnou míru a tím omezit riziko vzniku nežádoucích účinků ionizujícího záření (stochastických a deterministických). Velikost obdržené dávky nám určují tyto vlastnosti ionizujícího záření: intenzita, energie a druh emitovaného záření. Důležitá je též doba expozice a geometrické podmínky (vzdálenost). Můžeme se tedy před ionizujícím zářením chránit třemi způsoby – ochranou časem, vzdáleností a stíněním. (33)

1.3.2.1 Ochrana časem

Radiační zátěž roste s dobou pobytu v blízkosti zdroje ionizujícího záření. Pro pracovníka se zdrojem je nutné pobývat v blízkosti zdroje ionizujícího záření co nejmenší nutnou dobu. U pracujících vystavených vyššímu dávkovému příkonu záření je nutné pravidelné střídání a je důležité sledovat, aby nevzrostla kolektivní dávka. (3)

1.3.2.2 Ochrana vzdáleností

Intenzita záření se snižuje se čtvercem vzdálenosti od zdroje, tzn. čím dále od zdroje záření, tím nižší intenzita ionizujícího záření.

1.3.2.3 Ochrana stíněním

K ochraně proti ionizujícímu záření můžeme také využít vhodný materiál, který ionizující záření absorbuje, tím dojde buď k úplnému odstínění záření nebo alespoň k zmírnění jeho účinků. Stínění by mělo být co nejbližší zdroji záření, nebo jej alespoň obklopovat. Dle druhu ionizujícího záření volíme i vhodný materiál. U záření α díky jeho nízké pronikavosti stačí k ochraně velmi tenká vrstva např. plastu, dolet částic je jen několik cm. U záření β nám postačí plexisklo o tloušťce cca 5–10 mm v kombinaci s lehkým nánosem olova. K odstínění záření γ a záření x je nejvhodnější olovo v různých tloušťkách, popř. ve stavebnictví můžeme využít i beton. U neutronového záření je stínění složitější problém, jelikož je třeba nejdříve záření zpomalit a poté mohou být absorbovány. Zpomalení se provádí látkami bohatými na vodík a poté se záření absorbuje v látkách bohatých na kadmium, bor nebo indium. Při této absorpci je produkováno záření gama, které odstíníme olovem. Neutronové stínění tedy sestává ze tří vrstev – látky bohaté na vodík (např. polyetylen), vrstvy kadmia (boru) a nakonec olova. (33)

1.4 Lékařské ozáření

Lékařské ozáření bylo původně definováno pouze jako vystavení pacientů ionizujícímu záření v rámci jejich lékařského vyšetření nebo léčby. Současná legislativa (zákon č.263/2016) zahrnuje do lékařského ozáření také ozáření osob, které poskytují pomoc fyzické osobě podstupující lékařské ozáření, a dále ozáření osob, které se dobrovolně účastní lékařského ověřování nezavedené metody spojené s lékařským ozářením a ozáření v rámci pracovnělékařských služeb a preventivní zdravotní péče. (5) Z hlediska radiační

ochrany pacienta není možné omezovat dávku potřebnou k získání požadované informace nebo terapeutického efektu, a je tedy nezbytné přijmout opatření vedoucí k potlačení zbytečného ozáření. Nejdůležitějším z nich jsou organizační opatření, která vyloučí zbytečná vyšetření pomocí ionizujícího záření, a opatření technická a metodická vedoucí ke snížení dávky na minimum nutné pro získání požadovaného efektu. (5)

1.4.1 Dávka v lékařském ozáření

Pro stanovení „dávek“ při lékařském ozáření si musíme rozlišit několik dávkových veličin. Mezi základní patří absorbovaná dávka (D), což je množství energie ionizujícího záření, které pohltí jednotka hmotnosti v určitém ozářeném místě. Uvádí se v jednotkách gray (Gy). Další veličinou je ekvivalentní dávka (H_T), součin radiačního váhového faktoru a střední absorbované dávky (v orgánu nebo tkáni). Jednotkou ekvivalentní dávky je Sievert (Sv). (32) Efektivní dávka (E) nám stanovuje míru ozáření lidského těla a pravděpodobnost vzniku stochastických účinků. Je to suma ekvivalentní dávky a váhového tkáňového faktoru (každý orgán, tkáň lidského těla má rozdílnou hodnotu). Je to jediná veličina, která nám umožňuje jednoduchým způsobem odhad míry ozáření. Není ale vhodnou veličinou pro stanovení újmy konkrétního jedince. Kolektivní dávka se užívá pro hodnocení ozáření vybraných skupin obyvatel, je to součet všech efektivních dávek jednotlivců. Tato hodnocení mohou nadále sloužit k optimalizaci radiační ochrany a k různým statistickým analýzám. (32)

1.4.2 Sledování lékařského ozáření

Sledování lékařského ozáření ve světě je součástí statistického hodnocení zpráv UNSCEAR od roku 1958. Cílem je odhad a porovnání expozičních dávek při lékařském ozáření, jejich analýza, frekvence lékařského ozáření. Informace jsou poté využity k porovnání rozdílů mezi jednotlivými zeměmi, odhadů zdravotních účinků (jak negativních, tak pozitivních). Poté se určují příčiny rozdílů, hledají způsoby snižování dávek, zpětně se hodnotí efektivita. Zkoumá se také vliv pohlaví a věku na působení záření u různých

druhů vyšetření. Lékařské expozice jsou hodnoceny na základě absorbování v orgánech a tkáních.

V České republice je od roku 1995 vytvářen systém pro registraci údajů týkající se expozic obyvatel. Data jsou získávána ve spolupráci se zdravotními pojišťovnami. Shromážděné údaje se registrují ve speciální aplikaci, kam se zapisují informace o pohlaví a věku pacienta či vyšetřeních podstupených v jednom období. Při znalostech o daném vyšetření (dávka, aplikovaná aktivita) a frekvenci vyšetření lze výpočty stanovit kolektivní dávku. Díky informacím o věku a pohlaví tak můžeme zhodnotit celkové riziko vyplývající z užití zdrojů ionizujícího záření v lékařství v České republice.

1.4.3 Radiační ochrana při lékařském ozáření

Princip zdůvodnění nám říká, že využití lékařského ozáření by mělo mít pro pacienta nebo společnost benefit, který vyváží újmu způsobenou ozářením. Jestliže pacient podstoupí radiodiagnostický výkon za použití ionizujícího záření, má tento výkon přinést pacientovi benefit v rámci diagnostiky onemocnění či zlepšení jeho zdravotního stavu (např. intervenční postup). V praxi to znamená zvážit, zda nelze diagnostickou informaci získat jiným způsobem, jako je ultrazvukové vyšetření nebo vyšetření magnetickou rezonancí. Pokud není možné použít tyto dvě modalities, měla by být jasně stanovena indikace, proč je vyšetření ionizujícím zářením požadováno, a jaký benefit toto vyšetření přinese. (32)

Z celkového počtu rentgenových výkonů je až 30 % rtg výkonů nesprávně indikovaných, to znamená nezdůvodněných. V současnosti existuje v České republice dokument, který se nazývá Indikační kritéria pro zobrazovací metody (rok 2003). Je součástí Věstníku Ministerstva zdravotnictví. V tomto dokumentu je návod pro indikující lékaře, jak postupovat při nejasných problémech vycházejících z indikace radiodiagnostických výkonů. Vzhledem ke stáří těchto dokumentů lze také využít novějších doporučení organizací, jako je např. Evropská komise. (32)

Součástí principu optimalizace v oblasti lékařského ozáření je zavedení diagnostických referenčních úrovní (DRÚ), které nám stanovují úrovně dávek daných pro typické vyšetření standardních pacientů a pro obecně definované typy vyšetření. DRÚ si můžeme

rozdělit na místní a národní. Místní DRÚ (MDRÚ) se stanoví jako průměrná hodnota z typických dávek jednotlivých přístrojů. Národní DRÚ (NDRÚ) se stanoví jako třetí kvartil MDRÚ pro reprezentativní vzorek pracovišť. DRÚ slouží jako směrné hodnoty při lékařském ozáření a přispívají k usměrnění lékařských expozičních. Díky DRÚ můžeme zjistit, zda probíhá správná optimalizace, a při jejich dlouhodobějším překračování dochází k prošetření, a poté jsou stanovena nápravná opatření, zpravidla způsobená technikou vyšetření pacienta. (32)

Pro lékařské ozáření pacientů nejsou stanoveny dávkové limity, jelikož by to mohlo ohrozit případný zdravotní přínos pro pacienta. Pro lékařské ozáření se proto u pacientů řídíme principy zdůvodňování a optimalizace. Pro radiační pracovníky a další lékařský a nelékařský personál jsou limity nastaveny. (32)

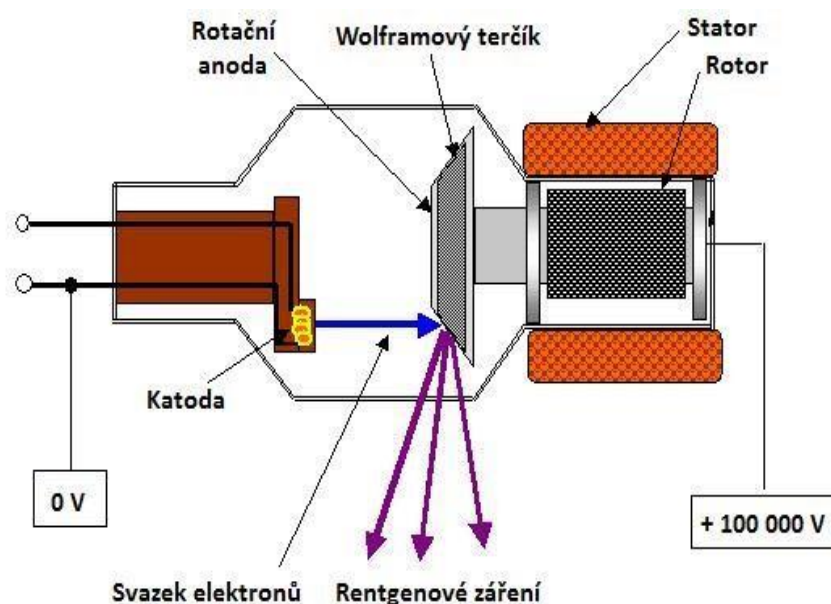
1.5 Rentgenová diagnostika

Největší podíl na lékařském ozáření má radiodiagnostika. K zobrazovacím metodám využívajícím ionizující záření v radiodiagnostice patří skiografie, skiaskopie, počítačová tomografie, mamografie, angiografie, zubní rtg. Zdrojem rentgenového záření je rentgenka.

1.5.1 Rentgenka

Je vakuová trubice, elektronka, která obsahuje katodu a anodu, do níž je přiváděno velké množství elektrického napětí. Rentgenka je ukrytá v olověném obalu a mezi obalem a rentgenkou se nachází vrstva oleje, která slouží jako chladicí médium. Při nažhavení katody žhavicím proudem jsou z ní termoemisí emitovány elektrony, které jsou dále urychleny silným elektrickým polem směrem k anodě. To je dáno vysokým potenciálním rozdílem mezi katodou a anodou. Po dopadu urychlených elektronů na anodu se elektrony prudce zabrzdí a malá část jejich původní kinetické energie (cca 1 %) se přemění na rentgenové záření. Zbytek se změní na teplo.

Rentgenka (obr. č. 9) je tvarována tak, aby výstup záření probíhal jedním směrem přes okénko, které je tvořeno berylliem. Tento svazek se nazývá tzv. primární svazek záření. (3) Katoda sloužící k výrobě elektronů je tvořena wolframovým vláknem s příměsí thoria. Anoda je fokusovaná miska, kam elektrony dopadají a jsou prudce zbrzděny. Místo dopadu elektronového svazku se nazývá ohnisko a dochází zde k maximální emisi rentgenového záření. (4) Anoda je nejčastěji zhotovena z wolframu (ve speciálních případech i z jiného materiálu), podmínkou je ale velmi vysoký bod tání. Z důvodu velké tepelného zatížení anoda rotuje, aby se ochladila.



Obr. č. 9 Rentgenka (zdroj: 41)

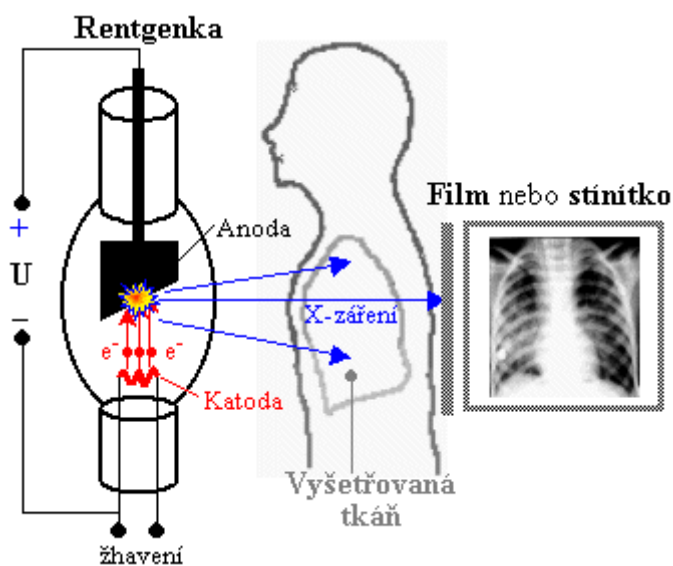
1.5.2 Skiografie

Při snímkování dochází ke krátké expozici rentgenového záření, toto záření prochází vyšetřovanou oblastí, částečně se v ní absorbuje, rozptyluje a poté dopadne na detekční médium (slouží k vytvoření snímku). Cílem je získat nativní snímek při dostatečném rozdílu absorpce ionizujícího záření. Princip skiografie je znázorněn na obr. č. 10.

U tohoto vyšetření není třeba žádné zvláštní přípravy. Pacient u vyšetření může stát u vertigrafu, sedět u vyšetřovacího stolu nebo na něm ležet. K vytvoření svazku záření slouží rentgenka, primární svazek poté vymezíme dle vyšetřované oblasti tzv. primární

clonou (kolimátorem). Vymezení primárního svazku slouží k snížení radiační zátěže u pacienta a přispívá k optimálnímu výslednému obrazu. Při průchodu svazku záření tělem pacienta zároveň vzniká sekundární záření, které se částečně zachytí na detekčním mediu a sníží kontrast obrazu. Tento efekt můžeme částečně eliminovat použitím sekundárních clon (tzv. Bucky clony). Tato clona je v podobě mřížky, jež obsahuje lamely z materiálu pohlcujícího rentgenové záření. Primární svazek projde mezi mezerami v lamelách, zatímco rozptýlené záření, které má jiný směr, se zachytí na lamelách. Během expozice se lamely pohybují, aby nebyly patrné na snímku. Součástí rentgenového přístroje je také generátor vysokého napětí a usměrňovač.

Pro pacienty v těžkém stavu neschopné transportu existují pojezdne mobilní rentgenové přístroje. Při snímkování na lůžku jsou horší podmínky pro zhotovení kvalitního snímku, přístroj je technicky velmi jednoduchý a dají se pořizovat základní snímky s horší kvalitou obrazu.



Obr. č. 10 Princip skiografie (zdroj: 33)

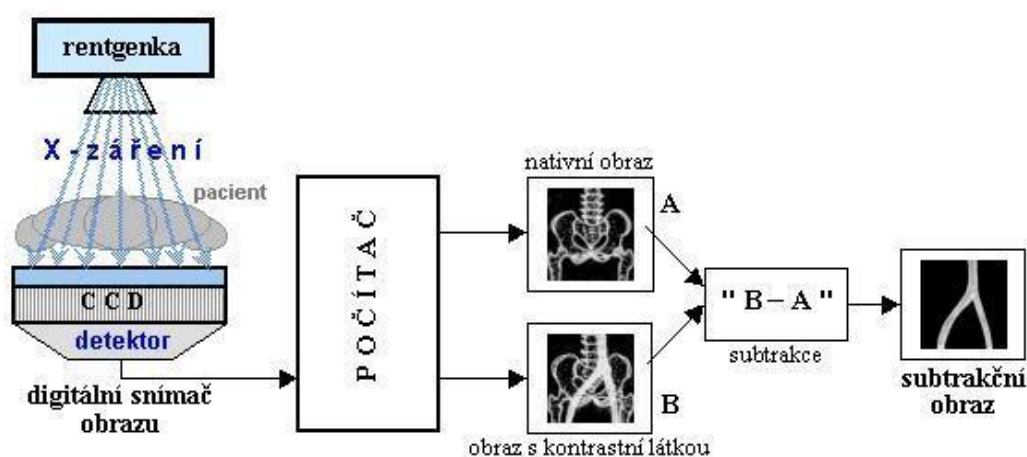
1.5.3 Skiaskopie

Princip skiaskopie (obr. č. 11) spočívá v kontinuálním prosvěcování rentgenovým zářením o nízké energii. Toto nám umožňuje sledovat v lidském organismu dynamické děje či postup kontrastní látky nebo vykonávat intervenční metody (např. polykací akt,

zavádění katetrů do srdce). Obraz není tak kvalitní jako při klasické skiagrafii, ale při skiaskopii můžeme děj pozorovat několik sekund až minut při daném vyšetření.

Výhodou skiaskopie je, že si pacienta můžeme při vyšetření různě polohovat pomocí pohyblivého stolu. V některých případech je nutná zvláštní příprava k vyšetření (pacient přichází nalačno, vyprázdněn) a u vyšetření mu mohou být podány kontrastní látky buď per os, per rectum, nástřikem do dutin nebo intravenózně.

U skiaskopie rentgenové záření prochází tělem vyšetřované osoby a dopadá na štít, který obsahuje luminiscenční látku, na němž vytváří viditelný obraz. Ten je poté zesílen v zesilovači obrazu a následně převeden televizním řetězcem (digitální kamerou na monitor). V současné době je spíše využíván k detekci záření plochý detektor a dochází k přímé analogově-digitální konverzi na plně digitální obraz přímo na panel detektoru. Součástí skiaskopických přístrojů je také sklopná stěna (stůl), která umožňuje polohovat pacienta během vyšetření (šikmé pozice, vzpřímené, vleže). Radiační zátěž je zde vzhledem k délce vyšetření vyšší. (14)



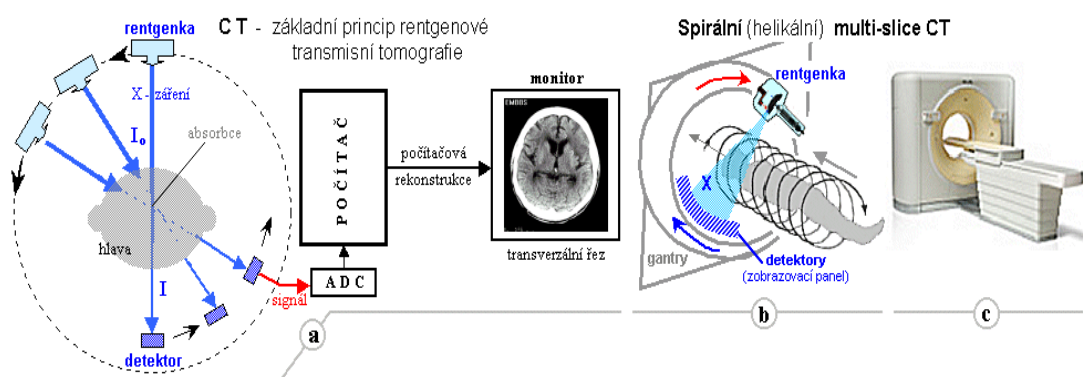
Obr. č. 11 Princip skiaskopie (zdroj: 33)

1.5.4 Počítačová tomografie

Výpočetní tomografie (CT) má v radiodiagnostice velice široké spektrum využití (nejen diagnostické, ale i terapeutické výkony). Jde o metodu, kdy pomocí absorpcí rentgenového záření zobrazujeme vnitřní orgány a procesy v těle člověka. Na rozdíl od

skiografie máme 3D zobrazení. Základem je kombinace tří částí: rentgenky, pacienta a detektorů. Rentgenka produkuje svazek záření ve tvaru vějíře, ten prochází tělem pacienta a je zachycován sadou detektorů, které měří prošlá kvanta, promění je na elektrický signál a ten je posléze dále zpracováván v počítači. Rentgenka provádí pohyb tak, že se vždy naproti ní nachází detektory. Jedná se o spirálový pohyb, kdy se pohybuje stůl s pacientem a rentgenka s detektory se otáčí. Pro každý obraz u výpočetní tomografie platí, že má být dostatečně kvalitní a poskytuje dostatek informací. (14)

Před každým CT vyšetřením je důležité zohlednit, jaký výsledek očekáváme, a dle tohoto nastavit CT protokol (proud rentgenky (mA), napětí rentgenky (kV), skenovací čas, tloušťku skenované vrstvy, rychlost posunu stolu během expozice). Skenovací čas je doba, která uplyne k náběru dat při provádění CT skenu. Čas by měl být co nejkratší, protože pohyb pacienta během skenu zhoršuje výslednou kvalitu obrazu (např. dýchání). Rychlost posunu stolu (table inkrement) je důležitý parametr při axiálním náběru dat. Tloušťka skenu je udávána v mm. Udává nominální tloušťku rekonstruovaného řezu v ose z. Během spirálního skenování (tzn. kdy se současně pohybuje stůl s pacientem a rotuje rentgenka) je velikost překrytí spirálně nabíraných dat označována jako pitch faktor. Matematicky je toto definováno jako podíl posunu stolu na jednu rotaci rentgenky a celkové kolimaci svazku. (16)



Obr. č. 12: Princip počítačové tomografie (zdroj: 33)

1.6 Zobrazovací metody – pediatrie

Pediatrická radiologie je samostatným úsekem radiologie, která vyžaduje specifickou znalost lékařů i radiologických asistentů. Vyšetřovací postupy jsou zcela odlišné než u dospělých.

V pediatrické radiologii se při vyšetření dětí řídíme speciálními postupy. Děti mají menší velikost těla, rozdělujeme je do několika skupin podle věku – nedonošenec, novorozenec, kojeneček, batole, předškolní věk, mladší školní věk a starší školní věk. Je nutné si před vyšetřením uvědomit mnoho funkčních rozdílů – rychlejší dech, neschopnost zadržet dech, zvýšená plynatost střev. U velmi malých dětí je velmi obtížná spolupráce – nelze vysvětlit přínos vyšetření, nutnost polohování při různých projekcích. U starších dětí je nutné jim vysvětlit, co je čeká, jak bude vyšetření probíhat a důležitá je i spolupráce rodičů dítěte. Vzhledem ke konstituci dětských pacientů se přizpůsobují dávky ve srovnání s dospělými.

1.6.1 Nejčastější typy vyšetření v pediatrické radiologii

Je velmi důležité, aby lékař indikující vyšetření zvážil, jestli je nutné vyšetření rentgenovým zářením a nelze využít jiných dostupných modalit typu ultrazvuk nebo magnetická rezonance.

V pediatrické radiologii bychom měli volit následující algoritmus vyšetření pro snížení radiační zátěže:

1. ultrazvukové vyšetření
2. nativní snímek (skiografie)
3. skioskopie
4. magnetická rezonance
5. počítačová tomografie
6. angiografie

1. Metodou první volby by měl být ultrazvuk. Nehrozí poškození ionizujícím zářením, je to metoda nebolestivá, biologicky neškodná, neinvazivní, rychlá, levná a vyšetření můžeme často opakovat. Pomocí ultrazvuku nejčastěji v pediatrii vyšetřujeme mozek (do určitého věku), břicho, hrudník, srdce a kyčle.

2. Skiografie v pediatrii bývá metodou rychlé volby, nejčastěji v urgentních případech, kdy ultrazvuk není možné využít a jeho volba nám nepřináší podstatné informace.

Nejčastějším vyšetřením v pediatrii jsou snímky hrudníku – a to již u novorozenců nebo nedonošenců, kdy přinášejí zprávu o stavu hrudníku, plicního parenchymu, srdce, popř. anatomických odchylkách (novorozenecké pneumopatie, adnatní pneumonie, aspirace, srdeční vady, zánětlivá onemocnění plicního parenchymu, astma...).

Druhým nejčastějším vyšetřením jsou nativní snímky břicha, kdy jsou taktéž zjišťovány vrozené malformace, překážky v trávicím traktu (spolknutí cizího tělesa), život ohrožující stavy (ileus, nekróza střev).

Dalšími vyšetřeními jsou nativní snímky kostí (fraktury, kostní tumory, dysplázie kyčelních kloubů, poruchy uzavírání lebečních švů, porodní traumata, aseptické nekrozy kostí, systémová onemocnění atd.).

3. Skiaskopie – velmi často vyšetření slouží k diagnostice vrozených anomálií, provádíme vyšetření trávicího traktu k diagnostice atrezie jícnu, skiaskopie jícnu (refluxní choroba, dysfágie) poruchy pasáže (zpomalení motility), irigografie (Morbus Hirschsprung, Crohnova choroba). Mezi velmi častá skiaskopická vyšetření patří vyšetření a diagnostika onemocnění ledvin a močových cest (vrozené vady – např. anomálie močového měchýře, ureterokéla).

4. Magnetická rezonance – je bez radiační zátěže pacienta (i případné doprovázející osoby), u menších dětí do 3 až 3,5 let vyšetřujeme pod vlivem sedativ nebo v celkové anestezii.

Nevýhodou magnetické rezonance je delší doba vyšetření a případný strach z úzkého prostoru. K nejčastějším indikacím patří vyšetření mozku, enterografie, břicha, vyšetření kostí, kloubů a páteře.

5. Počítačová tomografie – důležité zvážení indikace z důvodu vyšší radiační zátěže. Při vyšetření dětí se snižuje elektrické napětí a zvyšuje součin proudu a času, zvyšuje se kolimace, zvyšuje pitch faktor a snižuje perioda rotace rentgenky, to vše za předpokladu, že dostaneme dostatečně kvalitní obraz.

Jak je uvedeno výše u malých a nespolupracujících dětí je nutná přítomnost anesteziologa. Výhodou tohoto vyšetření je jeho rychlost.

Nejčastějšími indikacemi je vyšetření plic HRCT metodou nebo vyšetření mozku při podezření na akutní intrakraniální krvácení.

6. U angiografie máme přesně stanovenou diagnózu a cílem jsou intervenční výkony. Zde je vysoká radiační zátěž (intervence).

1.6.2 Radiační ochrana v pediatrické radiologii

Dle nových Národních radiologických standardů, které byly uvedeny ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví z 15. prosince 2016, se uvádí:

„[V rámci] Lékařské[ho] ozáření dětského pacienta se věnuje zvýšená pozornost zajištění radiační ochrany. Aplikující odborník s klinickou zodpovědností za odůvodnění zvažuje nutnost podání získané informace za pomoci IZ a volí jen takovou techniku, která zajistí maximální ochranu. Při volbě expozičních parametrů přihlédne aplikující odborník s klinickou zodpovědností za praktickou část lékařského ozáření k tělesné konstituci daného pacienta. Na většině pracovišť, kde nejsou specializována na dětského pacienta, jde o [sic!] nestandardní výkon lékařského ozáření.“

1.6.2.1 Princip odůvodnění

Princip odůvodnění stanoví, že individuální zdravotní prospěch pacienta převažuje nad riziky, která z ozáření vznikají nebo mohou vzniknout.

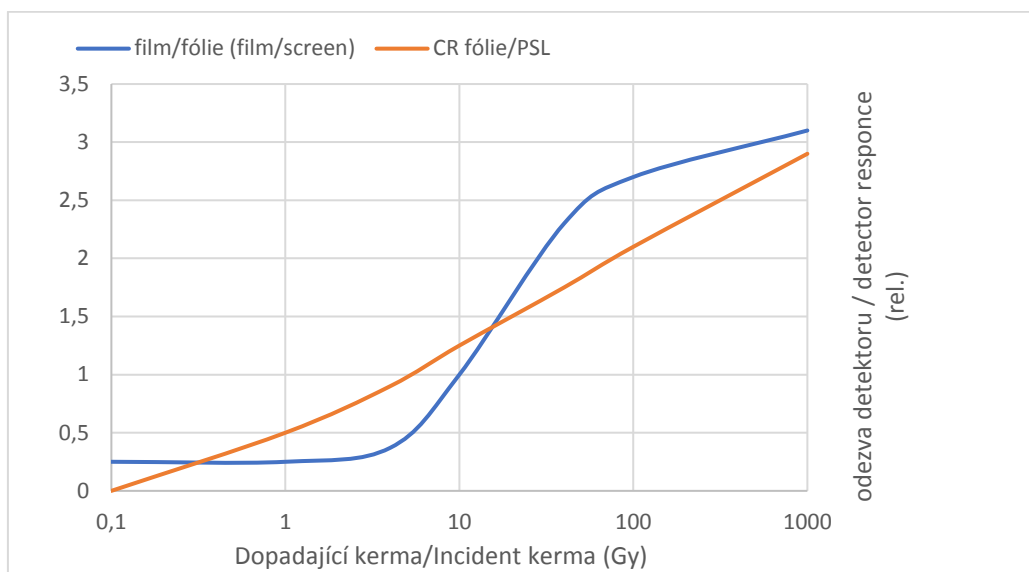
Indikující lékař by měl vzít při volbě rentgenovým zářením v potaz, zda jej nelze nahradit jinou zobrazovací metodou (např. ultrazvuk, magnetická rezonance), jež by mu přinesla obdobné informace pro další léčebný postup. Měl by přihlédnout i k Indikačním kritériím pro zobrazovací metody (jsou stanovena ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví), místním radiologickým standardům, případně postupovat dle mezinárodních doporučení. Indikující lékař by měl mít informace o předchozích vyšetřeních, která byla provedena ať už z daného pracoviště či z jiných pracovišť, aby se zamezilo jejich opakování. (4)

1.6.2.2 Princip optimalizace

Princip optimalizace stanovuje, že dávky ve tkáni jsou tak nízké, aby tím nebylo omezeno získání nezbytných radiodiagnostických informací.

Užitečný nástroj pro optimalizaci je stanovit pro každé pracoviště tzv. místní diagnostické referenční úrovně (MDRÚ). Dalším důležitým prvkem je nastavení přístrojové techniky dětskému pacientovi. Přestože je každá modalita jiná, lze dodržet několik základních pravidel: úprava orgánových nastavení, expoziční automatiky, manuální nastavení přístroje.

U **skiagrafie** je ve většině případů klasická filmová skiagrafie (analogová) nahrazena digitálními systémy, které jsou zaváděny ve snaze snížit dávku a dosáhnout lepší kvality obrazu. Pokud ale technologie přímé digitalizace či nepřímé digitalizace (DR nebo CR) není používána správně, může snadno docházet k zbytečným nadexpozičním. Na první pohled není u digitálních snímků jasný indikátor správné expozice jako u klasického filmu. Klasický filmový materiál byl buď velmi světlý (podexponovaný) nebo naopak velmi černý (přeexponovaný). Digitální systémy mají oproti filmu vyšší dynamický rozsah a snesou až 10 000krát vyšší expozici, než potřebujeme pro získání správného snímku - obr. č. 13.



Obr.č.13 Závislost odezvy detektoru na dopadající kermě (zdroj: 20)

Proto je nutné důkladné proškolení koncových uživatelů. Pro nastavení těchto systémů platí norma IEC 62694:2014, která udává informace pro expoziční index nebo senzitivitu s optimálním rozsahem pro jednotlivé orgány.

Po volbě správného expozičního nastavení je důležitá úloha radiologického asistenta, který správně vymezení primární svazek záření.

Při užití digitálního procesu s možností postprocesingového clonění radiologičtí asistenti často nepoužívají vymezení primárního svazku primární clonou, a dochází tudíž k ozáření i neindikovaných orgánů. Při postprocesingovém vystřížení se pak informace o původním poli, která je nutná pro výpočet dávky pacienta, ztrácí.

Při vyšetření dětí je důležité z hlediska obdržené dávky správné využití protirozptylové mřížky a expoziční automatiky. Standardní skiagrafické přístroje jsou vybaveny třemi komorami a expoziční automatikou, která vyhovuje standardnímu dospělému. Většina dětí je tak malých, že nepřekryje jednotlivé komory pro expoziční automatiku a nezískaly bychom tak kvalitní snímek. Proto je u menších dětí doporučována práce v manuálním režimu. Protirozptylovou mřížku není nutné používat, pokud tloušťka vyšetřovaného objektu je do 10 cm a pracujeme s napětím do 70 kV. Děti často tyto podmínky splňují, a proto IAEA doporučuje mřížku v tomto případě nepoužívat. V případě použití mřížky

zde nedojde k významnému zlepšení obrazu, avšak dojde ke zvýšení dávky třikrát až pětkrát.

Skioskopie a intervenční metody jsou s vyšší zátěží, přesto přínos pro pacienta je vyšší než zátěž, kterou obdrží. Avšak při náročnějších výkonech může také dojít k deterministickým poškozením pacienta. Pro minimalizaci dávky platí pravidla, která jsou shodná i pro dospělé – tzn. umístit pacienta co nejbliže detektoru obrazu a co nejdále od rentgenky, lokalizace zájmu obrazu, využití nejnižšího modu pro skioskopii (pulsní fluoroskopie), použití digitálního zoomu. U dětí je lepší odstranit protirozptylovou mřížku, která zvyšuje dávku. Většina moderních přístrojů již má pediatrické protokoly.

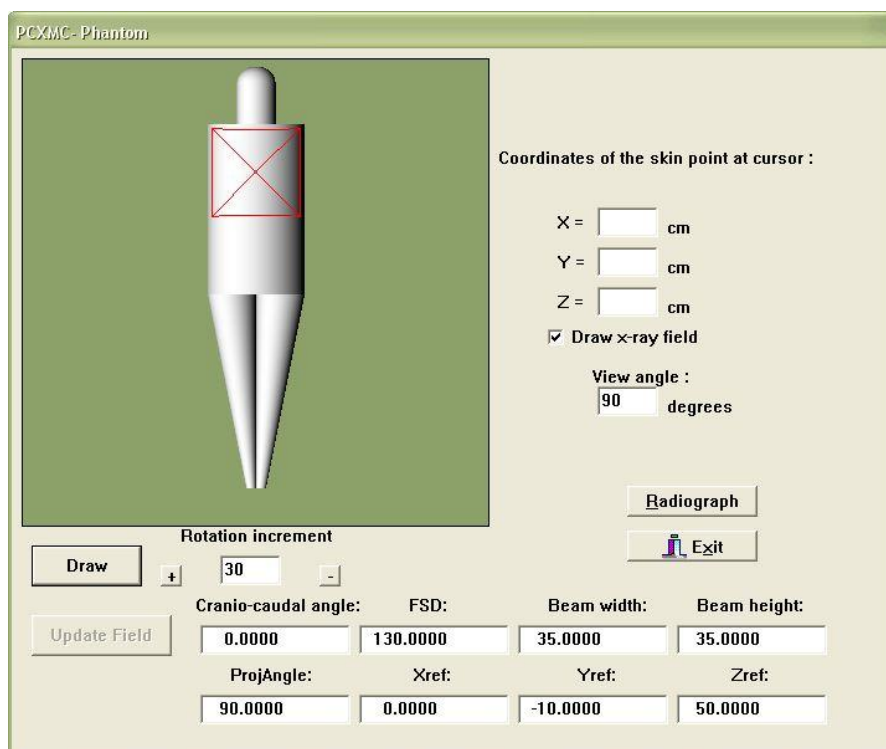
U **počítačové tomografie (CT)** je velmi důležitá volba protokolu, který je specifický pro věk, váhovou kategorii a vyšetřovanou oblast. Velmi důležité je pamatovat na to, že dávka musí být taková, abychom získali kvalitní diagnostickou informaci. (20)

Stanovení dávek pro posouzení rizika u pacienta je možné pomocí tří postupů.

- 1, Stanovení efektivní dávky pomocí programu PCXMC
- 2, Stanovení typické efektivní dávky pomocí tabulek
- 3, Stanovení typické hodnoty efektivní dávky pomocí MDRÚ

1, Stanovení efektivní dávky pomocí programu PCXMC

Tento program je vytvořený finskou organizací Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK). Umožňuje nám odhad orgánových dávek, efektivních dávek, riziko spojené s ozářením pro všechny výkony v radiologii (skiografie, skioskopie, angiografie) kromě počítačové tomografie. Odhad dávek je založen na simulacích Monte Carlo. (viz obr. č. 14) (32)



Obr. č. 14 Úvodní okno do programu PCXMC (zdroj: vlastní)

U počítačové tomografie (CT) se na výpočet dávek používá jiných výpočetních softwarů z důvodů použití jiných veličin. Pro výpočet orgánových a efektivních dávek se používá software jako např. CT-Expo, ImPACT CT (ukázka programu – obr. č. 15) nebo ImpactDose atd. Program opět pracuje na základě Monte Carlo. (32)

ImpACT CT Patient Dosimetry Calculator
Version 1.0.4 27/05/2011

Scanner Model:		Acquisition Parameters:	
Manufacturer:	Siemens	Tube current	30 mA
Scanner:	Siemens Definition AS	Rotation time	1 s
kV:	120	Spiral pitch	1
Scan Region:	Head	mAs / Rotation	30 mAs
Data Set:	MCSET17 <input type="button" value="Update Data Set"/>	Effective mAs	30 mAs
Current Data:	MCSET17	Collimation	6 (20* x 0.6) mm
Scan range		Rel. CTDI	Look up 1.45 at selected collimation
Start Position	42,5 cm <input type="button" value="Get From Phantom Diagram"/>	CTDI (air)	Look up 24.5 mGy/100mAs
End Position	64 cm	CTDI (soft tissue)	26.3 mGy/100mAs
Organ weighting scheme		CTDI _{vol}	Look up 16.9 mGy/100mAs
ICRP 103		CTDI _{vol}	5.1 mGy
		DLP	109 mGy.cm

Organ	w _r	H _r (mGy)	w _r ·H _r
Gonads	0.08	0.0029	0.00023
Bone Marrow	0.12	0.84	0.1
Colon	0.12	0.021	0.0026
Lung	0.12	3.6	0.44
Stomach	0.12	0.41	0.049
Bladder	0.04	0.0015	0.000059
Breast	0.12	3	0.37
Liver	0.04	0.66	0.026
Oesophagus (Thymus)	0.04	4.4	0.18
Thyroid	0.04	0.26	0.01
Skin	0.01	0.56	0.0056
Bone Surface	0.01	1.6	0.016
Brain	0.01	0.011	0.00011
Salivary Glands (Brain)	0.01	0.011	0.00011
Remainder	0.12	0.91	0.11
Not Applicable	0	0	0
Total Effective Dose (mSv)			1.3

Remainder Organs	H _r (mGy)
Adrenals	0.79
Small Intestine	0.026
Kidney	0.15
Pancreas	0.57
Spleen	0.47
Thymus	4.4
Uterus / Prostate (Bladder)	0.003
Muscle	0.61
Gall Bladder	0.2
Heart	3.7
ET region (Thyroid)	0.26
Lymph nodes (Muscle)	0.61
Oral mucosa (Brain)	0.011
Other organs of interest	
Eye lenses	0.013
Testes	0.000076
Ovaries	0.0056
Uterus	0.0045
Prostate	0.0015

Obr. č. 15 Okno programu ImpACT CT (zdroj: 46)

2, Stanovení typické efektivní dávky pomocí tabulek

Jestliže není na pracovišti vhodný program k výpočtu typické efektivní dávky, použijeme tabulky s parametry vyšetření pacienta. Pro výpočet efektivní dávky pro danou projekci se normalizovaná hodnota efektivní dávky z tabulky vynásobí hodnotou dopadající kermy pro tuto projekci. Při výpočtu celkové efektivní dávky z vyšetření se sčítají takto získané efektivní dávky pro jednotlivé projekce z celého vyšetření.

3, Stanovení typické hodnoty efektivní dávky pomocí MDRÚ

Tímto způsobem se stanovuje typická hodnota efektivní dávky na základě místního radiologického standardu a MDRÚ. Při použití standardních postupů a správné praxe se při lékařském ozáření nepředpokládá překročení stanovených diagnostických referenčních úrovní. MDRÚ je stanovena jako aritmetický průměr z průměrných dávek z jednotlivých rtg pracovišť. Na rozdíl od dospělých děti dělíme do skupin podle věku. Pro každou věkovou skupinu počítáme MDRÚ. Z toho vyplývá, že pro výpočet MDRÚ

dětských pacientů potřebujeme víc dat. Stává se, že u některých vyšetření v určité věkové kategorii není dostatek údajů pro výpočet MDRÚ. Ideální je stanovovat střední hodnotu z minimálně deseti pacientů v dané věkové kategorii na příslušném přístroji jako průměrnou hodnotu ze středních dávek. Pro každý přístroj, každé vyšetření potřebujeme určitý počet dat, která mnohdy nejsou v dané věkové skupině a daném vyšetření dostatečná. Výčet stanovených výkonů pro MDRÚ je v Národních radiologických standardech společně s přesným popisem stanovení a revize. (32)

1.6.3 Specifika skiagrafického vyšetření v pediatrické radiologii

Na každém pracovišti, na kterém se provádí snímkování dětí, by mělo být v místních radiologických standardech pracoviště uvedeno, že se zde snímkuje děti k přihlídnutí k Indikačním kritériím v zobrazovacích metodách (nařízení Vlády uvedené ve Věstníku Ministerstva zdravotnictví, částka 11, z roku 2003).

U snímkování v pediatrii je důležité myslet na to, že:

- snímkování vyžaduje speciální přístup – snažíme se dítěti vzhledem k věku vysvětlit, co jej čeká, dítě má strach z neznámého, očekává bolest. Dáme mu možnost ponechat si oblíbenou hračku, motivujeme jej odměnou za vyšetření (např. obrázek, samolepka).
- důležité jsou zkušenosti personálu – rychlost, přesnost, dokáže poučit doprovázející osobu, jak dítě přidržet při snímkování.
- snímkování vyžaduje kvalitní přístroje – nejlépe přímá digitalizace, možná postprocessingová úprava snímku.
- přesné nastavení expozic – volíme takové expoziční parametry, které jsou blízké fyzické konstituci a stavu dítěte, dodržujeme MDRÚ.
- radiační ochrana – řádné vyclonění, použití ochranných pomůcek – gonádová ochrana (Obr. č. 16), olověná zástěra (Obr. č. 17), speciální fixační pomůcky – fixace dětí sníží jejich pohyblivost a tím riziko opakování snímku. (Obr. č. 18)

Doprovázející osoba, pokud je přítomna, vyplní informovaný souhlas (přítomnost během vyšetření) a obdrží ochranné pomůcky.



Obr. č. 16 Gonádová ochrana různých velikostí (zdroj: vlastní)



Obr. č. 17 Dětské ochranné zástěry různých velikostí (zdroj: vlastní)



Obr. č. 18 Fixační pomůcky pro novorozence a kojence (*zdroj: vlastní*)

Při snímkování novorozenců (nedonošenců) v inkubátoru dbáme na:

- zvýšenou hygienu – řádná desinfekce kazety.
- odstranění všech možných artefaktů nad i pod novorozencem (např. nůžky na inkubátoru, chladící podložka pod dítětem)
- uvědomit si, že dítě nezadrží dech a dýchá rychleji než dospělý.
- správné napolohování dítěte – inkubátor v rovině, dítě není zrotováno na jednu či druhou stranu, vypodložení hlavy, popř. fixace či utlumení při nadměrném pohybu.
- snažíme se vyclonit na co nejmenší nutné pole.

2. Výzkumná část

2.1 Cíl a výzkumné otázky

Cílem práce je posoudit znalost jednotlivých zásad radiační ochrany u odborného personálu a rodičů dětských pacientů, zhodnotit možnosti a správnost radiační ochrany na specializovaném pracovišti se zaměřením na diagnostiku dětí a v případě odhalení nedostatků, ať už ve vzdělávání nebo přístupu k ochraně, doporučit postupy k nápravě a správné praxi.

Na základě vytyčených cílů byly stanoveny následující výzkumné otázky.

- 1, Jsou stávající znalosti laické veřejnosti a odborníků o radiační ochraně dostačující?*
- 2, Jakým způsobem se přistupuje ke vzdělávání laické veřejnosti o radiační ochraně dětských pacientů?*
- 3, Jsou správně využívány všechny dostupné metody radiační ochrany při diagnostickém ozáření dětí?*

2.2 Hypotéza

Je statisticky významný rozdíl v určitých oblastech dotazníkového šetření mezi laickou a odbornou veřejností? Budu statisticky šetřit dvě otázky a to v užití ochranných pomůcek u laiků a odborníků. A druhá druh vyšetření dle laiků a dle odborníků.

3. Metodika výzkumu

Pro účely výzkumné části jsem využila dotazníkové šetření, které proběhlo náhodným výběrem osob jak z řad laické veřejnosti (rodičů dětí), tak z řad odborníků. Dotazníky obdrželi rodiče dětí přicházejících na vyšetření, nadále jsem využila internetové portály pro odborníky z oboru radiologie (asistenti, lékaři, fyzici, sestry). U laické veřejnosti bylo k dispozici 100 dotazníků, vrátilo se zpětně 60 a použitelných bylo 52. Tyto dotazníky obdrželi rodiče malých pacientů (popř. doprovázející osoby) v oblasti Prahy 2. Dotazníků pro odbornou veřejnost bylo 150, přičemž 110 jich bylo vyplněno elektronicky ve skupině radiologických asistentů a dalších 40 vyplnili zaměstnanci pražských nemocnic (nejčastěji Všeobecná fakultní nemocnice v Praze, Fakultní nemocnice v Motole, Nemocnice Na Homolce). Vrácených dotazníků bylo 135, přičemž využitelných bylo 117. Dotazníky byly v oběhu od prosince 2016 do března 2017. Dotazník pro odborníky vyplnilo 117 osob a pro laickou veřejnost (rodiče) 52 osob. Dotazníky byly dány k vyplnění jak v elektronické, tak v tištěné podobě. Celkem se výzkumu aktivně zúčastnilo 168 osob.

Byly zvoleny dva druhy dotazníků – jeden pro rodiče dětí a druhý pro odbornou veřejnost. Dotazník pro laickou veřejnost, tzn. rodiče dětí (viz příloha č. 1) je tvořen 16 otázkami. V dotazníku jsem se zaměřila nejdříve na věkovou skupinu, vzdělání, pohlaví dotazovaného, věk dítěte, druh vyšetření a zda rodiče byli dostatečně informováni o průběhu vyšetření. V závěru byl položen dotaz, zda by měli zájem o informační materiál. Dotazník pro odbornou veřejnost (viz příloha č. 2) je tvořen 14 otázkami. V dotazníku byly otázky opět zaměřeny na věk, pohlaví, vzdělání, odbornou způsobilost. Dále zde byly položeny otázky týkající se radiační ochrany a jejího dodržování. V závěru byl opět položen dotaz, zda by byl zájem o informační brožury pro rodiče.

V obou dotaznících se vyskytly v některých částech stejné dotazy. Tyto dotazy napomohly ke zjišťování statisticky významné rozdílnosti.

Pro účely této práce jsou data zpracována do grafů a tabulek v programu Microsoft Office Excel.

Cílem dotazníkového šetření bylo zjistit v jakém stavu je dodržování radiační ochrany v pediatrické radiologii. Zda jsou dodržovány jednotlivé zásady radiační ochrany, jestli jsou znalosti odborníků v radiační ochraně dostačující. Jak je laická veřejnost informována a vzdělávána v radiační ochraně.

Součástí tohoto šetření je také statistické porovnání společných odpovědí obou skupin. K porovnání výsledků mezi odbornou a laickou veřejností byl použit chí-kvadrát test nezávislosti. Tento test spadá mezi neparametrické testování a zkouší, zda rozdělení pozorování ve dvou odlišných souborech mohou být stejná. Tento test jsem využila při porovnání využití ochranných pomůcek.

Dalším testem pro statistické zpracování byl Kolmogorovův-Smirnovův test dobré shody pro dva výběrové statistické soubory, z důvodu nesplnění předpokladů chí-kvadrát testu při zpracování další části dotazníku a to otázka o druhu rentgenového vyšetření. Tento test opět spadá pod neparametrické testování. Test dobré shody spočívá v tom, že výběr statistických jednotek pro první výběrový test není závislý na výběru statistických jednotek pro druhý výběrový soubor.

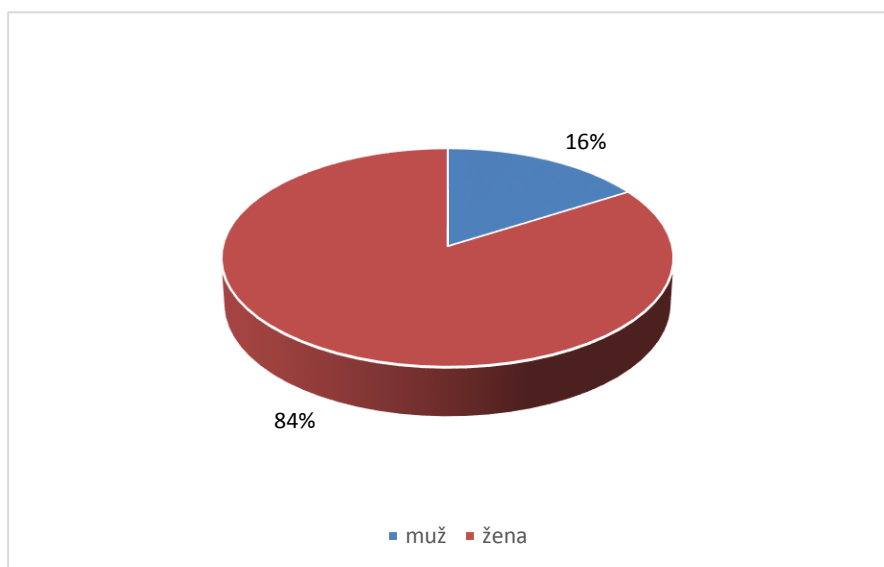
Druh statistického testování jsem vybrala z publikace *Základy statistiky* (49), kde jsou testy a jejich metodika přesně popsány. Testy byly provedeny ve statistickém programu R.

4. Výsledky

Dotazníkové výsledky jsou zobrazeny pomocí grafů, nejprve je přidělen popis s číselným vyjádřením počtu respondentů a procentuální hodnoty k jednotlivým zodpovězeným otázkám procentuální hodnoty z celkových odpovědí a následuje graf. Po dotazníkovém šetření následuje statistické vyhodnocení dvou otázek.

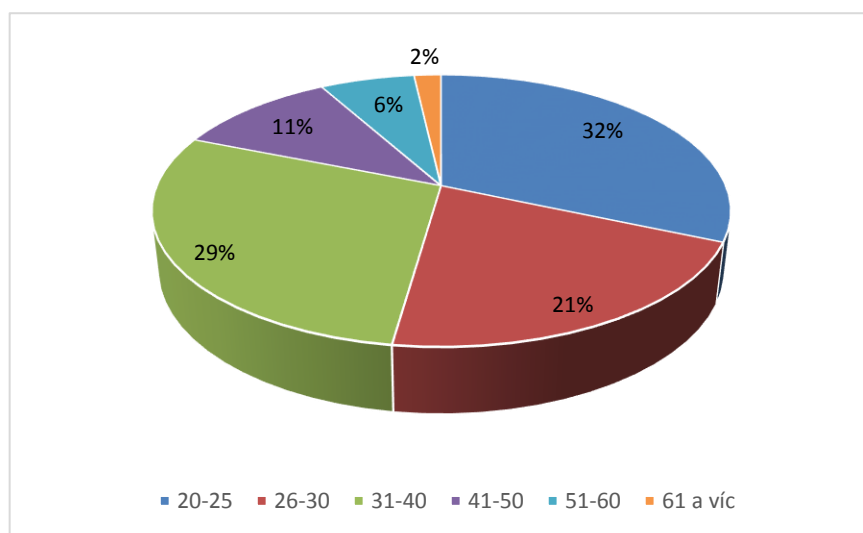
4.1 Dotazníkové šetření odborníků

Jste muž x žena. První otázka se týkala pohlaví respondentů. Tato otázka byla položena z důvodu rozložení zastoupení pohlaví ve výzkumu. Na obrázku je patrné, že větší část tvořily ženy a to v počtu 98 (84%) a menší míře muži 19 (16%).



Obr.č.19 Zastoupení pohlaví respondentů. *Zdroj: vlastní výzkum.*

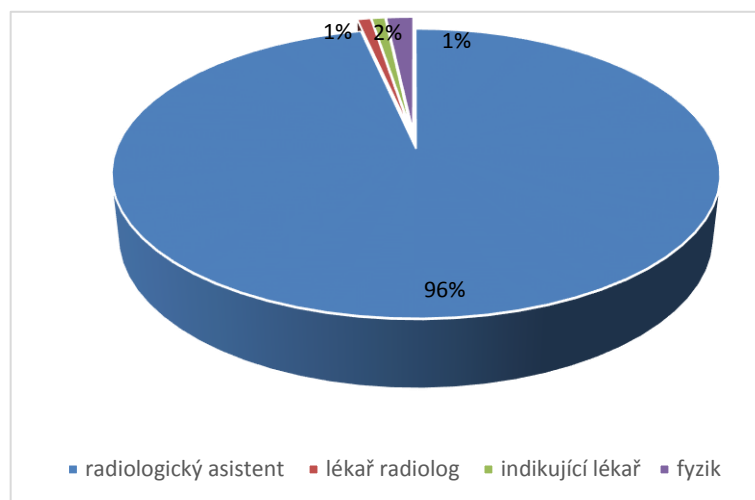
Kolik je Vám let? Nejpočetnější skupinou byla věková kategorie od 20 - 25 let. Tuto kategorii tvořilo celkem 35 osob (32%). Následovala věková skupina od 31 – 40 let a to v počtu 32 osob (29%). Třetí byla kategorie osob od 26-30 let a to v počtu 23 (21%). Na čtvrté pozici se umístila věková kategorie 41-50 let v počtu 12 (11%). Pátá byla skupina ve věku 51-60 let v počtu 7 (6%) a poslední byla kategorie 61 let a více, zde byly 2 osoby (2%).



Obr.č.20 Věkové zastoupení u odborníků. *Zdroj: vlastní výzkum.*

Jsem radiologický asistent, fyzik, lékař radiolog, indikující lékař.

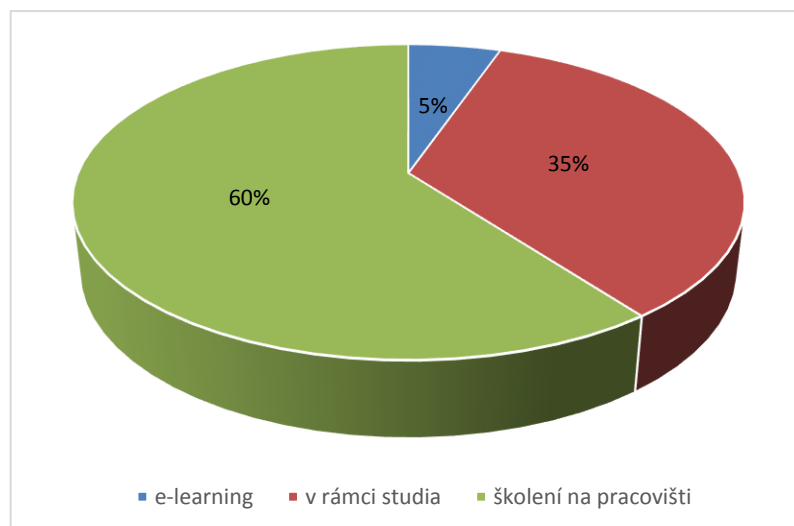
U této otázky uvedla naprostá většina z 116 respondentů odbornost radiologického asistenta, a to v 112 odpovědích (96%). Odpověděli také 2 fyzici (2%), 1 lékař radiolog (1%) a 1 (1%) indikující odborník (bohužel vícero odborníků nemělo zájem vyplňovat dotazník).



Obr. č. 21 Zastoupení odborností v dotazníku. *Zdroj: vlastní výzkum.*

Jakou formou jste školeni v oblasti radiační ochrany?

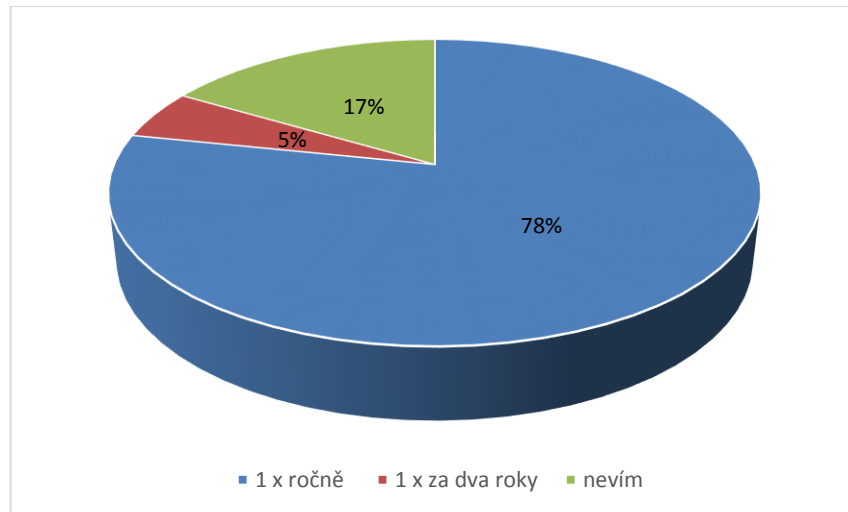
Tato otázka měla více odpovědí než respondentů, kterých bylo 114, a odpovědí celkem 151. Někteří respondenti odpověděli, že jsou proškoleni jak školením na pracovišti, tak v rámci studia. Ze 114 respondentů uvedlo 91 (60 %), že je proškolenáno na pracovišti, v rámci studia je proškolenáno 52 respondentů (35 %) (často v kombinaci se školením na pracovišti, připisují význam této odpovědi dalšímu vzdělávání v rámci praxe) a 8 respondentů (5 %) je proškolenáno formou e-learningu (současně uváděli i proškolení na pracovišti).



Obr. č. 22 Znárodnění formy proškolení v radiační ochraně. *Zdroj: vlastní výzkum.*

Jak často jste školeni v oblasti radiační ochrany?

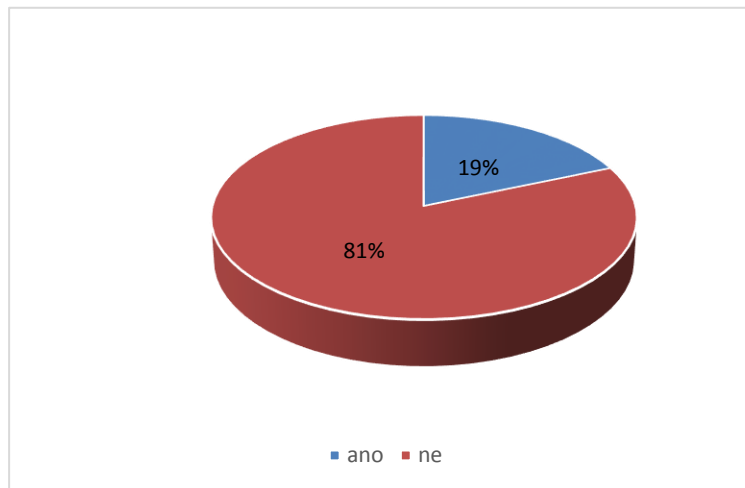
Tuto otázku zodpovědělo 115 respondentů. Je velmi zajímavé, že 19 (17 %) respondentů neví, jak často jsou proškoleni v oblasti radiační ochrany, 90 (78 %) respondentů je proškolenáno jednou ročně a 6 (5 %) respondentů je proškolenáno jednou za dva roky.



Obr. č. 23 Znáznorňuje četnost v proškolení v radiační ochraně. *Zdroj: vlastní výzkum.*

Máte specializované pracoviště pro dětské pacienty?

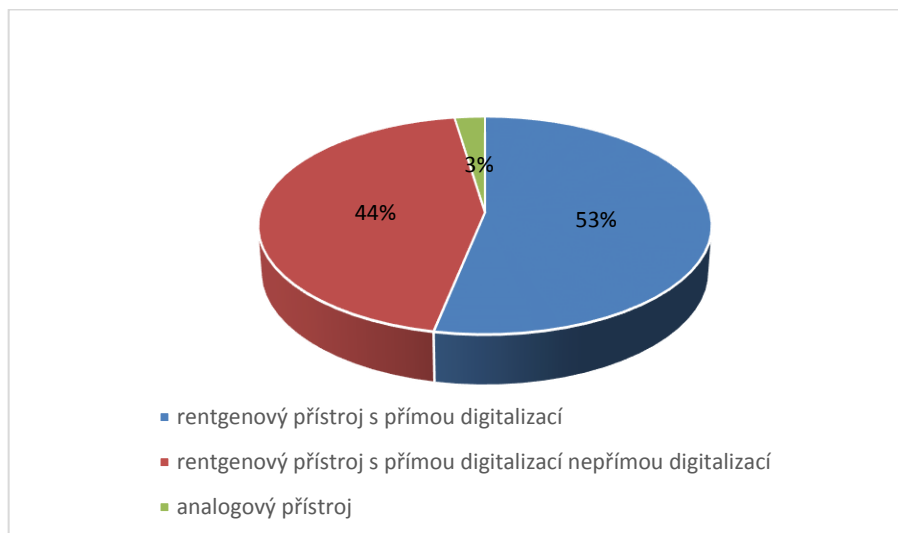
Odpovědělo 113 respondentů. Jen pouhých 21 (19 %) respondentů uvedlo, že mají specializované pracoviště pro dětské pacienty. Zbývajících 92 (81 %) uvedlo, že toto pracoviště nemají, takže se snímkování dětí a dospělých provádí na stejných rtg přístrojích.



Obr. č. 24 Dotaz na specializované pracoviště pro dětské pacienty. *Zdroj: vlastní výzkum.*

Jaký používáte rentgenový přístroj k diagnostickému vyšetření dětí?

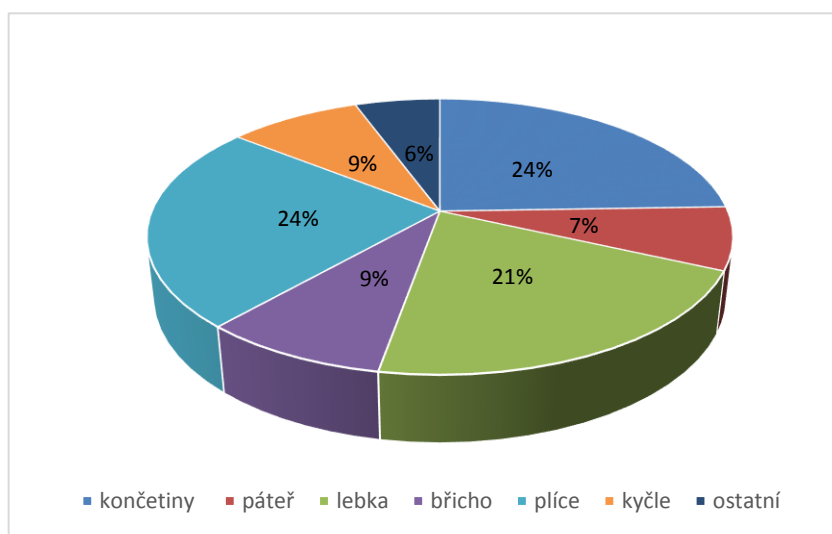
Celkem odpovědělo 108 respondentů. Velmi příznivé je nízké využití starších analogových přístrojů, a to v pouhých 3 odpovědích (3 %). V ostatních případech se jednalo o přímou digitalizaci 66 respondentů (53 %) či přístrojem s nepřímou digitalizací 55 (44 %). U některých odpovědí jde o kombinaci přímé a nepřímé digitalizace.



Obr. č. 25 Využití skiografických přístrojů na pracovištích. *Zdroj: vlastní výzkum.*

Jaká nejčastější vyšetření u dětských pacientů provádíte?

Celkem na tuto otázku odpovědělo 102 respondentů. Nejčastějším rtg snímkem jsou končetiny, a to především úrazy, dále se provádějí snímky zápěstí na kostní věk. Druhou skupinou jsou rtg snímky plic, což jsem předpokládala (patří mezi nečastější vyšetření v pediatrické radiologii). Třetí skupinou jsou snímky lebky, a to v případě úrazů, dlouhodobých bolestí hlavy, nebo také snímky dutin. Další odpovědi v četnosti byly vyrovnané, a to snímky páteře – dlouhé snímky páteře na skoliózu, snímky k vyloučení traumatologie, různých deformit. Snímky břicha zastupují nativní snímky, snímky k vyloučení cizích těles. Velmi mne překvapila četnost snímkování kyčelních kloubů u dětí, takže jsem vytvořila zvláštní skupinu. Mezi ostatní jsem zařadila různé vyšetřovací komody z oblasti trávicího traktu, vyšetření močových cest, popř. výjimečně vyšetření počítačovou tomografií.

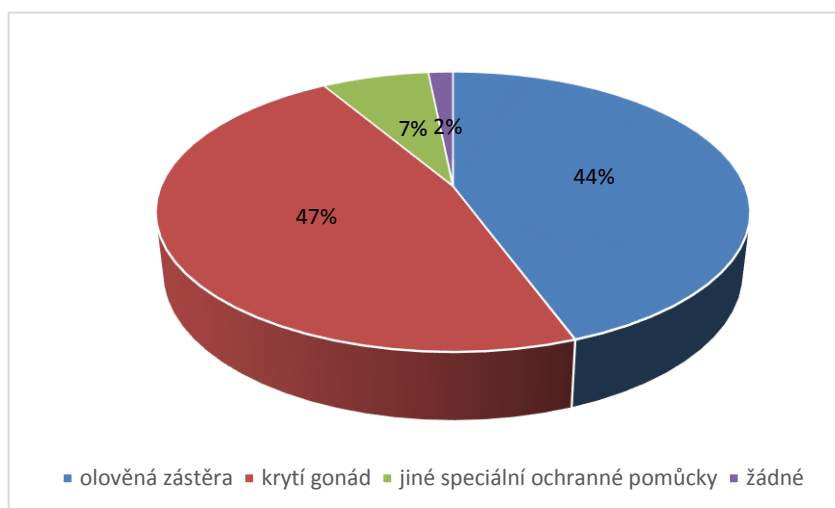


Obr. č. 26 Četnost vyšetření u dětských pacientů. *Zdroj: vlastní výzkum.*

Jaké používáte ochranné pomůcky při snímkování dětských pacientů?

Tuto otázku zodpovědělo 111 respondentů. Velmi vyrovnané bylo využití pomůcek jako je olověná zástěra, a to v 83 případech (44 %) a krytí gonád 88 případů (47 %), další bylo využití jiných speciálních ochranných pomůcek 13 případů (7 %) a necelé 3 případy nevyužívají žádné ochranné pomůcky. Vzhledem k rozmanitosti pracovišť dotazovaných

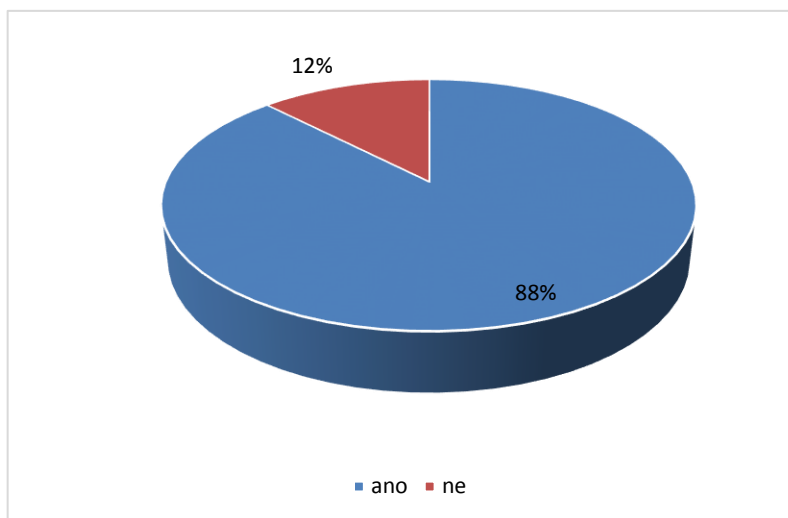
(ozařovny, pracoviště nukleární medicíny, magnetická rezonance, klasická skiografie, počítačová tomografie) můžeme vidět, že v naprosté většině jsou pomůcky k ochraně dětských pacientů využívány.



Obr.č. 27 Využití ochranných pomůcek při snímkování dětských pacientů. *Zdroj: vlastní výzkum.*

Myslíte si, že mají ochranné pomůcky významný vliv na radiační riziko u dětí?

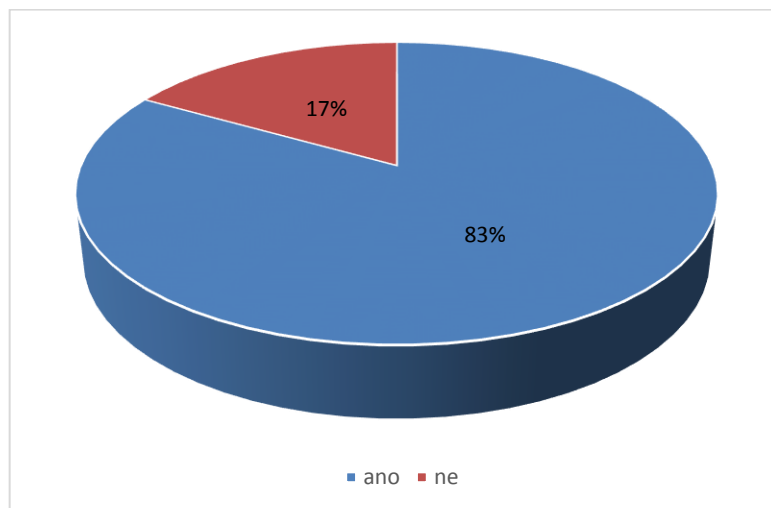
Na tuto otázku odpovědělo celkem 114 respondentů. 100 respondentů (88 %) si myslí, že ochranné pomůcky mají významnější vliv na radiační riziko, a 14 respondentů (12 %) odpovídá, že ne.



Obr. č. 28 Znáznorňuje odpovědi na otázku, zda mají ochranné pomůcky významný vliv na radiační riziko u dětí. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

Informujete doprovod o škodlivosti rentgenového záření?

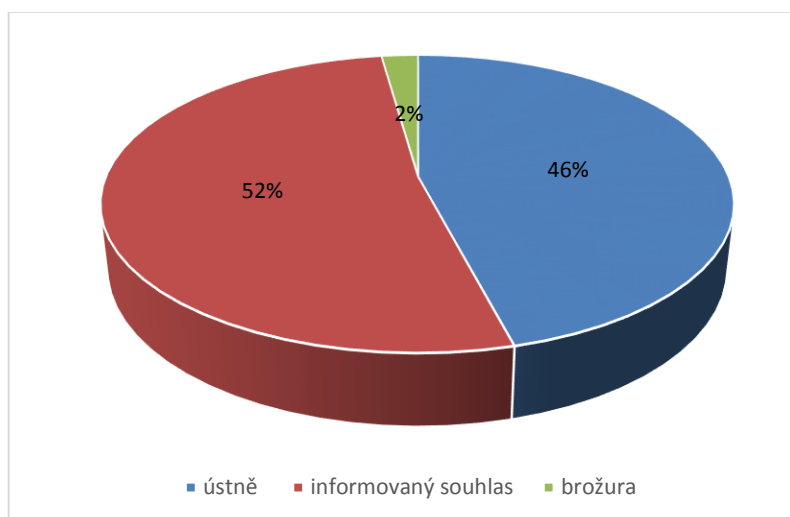
K této otázce se vyjádřilo 112 respondentů, kdy 94 (84 %) respondentů informuje doprovod o škodlivosti rentgenového záření a 19 (16 %) doprovodu žádné informace nepodává.



Obr. č. 29 Uvádí, zda informují doprovod o škodlivosti rentgenového záření. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

Jestliže ano, jakým způsobem.

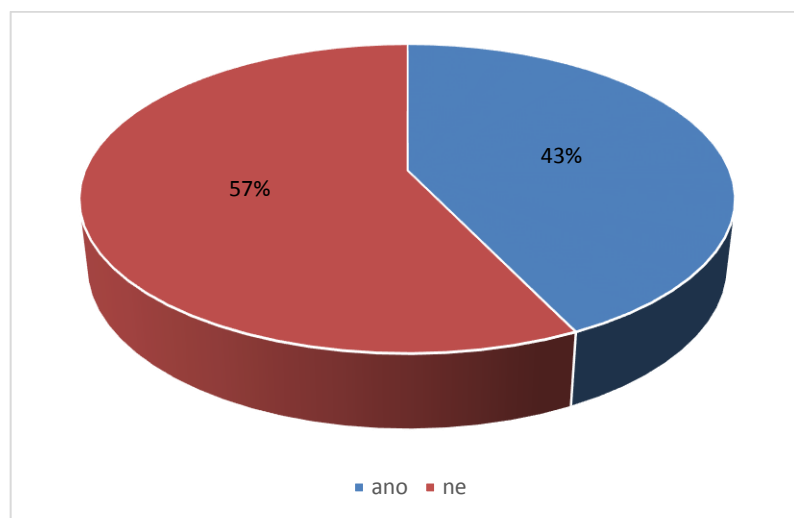
Celkem odpovědělo 95 respondentů. Ústně informuje 62 respondentů (46 %), pomocí informačního materiálu k informovanému souhlasu informuje 70 respondentů (52 %) a pomocí brožury 3 respondenti (2%). Předpokládám, že doprovod mívá v některých případech doplňující dotazy na vyšetření.



Obr. č. 30 Způsob informování doprovodu o škodlivosti rentgenového záření. *Zdroj: vlastní výzkum*

Dokážete odhadnout celkovou dávku u dětských pacientů při rentgenu hrudníku?

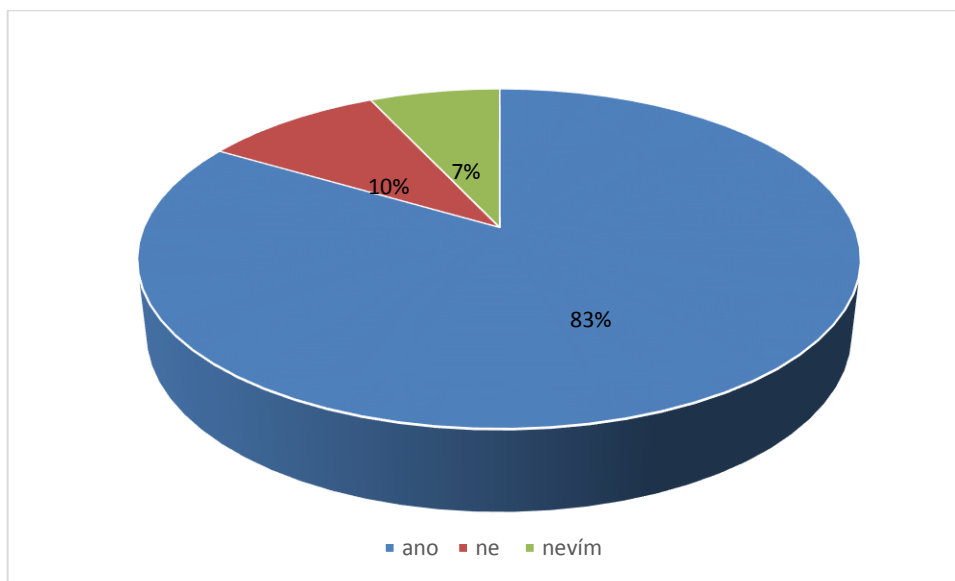
Celkově odpovědělo 112 respondentů, 48 respondentů (43 %) uvedlo, že ano, a 64 respondentů (57 %) uvedlo, že ne.



Obr. č. 31 Znázorňuje, zda jsou odborníci schopni odhadnout celkovou dávku u dětských pacientů. *Zdroj: vlastní výzkum.*

Uvítali byste informační brožuru pro rodiče o rentgenovém vyšetření, které by obdrželi v ordinaci indikujícího lékaře, popř. na Vašem oddělení?

Celkem odpovědělo na tuto otázku 113 respondentů, 94 respondentů (83 %) uvedlo, že by přivítali informační brožuru, 11 respondentů (10 %) odpovědělo ne a 8 respondentů (7 %) odpovědělo, že neví.

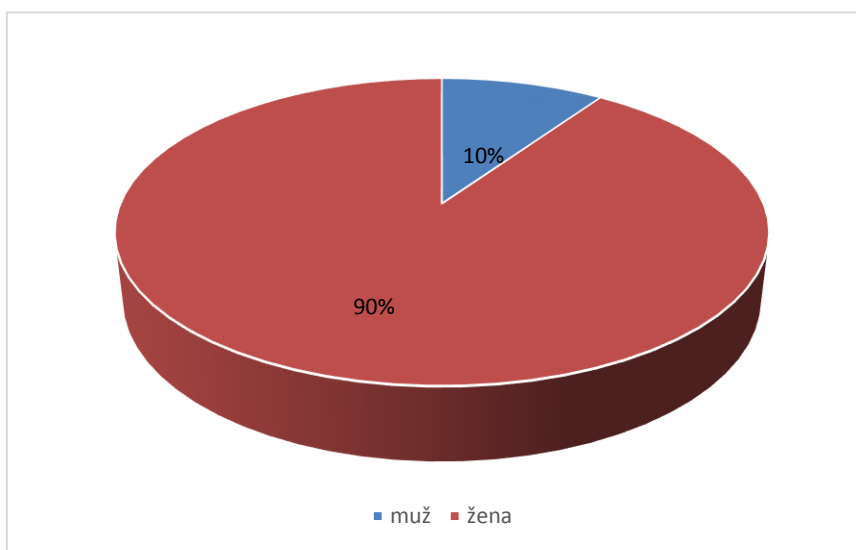


Obr. č. 32 Procentuální znázornění odpovědí, zda by odborníci přivítali informační brožuru pro rodiče dětí. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

4.2 Dotazník pro rodiče

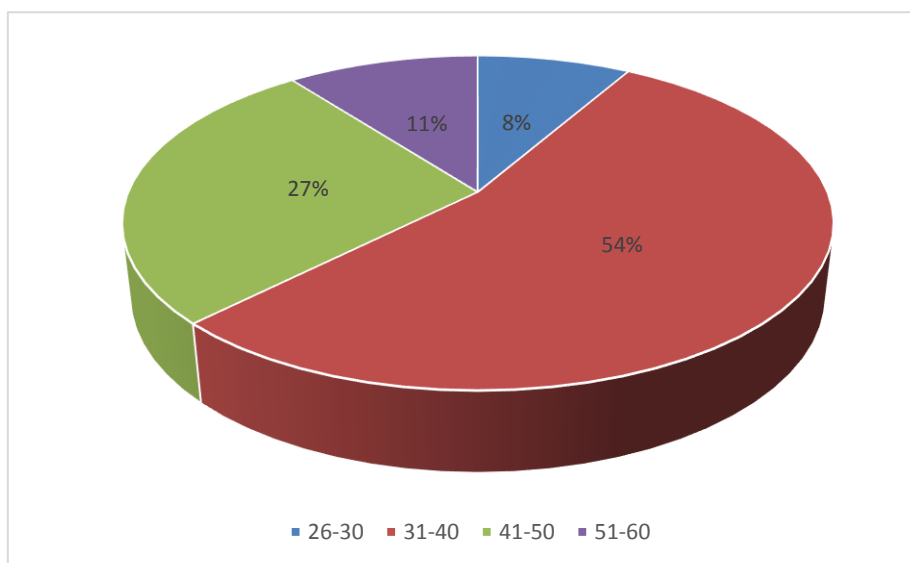
Celkem se výzkumu zúčastnilo 52 osob. Dotazník pro rodiče obsahoval 16 otázek. Odpovědi byly sesbírány elektronickou formou nebo písemně.

Jsem muž x žena. Z řad laiků odpovědělo 47 (90%) žen a pouhých 5 mužů (10%).



Obr.č.33 Zastoupení respondentů dle pohlaví v laickém dotazníku. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

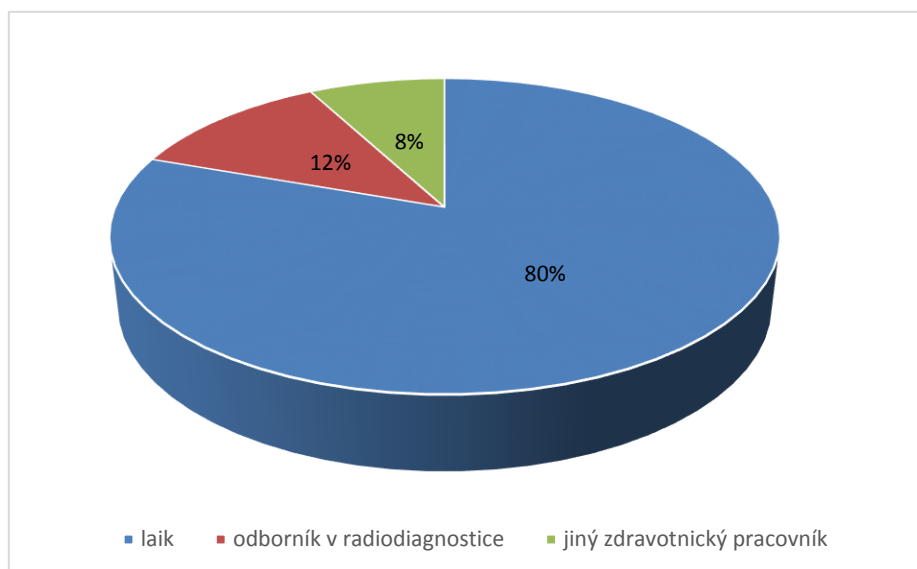
Věkové zastoupení laiků. Tuto otázku zodpovědělo pouhých 48 respondentů. Nejvíce bylo ve věkové skupině 31-40 let a to 26 (54%). Druhá nejpočetnější skupina respondentů byli věku 41 až 50 let a to 13 (27%). Třetí byla věková kategorie 51 až 60 let to v počtu 5 (11%) a poslední 26-30 let a to 4 (8%).



Obr.č.34 Věkové zastoupení respondentů. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

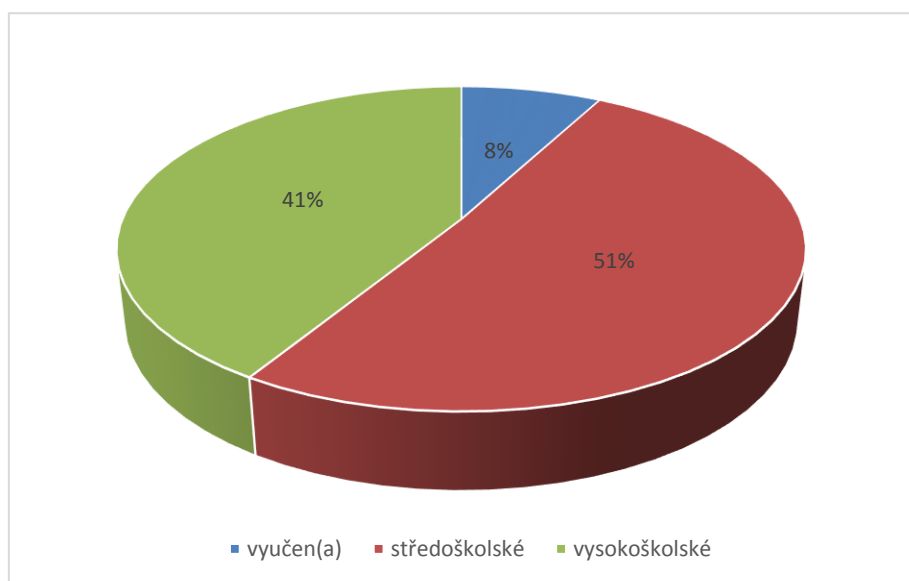
Jsem laik, odborník v radiodiagnostice, jiný zdravotnický pracovník.

Celkem dopovědělo 51 respondentů. Největší zastoupení zde má laická veřejnost a to 41 respondentů (80 %). Odborníků v radiodiagnostice (radiologický asistent, lékař radiodiagnostik, fyzik) bylo 6 (12 %) a z ostatních zdravotnických pracovníků (lékař, zdravotní sestra, zdravotní asistent atd.) dotazník vyplnily 4 osoby (8 %).



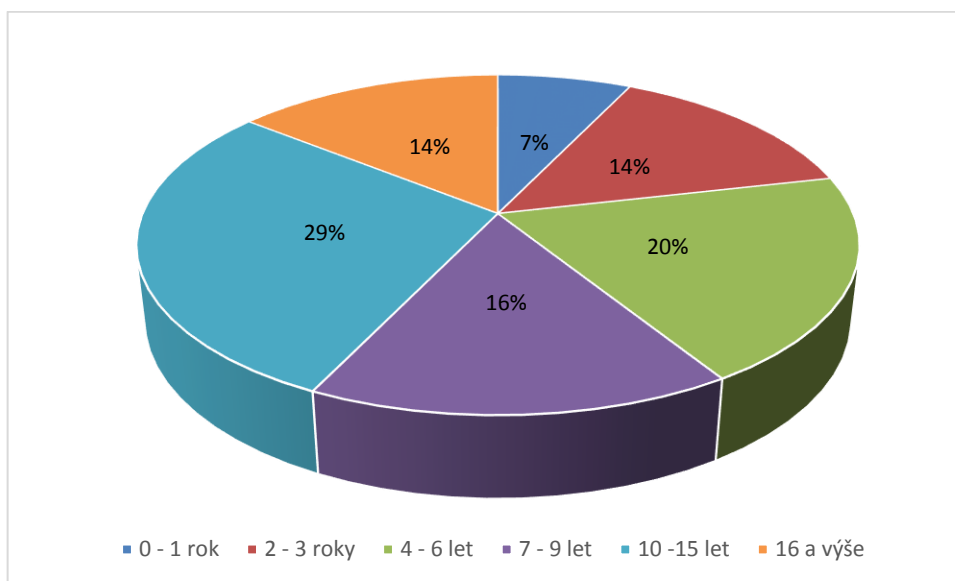
Obr.č. 35 Grafické znázornění laiků, odborníků v radiodiagnostice, jiný zdravotnický pracovník. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

Další otázka byla na vzdělání respondentů. Nejpočetnější skupinou byly středoškolsky vzdělaní laici a to v 26 odpovědích (51%) další byly vysokoškolsky vzdělaní respondenti v počtu 21 (41%) A nakonec vyučených respondentů bylo v počtu 4 (8%).



Obr.č. 36 Vzdělání respondentů. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

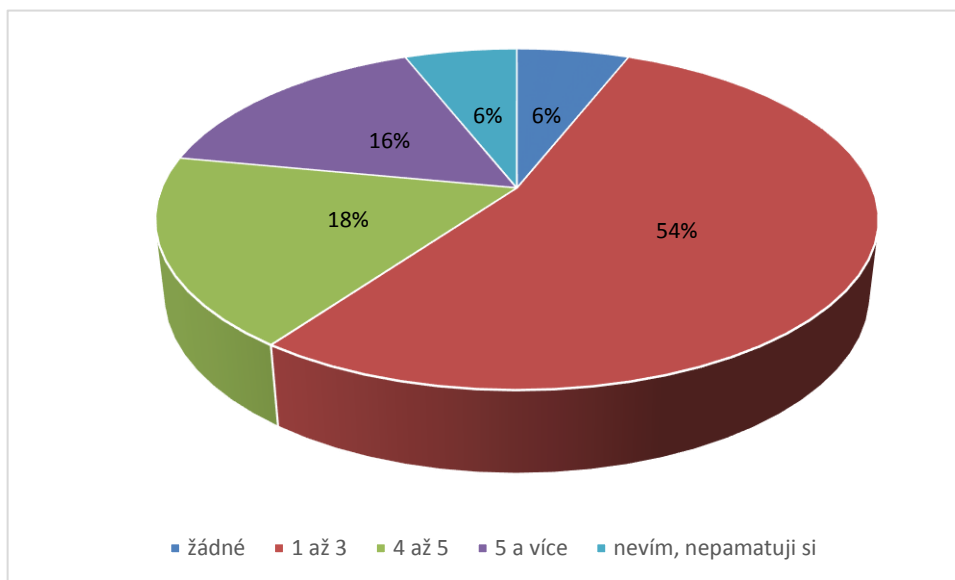
Otázka následující se týkala věku dítěte. Největší věkové zastoupení měly rodiče dětí ve věku 10 až 15 let a to v počtu 16 (29%). Následovaly věkové kategorie 4-6 let v počtu 11 (20%). Dále kategorie 7-9 let v počtu 9 (16%). A další věkové kategorie, které měly stejný počet a to 8 (14%) v rozmezí 16 let a výše a skupina 2-3 roky. Posledními byly také rodiče dětí ve věku 0 – 1 a ti byli 4 (7%). Přitom je bráno v potaz, že jeden laik mohl mít 0 až 3 děti v různých věkových kategoriích.



Obr.č. 37 Věkové zastoupení dětí laiků. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

Kolik dosud mělo Vaše dítě rentgenových vyšetření?

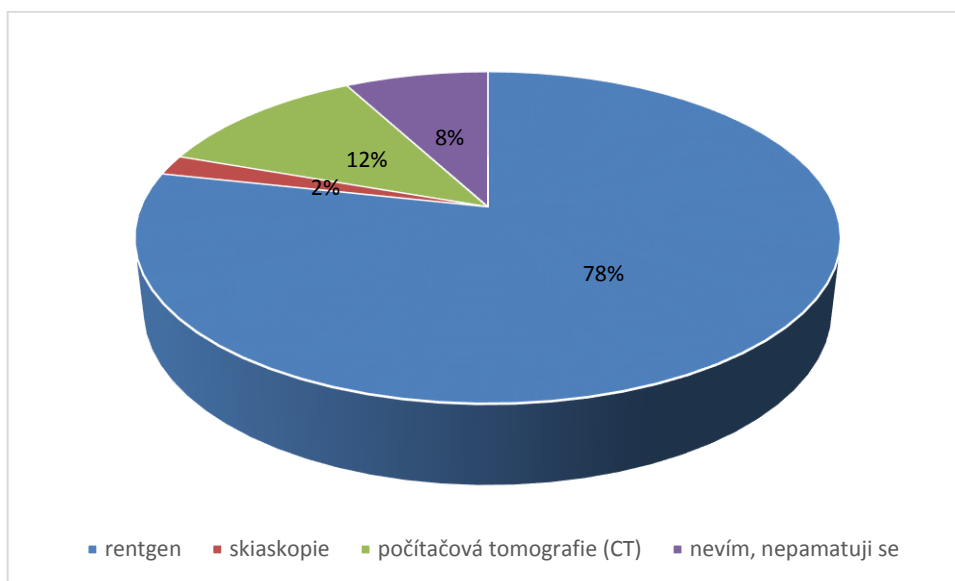
Celkem odpovědělo 50 respondentů. Největší skupinu tvoří rentgenová vyšetření v rozmezí 1 až 3 a to u 27 respondentů (54 %), další skupina jsou 4 až 5 vyšetření, na tuto otázku uvedlo 9 respondentů (18 %). Co mne překvapilo, bylo 5 a více vyšetření u dětí 8 respondentů (16 %). Žádné rentgenové vyšetření nepodstoupily 3 (6 %) děti respondentů a na otázku „nevím, nepamatuji si“ odpověděli taktéž 3 respondenti (6 %).



Obr. č. 38 Počet vyšetření u dětí respondentů. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

Pamatujete si, jaké vyšetření bylo a čeho se týkalo? (např. jednoduchý rentgenový snímek plic, hlavy, rukou, nebo skiaskopie – prosvěcování pacienta při současném pozorování vzniklého obrazu na rtg štítě, nebo CT – počítačová tomografie)

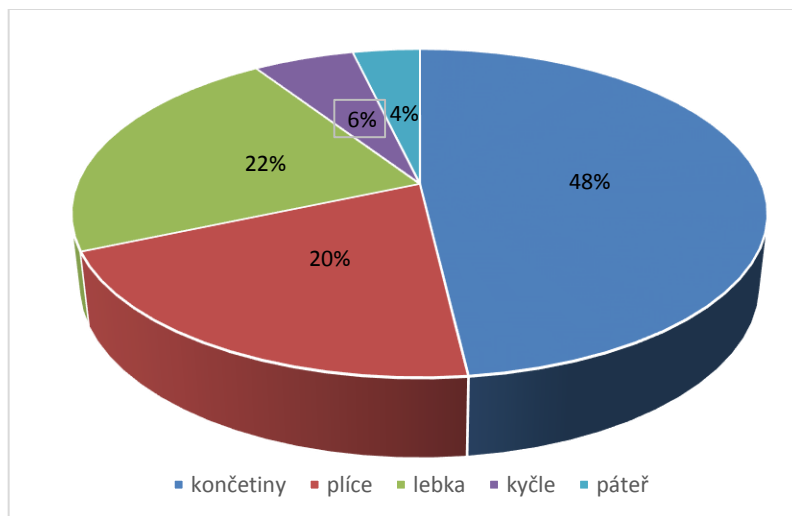
Celkem odpovědělo 50 respondentů, přičemž 4 (8 %) uvedlo „nevím nepamatuji se“. Nejvíce bylo zastoupeno rentgenové vyšetření, a to v 40 případech (78 %), dále počítačová tomografie (CT) v 6 případech (12 %) a v 1 případě to byla skiaskopie (2 %). Někteří respondenti udávali kombinaci rentgenového vyšetření a vyšetření počítačovou tomografií.



Obr. č. 39 Počet vyšetření na jednotlivých modalitách. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

Můžete, prosím vypsát jaké vyšetření to bylo?

Nejčastěji se jednalo o vyšetření končetin (ruce, nohy) a to ve 26 odpovědích (48 %), dále to bylo vyšetření lebky (dutiny, úrazy) ve 12 odpovědích (22 %), snímky plic v 11 odpovědích (20 %). Dále se vyskytly snímky kyčlí, a to ve 3 odpovědích (6 %), a nakonec snímky páteře (bez uvedení důvodu) ve dvou odpovědích (4 %). U počítačové tomografie byly zmiňovány vyšetření hlavy a páteře, a to celkem v 7 odpovědích.

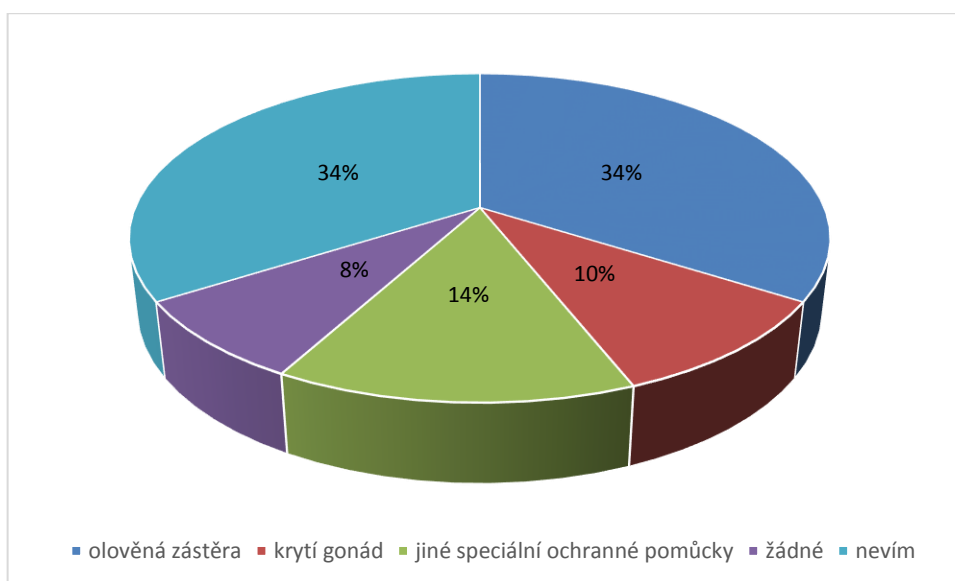


Obr. č. 40 Druh vyšetření, které dítě v rámci rentgenového vyšetření podstoupilo.

Zdroj: Vlastní výzkum.

Které ochranné pomůcky byly použity při rentgenovém vyšetření?

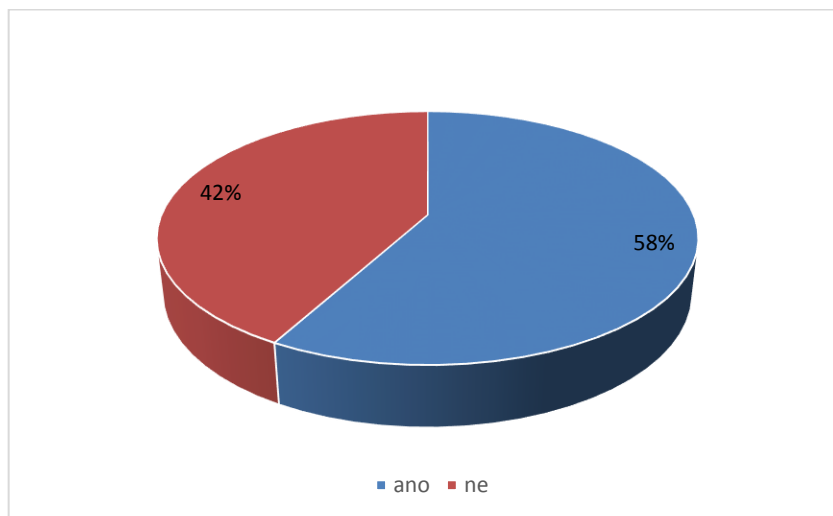
Celkem odpovědělo 50 respondentů. Olověná zástěra byla použita v 17 odpovědích (34 %), další stejně zastoupenou skupinou byla odpověď nevím v 17 odpovědích (34 %). Krytí gonád přiznalo 5 respondentů (10 %). Jiné speciální pomůcky byly využity v 7 odpovědích (14 %) a odpověď žádné byla využita ve 4 odpovědích (8 %).



Obr. č. 41 Využití ochranných pomůcek během rentgenového vyšetření. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

Máte pocit, že jste dostali dostatek informací před vyšetřením (průběh, škodlivost)?

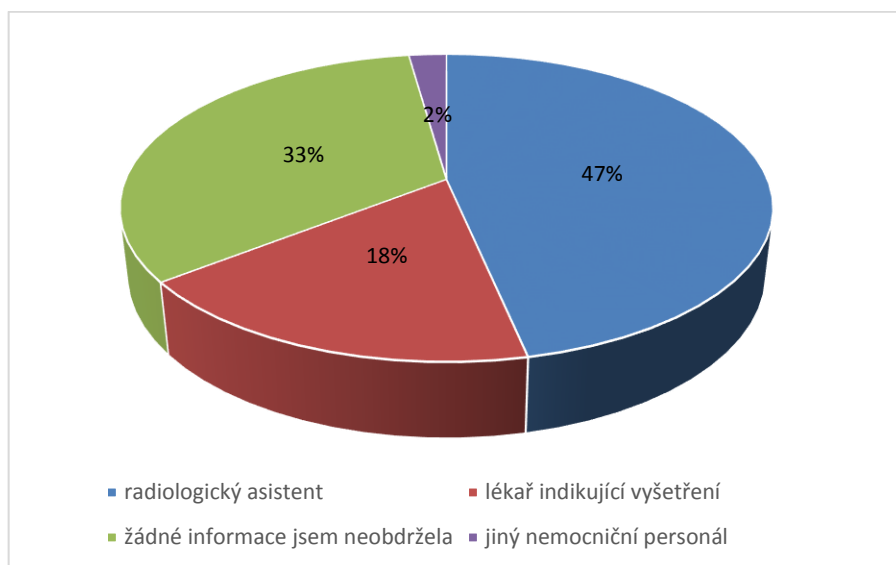
Celkem odpovědělo 50 respondentů, 29 respondentů (58 %) mělo pocit, že dostalo dostatek informací před vyšetřením a 21 respondentů (42 %) mělo pocit, že nebylo dostatečně informováno.



Obr. č.42 Znáznorňuje, zda respondenti byli dostatečně informováni o vyšetření. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

Od koho jste tyto informace obdrželi?

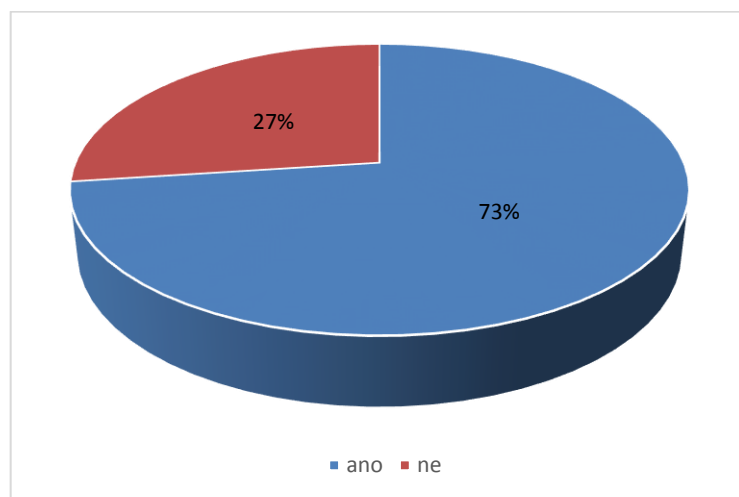
Otázku zodpovědělo 45 respondentů, 5 z nich otázku nezodpovědělo. Informace o vyšetření od radiologického asistenta obdrželo celkově 21 respondentů (47 %), žádné informace o vyšetření nemělo 15 respondentů (33 %). Informace od indikujícího lékaře obdrželo pouhých 8 respondentů (18 %) a 1 (2 %) respondent obdržel informace od jiného nemocničního personálu (sestra, sanitář).



Obr.č.43 Zobrazuje, kdo informuje rodiče dětí o vyšetření. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

Chtěli byste více informací o rizicích rentgenového vyšetření?

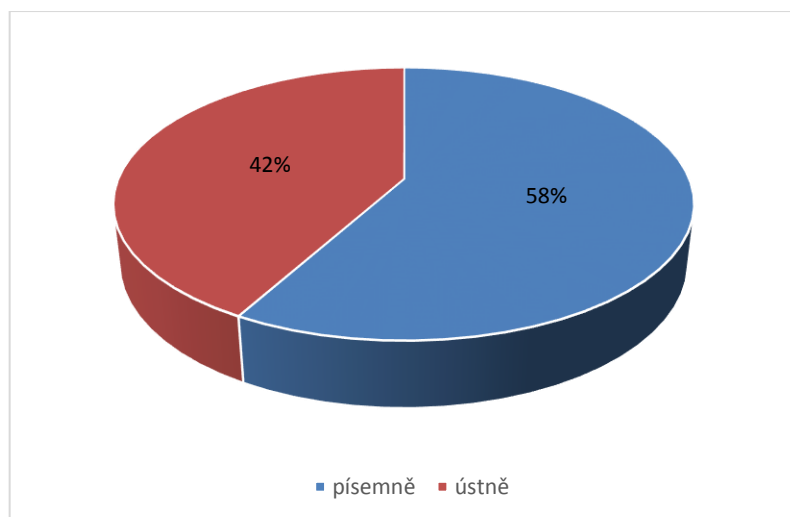
Celkem odpovědělo 48 respondentů, 35 respondentů (73 %) by uvítalo více informací o rizicích rentgenového vyšetření a 13 respondentů (27 %) odpovědělo, že nechce více informací o rizicích rentgenového vyšetření.



Obr. č. 44 Znázorňuje, zda by respondenti rádi obdrželi více informací o rentgenovém vyšetření. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

Jakou formou byste chtěli tyto informace získat?

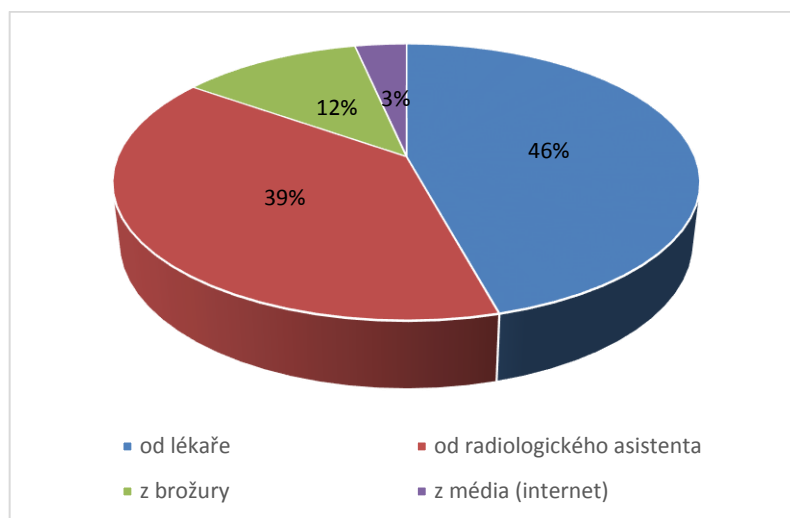
Celkem odpovědělo 50 respondentů. Někteří respondenti by tyto informace rádi získali písemnou i ústní formou. Nejvíce však převažovala písemná forma, a to v 36 odpovědích (58 %), zatímco ústní byla ve 26 odpovědích (42 %).



Obr.č. 45 Znáznorňuje formu podání informací. *Zdroj: Vlastní výzkum*

Od koho byste chtěli tyto informace získat?

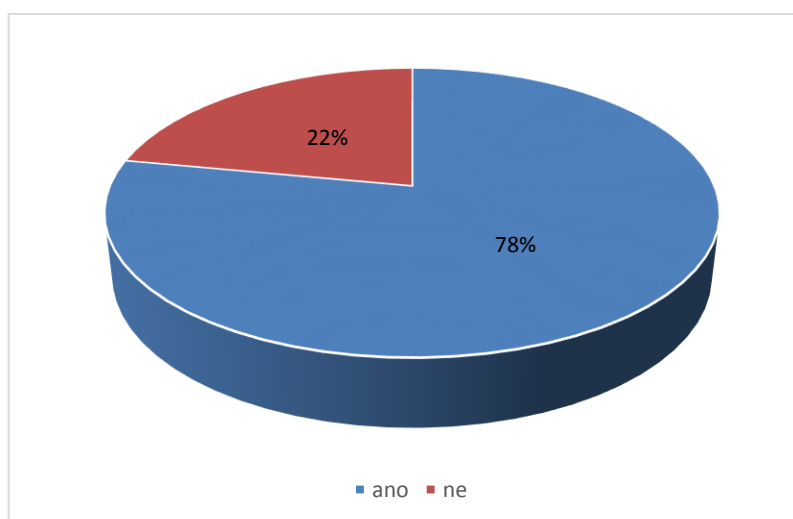
Celkem odpovědělo 49 respondentů. Nejčastěji by tyto informace obdrželi od indikujícího lékaře, a to v 27 odpovědích (46 %), dále by uvítali informace od radiologického asistenta, a to v 23 odpovědích (39 %), kombinaci informací od lékaře a radiologického asistenta by si přálo 10 respondentů. Z brožury by informace rádo obdrželo 7 respondentů (12 %) a z médií (internet) 1 respondent (3 %).



Obr.č. 46 Zobrazuje od koho by chtěli rodiče dětí získat informace o vyšetření. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

Měli byste zájem znát hodnotu dávek ze všech rtg vyšetření, které Vaše dítě podstoupilo?

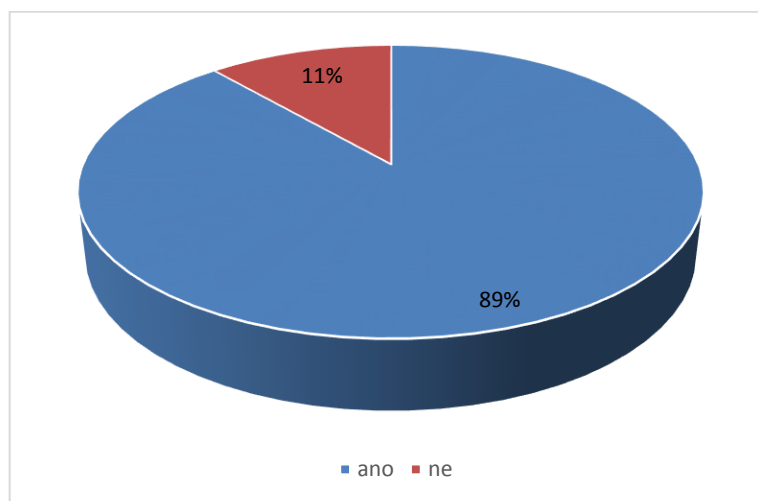
Celkem odpovědělo 50 respondentů, 39 respondentů (78 %) by mělo zájem znát hodnotu dávek ze všech rentgenových vyšetření, které jejich dítě podstoupí, a 11 respondentů (22 %) by zájem nemělo.



Obr.č.47 Znázorňuje zájem respondentů o celkovou obdrženou dávku při rentgenovém vyšetření jejich dítěte. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

Pokud jste odpověděli ano, chtěli byste, aby tato informace byla v dokumentaci Vašeho dítěte?

Celkem odpovědělo 44 respondentů, odpověď uvedli i ti, kteří v předchozím dotazu odpověděli ne. 39 respondentů (89 %) by chtělo mít informaci o celkové obdržené dávce v dokumentaci dítěte a 5 respondentů (11 %) by si to nepřálo.



Obr.č. 48 Znázorňuje, kolik respondentů by si přálo mít ve zdravotní dokumentaci dítěte obdrženou dávku při rentgenovém vyšetření. *Zdroj: Vlastní výzkum.*

4.3 Statistické šetření

Otázka č. 1 v statistickém šetření - jaké používáte ochranné pomůcky při snímkování dětských pacientů u odborníků. U laiků, byla otázka, které ochranné pomůcky byly využity. Tyto data jsem statisticky zpracovala, ale někteří z laiků na dotaz ohledně ochranných pomůcek odpověděli "Nevím". Tato pozorování bylo nutno vyloučit, protože žádný z odborníků tuto odpověď zaškrtnout nemohl. Ostatní hodnoty si můžete prohlédnout v grafu obrázku č. 25 a 39. Rozhodla jsem se použít chí-kvadrát test nezávislosti. Nejprve na tabulku po odstranění řádku "Nevím". Výsledek tohoto testu byl velice signifikantní (P-hodnota přibližně 0,00004), ovšem chí-kvadrát aproximace nemusí být přesná, protože u kombinace Laik-Jiné a Laik-Žádné jsou očekávané četnosti nižší než 5. (konkrétně 3 a 1,05 v tomto pořadí). Rozhodla jsem se tedy tyto odpovědi sloučit do kategorie "Ostatní". Laik si totiž nemusí všimnout některých konkrétních prvků jako je třeba ochranný límec či ochrana zraku a označit tak poté možnost "žádné". Díky tomu se počet kombinací s očekávanou hodnotou menší než 5 snížil na jednu ze šesti, což již podle Chrástka (50) postačuje a aproximace by měla dávat vhodné výsledky. Chi-kvadrát test po této úpravě dává stále vysoce signifikantní p-hodnotu 0,000026 a tedy hypotézu o nezávislosti můžeme zamítnout. Test nám říká, že v pohledu na ochranu u odborníků a u laiků jsou výrazné rozdíly už i v takto malém souboru pozorování. Laici mnohem častěji uvádí, že radiolog nepoužívá dostatečnou ochranu, než sami pracovníci.

Otázka č.2 – nyní mě zajímají rozdíly v tvrzení, které části těla byly snímkovány a případné rozdíly v tvrzení laické veřejnosti a odborníků, kteří tyto testy prováděly. Přesná data, ze kterých při testování vycházím jsou k vidění na obrázcích grafů č.26 a č.40 a v popisech k nim připojeným. Na první pohled vidím, že žádný laik neuvedl možnost "Břicho" či "Ostatní" a mám tedy důvodné podezření, že tento rozdíl bude statisticky významný. Toto je podpořeno zjištěním, že laici tvrdí, že snímkovány byly končetiny, přibližně dvakrát častěji než plíce či lebka, zatímco u odborníků jsou tyto rozdíly poměrně malé. Pokud bych se pokusila použít chí-kvadrát test jako minule, v těchto bodech narazím na nesplnění předpokladů: Očekávané četnosti budou příliš nízké pro

asymptotické testování. Používám tedy zřejmě slabší, ovšem obecnější dvouvýběrový Kolmogorov-Smirnovův test popsany v metodice.

Testová statistika d vyšla přibližně 0,857 a p -hodnota daného testu je 0,01. Mohu tedy tvrdit, že v tvrzeních laiků a odborníků jsou významné rozdíly.

5. Diskuze

Diskuzi rozdělím do tří částí nejprve na odpovědi odborníků, poté na odpovědi laiků, nakonec zpracuji společné otázky. Z výsledků dotazníkového šetření bylo zjištěno, že stávající postupy dodržování zásad radiační ochrany v pediatrii jsou na dobré úrovni, avšak je zde pár bodů, na které by bylo vhodné se zaměřit.

Jakou formou jste proškolení v oblasti radiační ochrany. V odpovědích se vyskytovali kombinace školení na pracovišti a v rámci studia – tuto kombinaci připisují tomu, že RA jsou dále vzdělávání v radiační ochraně v rámci specializace, díky které si zvyšují kvalifikaci pro daný obor, popř. si dodělávají další vysokoškolské vzdělání, kde se taktéž setkávají s radiační ochranou.

Jak často jste proškolení – proškolení v radiační ochraně se řídí vyhláškou o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje z roku 2016, kde je uvedeno, že znalost a způsobilost radiačního pracovníka k práci se zdroji IZ musí být ověřována se začátkem práce a poté v pravidelných intervalech, nejméně však jednou za rok a o zkoušce musí být proveden záznam (47). Celých 78 % uvedlo, že jsou proškolení jednou ročně – což odpovídá vyhlášce. 17 % odpovědělo, že neví, jak často jsou proškolení, což může odpovídat skutečnosti, že jsou ve fázi přípravy na výkon povolání. Zbýlých 5 % je proškolená pravidelně jednou za dva roky, jedná se pravděpodobně o pracovníky v jiné skupině pracujících s IZ. Příznivé je to, že jsou všichni pravidelně proškolení v oblasti radiační ochrany nejen na pracovišti, ale i při studiu, kdy se odborníci neustále vzdělávají a dochází k zvyšování kvalifikace (v rámci pracovní činnosti jsou to pro radiologické fyziky speciální semináře a kongresy, pro radiologické asistenty přednášky z radiační ochrany ať už v rámci pracoviště, tak různá sympozia radiologických asistentů).

Máte specializované pracoviště pro dětské pacienty, pouhých 19 % uvedlo, že mají specializované pracoviště pro dětské pacienty, což znamená, že dětské pacienty snímkuje společně s dospělými. Což přináší otázku, zda u všech pracovišť využívajících zdrojů ionizujícího záření pracujících s dětskými pacienty je samozřejmostí dodržování místních

diagnostických referenčních úrovní. Existuje zde zatím problém, jelikož chybí národní standard jako u dospělých pacientů. Jediným řešením je zpracování diagnostických referenčních úrovní z více pracovišť, kde se provádí lékařské ozáření u dětských pacientů a poté vypracování standardů na národní úrovni. V současnosti se na NDRÚ pracuje a zatím je jedinou pomůckou stanovení místních diagnostických referenčních úrovní (MDRÚ) a sledování SUJB, zda každé pracoviště se zaměřením na dětské pacienty tyto referenční úrovně má a zda jsou dodržovány a optimalizovány.

Jaký používáte rentgenový přístroj k diagnostickému vyšetření dětí, zde bych jen poznamenala, že je přínosem, že u pouhých 3 % pracovišť se využívá analogová skiografie, dle IAEA se použitím přímé nebo nepřímé digitalizace sníží výsledná obdržená dávka.

Kolik dosud mělo Vaše dítě rentgenových vyšetření? Největší skupinu tvoří rentgenová vyšetření v rozmezí 1 až 3 cca 54 %, další skupinou jsou 4 až 5 vyšetření, (18 %). Co mne překvapilo, bylo 5 a více vyšetření u dětí 8 respondentů (16 %). Což přináší otázku, zda byly dodrženy principy zdůvodnění a optimalizace, protože děti a mládež, jak jsem zmiňovala výše (kap. 1.2.3), jsou 3 – 10 krát citlivější na ionizující záření v porovnání s dospělými. (17) Vzhledem k tomu, že radiační ochrana vychází z toho, že jakákoliv dávka (stochastické účinky) může teoreticky vyvolat poškození a zda rozhodnutí využít ionizující záření mělo větší přínos než použití jiné metody. (47) K této otázce ještě připojím následující a to: Máte zájem, aby tato informace byla v dokumentaci Vašeho dítěte? Zde odpověděla převážná většina cca v 90%, že ano. Tato problematika by se dala vyřešit zapsáním vyšetření (případně obdržené dávky) do očkovacího průkazu nebo jsou dostupné (zatím v anglické verzi) brožurky, kde je vypsáno jméno dítěte, datum vyšetření, o jaké vyšetření se jednalo a kde se provádělo. Tato brožura by určitě snížila počet duplicitních vyšetření, takže by rodiče popř. lékaři měli přehled o dosud provedených vyšetřeních a jejich počtech.

Užití ochranných pomůcek – u odborníků i u laické veřejnosti – pozitivní je používání ochranných pomůcek pro dětské pacienty, otázkou je, zda jsou využívány správné velikosti ochranných pomůcek, aniž by byl poškozen výsledný obraz. Dle Frantzen (24)

a provedeného měření na gonády u dětských pacientů bylo prokázáno, že riziko poškození gonád je díky optimalizaci a snížení dávek velmi nízké. U starších chlapců můžeme polemizovat o riziku. Musíme tedy zvážit nutnost gonádové ochrany v případech, kdy je u dítěte riziko, že se dítě bude pohybovat, či riziko překrytí vyšetřované oblasti a následné opakování rtg, což přináší větší absorbovanou dávku. V statistickém šetření ovšem vyšlo najevo, že odborná veřejnost využívá více možnost použití ochranných pomůcek než laická. Domnívám se, že k tomuto došlo v případě, kdy si buď rodič nevšimnul použití pomůcky, popř. nebyl u vyšetření přítomen.

Informace o vyšetření – zda stačí ústní informace o vyšetření, kterou v první řadě místo indikujících lékařů podávají radiologičtí asistenti. Samozřejmě při specializovaných vyšetřeních dochází k vyplňování a podpisu informovaného souhlasu s vyšetřením – ten vyplňují zákonní zástupci dítěte, kde je vysvětleno, jak bude vyšetření probíhat (např. počítačová tomografie, vylučovací urografie). U většiny klasických skiagrafičtých vyšetření rodič (doprovázející osoba) nemá téměř žádné informace a zdůvodnění, proč se tato vyšetření provádí a zda je to nutné, tato role pak připadá radiologickému asistentovi, který v plném provozu ústně informuje rodiče. Samozřejmě rodiče odpovídají, že chtějí informace buď od lékaře či radiologického asistenta, ale je otázkou, zdali radiologický asistent správně zodpoví všechny otázky rodičů a spíše rodiče od vyšetření či od podezření na případnou diagnózu nezneklidní. Rodiče by uvítali písemné informace o jednotlivých modalitách radiologických vyšetření, které by si mohli během čekání na vyšetření, popř. v klidu domova rozmyslet.

Otázka u odborníků – která skiagrafičtá vyšetření u dětí provádíte nejčastěji – uváděli odborníci zaprvé snímky plic a končetin a za třetí snímky lebky. U rodičů – rodiče (laici) uvedli, že nejčastější vyšetření jsou snímky končetin, druhé snímky lebky a za třetí snímky plic. Tyto výsledky mi taktéž potvrdilo statistické šetření u dané otázky, kde se tyto rozdíly potvrdily. Dále jsem výsledky porovnala ze studií z roku 1996, kdy byla shrnuta frekvence pediatričtých radiologických vyšetření v ČR (38) a údaje hovoří, že na prvním místě stojí vyšetření končetin a kloubů, na druhém snímky hlavy a na třetím hrudník. Odlišnost je dle mého dána tím (i moje praxe to potvrzuje), že rodiče o snímkování plic u hospitalizovaných dětí na anestezió-resuscitačních odděleních a

jednotkách intenzivní péče nemají ani tušení. Dle novější francouzské studie zpracované v roce 2010 (36)

o dávkách ionizujícího záření v pediatrii, kde byly nejčastěji vystaveny ionizujícímu záření děti mezi 10. a 15. rokem a děti do jednoho roku věku, jsou nejčastějšími vyšetřeními snímky plic a pánve. A pouze jedno procento ze sledované populace bylo vystaveno CT vyšetření a v naprosté většině zde bylo prováděno CT hlavy a krku. (36) V další evropské studii (37) o sedmiletém výzkumu zobrazovacích metod v pediatrii byly výsledky následující – taktéž největší počet skiagrafií hrudníku měli děti do jednoho roku věku. (35) K nejčastějšímu zdůvodnění snímkování dětí do jednoho roku přikládám tomu, že jsou velmi často snímkovány nedonošené (nezralé) děti, kdy se snímkování provádí z důvodu nezralosti plicní tkáně a polohy umbilikálních katetrů.

Z hlediska radiační ochrany u laické veřejnosti jsou zde velké mezery, laická veřejnost byla informována o vyšetření, většinu informací získali od radiologických asistentů. Rádi by získali více informací od lékařů či radiologických asistentů. Větší zájem z řad laiků byl i o informaci dávky obdržené během vyšetření dítěte a zanesení do jeho zdravotnické dokumentace. Je otázkou, zda by případné obdržené dávky v dokumentaci přinesly v budoucnu nižší počet vyšetření ionizujícím zářením nebo by se vyhledávaly jiné modality (především ultrazvuk a magnetická rezonance).

5.1 Zvýšení povědomí o radiační ochraně v pediatrii

Dalším cílem mé diplomové práce bylo zvýšení znalosti o této problematice nejen mezi zdravotníky, ale i mezi rodiči dětí. Zvolila jsem vypracování brožury. Důvodem k vypracování bylo to, že SUJB má informační materiály k rentgenovému vyšetření, ale bohužel žádné pro dětské pacienty a jejich rodiče. Graficky je brožura zpracována barevně a jsou zde i obrázky, jak vypadá rentgenový přístroj a výsledný snímek. Co se týče informační náplně, je zde základní vysvětlení, co je to rentgen, jak vyšetření probíhá a jaký je důvod, jestli rentgenové vyšetření škodí, jak probíhá příprava, co se děje během vyšetření. Předpokládám, že si brožura časem najde cestu do ordinací pediatrů, kdy ji rodiče před vyšetřením obdrží a mohou si ji bez obav se svým dítětem pročíst a zbavit se případného strachu z vyšetření.

6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo posoudit znalosti jednotlivých zásad radiační ochrany u odborného personálu a rodičů dětských pacientů, zhodnocení možností a správnosti radiační ochrany na pracovištích se zaměřením na lékařské ozáření dětských pacientů. K tomuto jsem využila dotazníkového šetření, které bylo provedeno ve dvou verzích, a to v dotazníku pro rodiče a v dotazníku pro odborný personál.

Zjištění o stávající znalosti odborníků v radiační ochraně považuji za dostatečné. Laická veřejnost neobdržela téměř žádné informace o vyšetření nebo byli informováni radiologickým asistentem. Z dotazníku vyplývá, že rodiče by rádi obdrželi více informací o vyšetření, a to písemnou formou. Nadále by uvítali, kdyby se vyšetření ionizujícím zářením a výsledné dávky psaly do zdravotní dokumentace dítěte. Laická veřejnost nemá dostatek informací o radiační ochraně, skoro polovina uvedla, že neví, jestli byly využity ochranné pomůcky.

Výstupem této práce je brožura zhotovená pro rodiče nebo doprovázející osoby a děti, které se chystají na rentgenové vyšetření, kde najdou informace o tomto typu vyšetření. Brožura bude v brzké době k dispozici na radiodiagnostickém pracovišti Kliniky dětského a dorostového lékařství v Praze na Karlově a plánuje se tisk ve větším množství, jelikož nemocnice (Všeobecná fakultní nemocnice v Praze) má o tuto brožuru zájem. V případě zájmu i z jiných nemocnic nebo ambulancí pediatrů ráda brožuru poskytnu.

Většina rodičů nemá informace o vyšetření a lékař jim mnohdy z časových důvodů nemůže vyhovět a tuto roli zastávají poté radiologičtí asistenti. Byla bych ráda, aby dětem pomohla zbavit se strachu z neznámého vyšetření a rodičům přiblížila, jaké vyšetření mohou u svého dítěte očekávat. Největší výhodou brožury je, že obsahuje základní informace, v případě zájmu rodičů o více informací jim je podá radiologický asistent nebo se mohou obrátit na místní oddělení radiační ochrany.

7. Seznam použitých zdrojů

- 1, ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií, 2009. ISBN 978-80-7368-669-7
- 2, HÁLA, Jiří. *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. Brno: Konvoj, 1998. ISBN 80-85615-56-8.
- 3, HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. 1.vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 978-80-244-2350-0.
- 4, ŠVEC, Jiří. Radioaktivita a ionizující záření [online]. 1. vydání. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2005 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z WWW: <http://www.fbi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fbi/050/cs/sys/resource/PDF/>. ISBN 80-86634-62-0.
- 5, Státní úřad pro radiační ochranu. *Biologické účinky ionizujícího záření*. [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/biologicke-ucinky-ionizujiciho-zareni>.
- 6, FUKÁTKO, Tomáš. *Detekce a měření různých druhů záření*. 1.vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2007. Senzory neelektrických veličin. ISBN 978-80-7300-193-3.
- 7, PODZIMEK, František. *Radiologická fyzika: fyzika ionizujícího záření*. 1.vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05319-5.
- 8, BENEŠ, Jiří a kolektiv. *Základy lékařské biofyziky*. 2.přeprac.vydání. Praha: Karolinum, 2007. ISBN 978-80-246-1386-4.

9, SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. 1.vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.

10, KOLEK, Vítězslav, Viktor KAŠÁK a Martina VAŠÁKOVÁ. *Pneumologie*. 1. Praha: Maxdorf, c2011. Jessenius. ISBN 978-80-734-5255-1.

11, Neutronové záření::MEF.Fyzika::MEF [online]. Copyright © 2006 [cit. 23.04.2018]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/806-neutronove-zareni>.

12, VOMÁČKA, Jaroslav. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. Druhé, doplněné vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. ISBN 978-80-244-4508-3.

14, FERDA, Jiří, Hynek MÍRKA, Jan BAXA a Alexander MALÁN. *Základy zobrazovacích metod*. 1 vyd. Praha: Galén, 2015. ISBN 978-80-749-2164-3.

15, HYNKOVÁ, Ludmila a Pavel ŠLAMPA. *Radiační onkologie - učební texty*. Brno: Masarykův onkologický ústav, 2009. ISBN 978-80-867-9313-9.

16, Lucie Súpová: Něco málo o zobrazování a dávkách v radiodiagnostice, ale i mimo ni, aneb co by Vás mohlo zajímat.... *CT kurz IAEA – Přehled skenovacích parametrů* [online]. 2017 [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <http://www.sukupova.cz/>.

17, KLENER, Vladislav. *Principy a praxe radiační ochrany*. [1. vyd.]. Praha: Azin CZ, 2000. ISBN 80-23837036.

18, HUŠÁK, Václav. *Zdravotní rizika ionizujícího záření a ochrana před ním*. Olomouc: Univerzita Palackého, 1992. ISBN 80-70671092.

- 19, NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, ed. *Biofyzika v medicíně*. Praha: Manus, 2003. ISBN 80-86571033.
- 20, DANÍČKOVÁ, Kateřina — CHMELOVÁ, Daša — ROČEK, Miloslav. Optimalizace radiační zátěže a přizpůsobení radiologických přístrojů pro vyšetření dětí. *Česká radiologie*, 2014, roč. 68, č. 3, s. 212-218. ISSN: 1210-7883.
- 21, The Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics. *Radiation Protection Dosimetry*. 80, 1-3, 45-48, Jan. 13, 1998. ISSN: 0144-8420.
- 22, EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General XII: Science a EDITED BY M.M. KOHN ... [ET AL.]. *European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1996. ISBN 9282778436.
- 23, UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. *Effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 2006*. New York: United Nations, 2008. ISBN 9789211422702.
- 24, FRANTZEN, M. J. et al. Gonad shielding in paediatric pelvic radiography: Disadvantages prevail over benefit. *Insights into Imaging*, 3(1)2012. 2012, vol. 3, no. 1, s. 23-32. ISSN 1869-4101.
- 25, *Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation : BEIR VII Phase 2*. Washington, D.C.: National Academies Press, c2006. ISBN isbn978-0-309-09156-5.
- 26, MAHESH, Mahadevappa. *The essential physics of medical imaging, third edition*. United States: American Association of Physicists in Medicine, 2013. 077301-n/a s. ISBN 0094-2405.

27, KOHN, M. M. et al. (edc), EUR 16261 - European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatrics. In: European Commission. [online]. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1996. ISBN 92-827-7843-6.

28, EuroSafe Imaging Together - for patient safety. *EuroSafe Imaging Together - for patient safety* [online]. Dostupné z: <http://www.eurosafeimaging.org/ask-eurosafe-%20imaging/tips-tricks/paediatric-imaging>.

29, HOJREH, Azadeh, Michael WEBER a Peter HOMOLKA. Effect of staff training on radiation dose in pediatric CT. *European Journal of Radiology*. 2015, vol. 84, no. 8, s. 1574.

30, PROGRAM OSN PRO OCHRANU ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. *Ionizující záření účinky a zdroje*, 2016. Česká Republika. ISBN: 978-92-807-3600-7.

31, THIERRY-CHEF, Isabelle et al. Assessing organ doses from paediatric CT scans--a novel approach for an epidemiology study (the EPI-CT study). *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2013, vol. 10, no. 2, s. 717-728. ISSN 1660-4601;1661-7827.

32, SÚKUPOVÁ, Lucie. *Radiační ochrana při rentgenových výkonech - to nejdůležitější pro praxi*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0709-4.

33, ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření*. [online]. 2018[cit. 2018-03-08]. Dostupné z <http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm#3>.

34, Radiobiologie | Obsah. Radiobiologie | Obsah [online]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/>.

35, PEARCE, M. S., SALLOTTI, J. A., LITTLE, M. P., MC HUGH, K., LEE, C., Kim, K. P., ... de González, A. B. (2012). Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet*, 380(9840), 499–505. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60815-0](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60815-0).

36, ETARD, C., AUBERT, B., MEZZAROBBA, M. and BERNIER, M. Exposure of the French Paediatric Population to Ionising Radiation from Diagnostic Medical Procedures in 2010. *Pediatric Radiology*, 12, 2014, vol. 44, no. 12. pp. 1588-1594 ProQuest Central. ISSN 03010449. DOI <http://dx.doi.org/10.1007/s00247-014-3065-2>.

37, PORTELLI, J.L., MCNULTY, J.P., BEZZINA, P. and RAINFORD, L. Frequency of Paediatric Medical Imaging Examinations Performed at a European Teaching Hospital Over a 7-Year Period. *European Radiology*, 12, 2016, vol. 26, no. 12. pp. 4221-4230 ProQuest Central. ISSN 09387994. DOI <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-016-4305-7>.

38, HUŠÁK, Václav, Karla PETROVÁ a Miroslav HEŘMAN. Radiační zátěž a radiační riziko spojené s radiodiagnostickými a nukleárně medicínskými postupy v pediatrii: 31. Český radiologický kongres. II. Vyžádaná sdělení. 3. Pediatrická radiologie. Olomouc, 17.-19.9.1998. *Česká radiologie*. 1998, 52(Suppl. 1), 83-89. ISSN 1210-7883.

39, WORLD HEALTHY ORGANIZATION, *Communicating radiation risks in paediatric imaging*. WHO, 2016. ISBN 978 92 4 151034 9. Dostupné z: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/205033/9789241510349_eng.pdf?sequence=1.

40, CONNOLLY, B., RACADIO, J. and TOWBIN, R. Practice of ALARA in the Pediatric Interventional Suite. *Pediatric Radiology*, [online] [cit. 2018-6-20] 09, 2006, vol. 36. pp. 163-7 ProQuest Central. [online] ISSN 03010449. DOI <http://dx.doi.org/10.1007/s00247-006-0192-4>.

41, Princip vzniku RTG záření v rentgence, ČVUT, [online] [cit. 2018-3-10] Dostupné z: http://www.rtg.fbmi.cvut.cz/index.php%3Foption=com_content&view=article&id=56&Itemid=62.html >

42, Fotoelektrický jev. Wikipedie. [online] [cit. 2018-3-11] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotoelektrick%C3%BD_jev.

43, Comptonův rozptyl. Wikiskripta. [online] [cit. 2018-3-11] Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Compton%C5%AFv_rozptyl.

44, RAŠKA, Ivan. Buněčné jádro. *Vesmír*. 2000, 79/130(10), 563-572. ISSN 0042-4544.

45, Nuclear and Radiation studies board. The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicinehttp. [online] [cit. 2018-6-9] Dostupné z: <http://dels.nas.edu/global/nrsb/rerffindings>.

46, ImPACT's ct dosimetry tool, [online] [cit. 2018-6-20] Dostupné z: <http://www.impactscan.org/ctdosimetry.htm>.

47, ČESKO. fragment #f5984768 vyhlášky č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 1. 8. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422#f5984768>.

48, Používání rentgenů - lékařské ozáření - Zajímavosti z praxe radiační ochrany - Radiační ochrana - Úvod - SÚJB. [online]. [cit. 1. 8. 2018]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/zajimavosti-z-praxe-radiacni-ochrany/pouzivani-rentgenu-lekarske-ozareni/>

49,ZÁŠKODNÝ, Přemysl,HAVRÁNKOVÁ, Renta, HAVRÁNEK,Jiří a VURM, Vladimír. *Základy statistiky (s aplikací na zdravotnictví)*. Praha, Česká Republika: Curriculum, 2016. ISBN 978-80-87894-12-5.

50, CHRÁSKA, M. *Úvod do výzkumu v pedagogice: Základy kvantitativně orientovaného výzkumu*. Olomouc:Vydavatelství Univerzity Palackého, 2003. ISBN 80-244-0765-5.

8. Seznam zkratek

ALARA	tak nízké, jak je rozumně dosažitelné (As Low As Reasonably Achievable)
ANO	akutní nemoc z ozáření
CR	nepřímá digitalizace
CT	počítačová tomografie (computed tomography)
DR	přímá digitalizace (digitální radiografie)
DRÚ	diagnostická referenční úroveň
IAEA	Mezinárodní agentura pro atomovou energii (International atomic energy agency)
IARC	Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny (International agency research on cancer)
IRCP	Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu (International Commission on Radiological Protection)
IZ	ionizující záření
LO	lékařské ozáření
MDRÚ	místní diagnostická referenční úroveň
MR	magnetická rezonance
NDRÚ	národní diagnostická referenční úroveň
RA	radiologický asistent
rtg	rentgen
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost.
SÚRO	Státní úřad pro radiační ochranu
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Raditation
US	ultrazvuk

9. Seznam obrázků a tabulek

Tabulka č. 1 Stručný přehled biologických účinků záření.....	20
Obrázek č.1 Brzdné záření.....	12
Obrázek č.2 Charakteristické záření.....	13
Obrázek č.3 Spektrum rentgenového záření.....	13
Obrázek č.4 Fotoefekt.....	14
Obrázek č.5 Comptonův rozptyl.....	15
Obrázek č.6 Buněčný cyklus.....	19
Obrázek č.7 Závažnost poškození deterministickými účinky.....	23
Obrázek č.8 Vyznačení nárůstu počtu úmrtí v závislosti na věku, v kterém byl vystaven ionizujícímu záření.....	25
Obrázek č.9 Rentgenka.....	33
Obrázek č.10 Princip skiografie.....	34
Obrázek č.11 Princip skiaskopie.....	35
Obrázek č.12 Princip počítačové tomografie.....	36
Obrázek č.13 Závislost odezvy detektoru na dopadající kermě.....	42
Obrázek č.14 Úvodní okno do programu PCXMC.....	45
Obrázek č.15 Okno programu ImPACT CT.....	45
Obrázek č.16 Gonádová ochrana různých velikostí.....	47
Obrázek č.17 Dětské ochranné zástěry různých velikostí.....	47
Obrázek č.18 Fixační pomůcky pro novorozence a kojence.....	48
Obrázek č.19 Zastoupení pohlaví respondentů.....	52
Obrázek č.20 Věkové zastoupení u odborníků.....	53
Obrázek č.21 Zastoupení odborností v dotazníku.....	54
Obrázek č.22 Znázornění formy proškolení v radiační ochraně.....	54
Obrázek č.23 Znázorňuje četnost v proškolení v radiační ochraně.....	55
Obrázek č.24 Dotaz na specializované pracoviště pro dětské pacienty.....	56
Obrázek č.25 Využití skiagrafičeských přístrojů na pracovištích.....	56

Obrázek č.26 Četnost vyšetření u dětských pacientů.....	57
Obrázek č.27 Využití ochranných pomůcek při snímkování dětských pacientů.....	58
Obrázek č.28 Znázorňuje odpovědi na otázku, zda mají ochranné pomůcky významný vliv na radiační riziko u dětí.....	59
Obrázek č.29 Uvádí, zda informují doprovod o škodlivosti rentgenového záření.....	59
Obrázek č.30 Způsob informování doprovodu o škodlivosti rentgenového záření.....	60
Obrázek č.31 Znázorňuje, zda jsou odborníci schopni odhadnout celkovou dávku u dětských pacientů.....	61
Obrázek č.32 Procentuální zastoupení odpovědí, zda by odborníci přivítali informační brožuru pro rodiče dětí.....	62
Obrázek č.33 Zastoupení respondentů dle pohlaví.....	63
Obrázek č.34 Věkové zastoupení respondentů.....	64
Obrázek č.35 Grafické znázornění laiků, odborníků v radiodiagnostice, jiný zdravotnický pracovník.....	65
Obrázek č.36 Vzdělání respondentů.....	66
Obrázek č.37 Věkové zastoupení dětí laiků.....	67
Obrázek č.38 Počet vyšetření u dětí respondentů.....	68
Obrázek č.39 Počet vyšetření na jednotlivých modalitách.....	69
Obrázek č.40 Druh vyšetření, které dítě v rámci rentgenového vyšetření podstoupilo...	70
Obrázek č.41 Využití ochranných pomůcek během rentgenového vyšetření.....	71
Obrázek č.42 Znázorňuje, zda respondenti byli dostatečně informováni o vyšetření....	72
Obrázek č.43 Zobrazuje, kdo informuje rodiče dětí o vyšetření.....	73
Obrázek č.44 Znázorňuje, zda by respondenti rádi obdrželi více informací o rentgenovém vyšetření.....	73
Obrázek č.45 Znázorňuje formu podání informací.....	74
Obrázek č.46 Zobrazuje od koho by chtěli rodiče dětí získat informací o vyšetření.....	75
Obrázek č.47 Znázorňuje zájem respondentů o celkovou obdrženou dávku při rentgenovém vyšetření jejich dítěte.....	75
Obrázek č.48 Znázorňuje, kolik respondentů by si přálo mít ve zdravotní dokumentaci dítěte obdrženou dávku při rentgenovém vyšetření.....	76

10. Přílohy

Dotazník pro odborníky

Dobrý den,

jsem studentka Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a v rámci mé diplomové práce, bych Vás chtěla poprosit o účast v dotazníkové studii, jejímž cílem je zjistit, jaká je informovanost o radiační zátěži a o samotných radiologických vyšetřeních.

Tímto Vás prosím o souhlas s anonymním zpracováním dotazníků a s publikováním anonymních výsledků (v souladu se zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů).

Alena Válková

1. Jste

muž

žena

2. Kolik je Vám let

3. Jsem

radiologický asistent

lékař radiodiagnostik

indikující lékař

fyzik

4. Jakou formou jste školeni v oblasti radiační ochrany?

- e-learning
- v rámci studia
- školení na pracovišti

5. Jak často jste školeni v oblasti radiační ochrany?

- 1 x ročně
- 1x za dva roky
- nevím

6. Máte specializované pracoviště pro dětské pacienty?

- ano
- ne

7. Jaký používáte RTG přístroj k diagnostickému vyšetření dětí?

- přístroj s přímou digitalizací
- přístroj s nepřímou digitalizací
- analogový přístroj (film)

8. Jaká nejčastější vyšetření u dětských pacientů provádíte? Prosím odpovězte od 1 do 5, kdy 1 znamená nejčastěji a 5 nejméně.

- rentgen plic
- rentgen břicha
- rentgen páteře
- rentgen horních končetin
- rentgen dolních končetin
- rentgen pánve

9. Jaké používáte ochranné pomůcky při snímkování dětských pacientů?

- olověná zástěra
- krytí gonád
- jiné speciální ochranné pomůcky (prosím vypište jaké)
- žádné

10. Myslíte si, že mají ochranné pomůcky významný vliv na radiační riziko u dětí ?

- ano
- ne

11. Informujete doprovod o škodlivosti rentgenového záření?

- ano
- ne

11. Jestliže ano, jakým způsobem

- ústně
- informovaným souhlasem
- brožurou
- e-mail

11. Dokážete odhadnout celkovou dávku u dětských pacientů při rentgenu hrudníku?

- ano
- ne

12. Uvítali, byste informační brožuru pro rodiče o rentgenovém vyšetření, které by obdrželi v ordinaci indikujícího lékaře, popř. na Vašem oddělení?

- ano
- ne
- nevím

Děkuji za vyplnění dotazníku.

Dotazník pro laickou veřejnost

Dobrý den,

jsem studentka Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a v rámci mé diplomové práce, bych Vás chtěla poprosit o účast v dotazníkové studii, jejímž cílem je zjistit, jaká je informovanost o radiační zátěži a o samotných radiologických vyšetřeních.

Tímto Vás prosím o souhlas s anonymním zpracováním dotazníků a s publikováním anonymních výsledků (v souladu se zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů).

Bc. Alena Válková, DiS.

1. Jste

muž

žena

2. Kolik je Vám let

3. Jsem

laik

odborník v radiodiagnostice (radiologický asistent, lékař radiodiagnostik, fyzik)

jiný zdravotnický pracovník (lékař, zdravotní sestra, zdravotní asistent, farmaceut....)

4. Jaké je Vaše nejvyšší dosažené vzdělání ?

- základní
- vyučen(a)
- středoškolské
- vysokoškolské
- nechci uvádět

5. Věk dítěte?

6. Kolik dosud mělo Vaše dítě rentgenových vyšetření (je tím myšleno i CT, rentgen, skiaskopie) ?

- 1-3
- 4-5
- 5 a více
- nevím, nepamatuji si

7. Pamtujete si, jaké vyšetření to bylo a čeho se týkalo? (např. rentgen hlavy, CT (počítačová tomografie – plic)

- rentgen (prosím, vypište jaké části)
- skiaskopie (prosím, vypište)
- počítačová tomografie (CT) – (prosím, vypište)
- nevím, nepamatuji se

8. Které ochranné pomůcky byly použity při rentgenovém vyšetření?

- olověná zástěra
- krytí gonád
- jiné speciální ochranné pomůcky
- žádné
- nevím

9. Máte pocit, že jste dostali dostatek informací před vyšetřením (průběh, škodlivost)?

- ano
- ne

10. Od koho jste tyto informace obdrželi?

- radiologický asistent
- lékař indikující vyšetření
- lidé v čekárně
- internet
- jiný nemocniční personál (sestra, sanitář)
- žádné informace jsem neobdržel(a)

11. Chtěli byste více informací o rizicích rentgenového vyšetření ?

- ano
- ne

12. Jakou formou byste chtěli tyto informace získat?

písemně

ústně

13. Od koho byste chtěli tyto informace získat?

od lékaře

od radiologického asistenta

z brožury

z média (internet)

14. Měli byste zájem znát hodnotu dávek ze všech rtg vyšetření, které Vaše dítě podstoupilo?

ano

ne

15. Pokud jste odpověděli ano, chtěli byste, aby tato informace byla v dokumentaci Vašeho dítěte?

ano

ne

nevím

Děkuji za vyplnění dotazníku.

11. Brožura „Jdeme na rentgen“

Brožura se nachází v zadní části diplomové práce.