

Diagnostická vyšetření využívající ionizující záření a návrh opatření ke snížení rizik

Bc. Karolína Zatloukalová

Diplomová práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení
Ústav environmentální bezpečnosti

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Karolína Zatloukalová**
Osobní číslo: **L21134**
Studijní program: **N1032A020002 Bezpečnost společnosti**
Specializace: **Environmentální bezpečnost**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Diagnostická vyšetření využívající ionizující záření a návrh opatření ke snížení rizik**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši zabývající se kumulací dávek ionizujícího záření při diagnostických vyšetřeních a možná rizika.
2. Analyzujte možná rizika při kumulaci dávek v diagnostických vyšetřeních na základě získaných dat.
3. Vyhodnoťte potenciální rizika na základě získaných dat.
4. Navrhněte opatření vedoucí ke snížení případných rizik.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. GRUPEN, Claus a Mark RODGERS. *Radioactivity and Radiation: What They Are, What They Do, and How to Harness Them*. Imprint: Springer, 2016. ISBN 978-3-319-42329-6.
2. ONDŘEJ, Vladan. *Základy radiobiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013. ISBN 978-80-244-3426-1.
3. PODZIMEK, František. *Radiologická fyzika*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2021. ISBN 978-80-01-06900-4.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Vladimír Adamec, CSc.**
Ústav environmentální bezpečnosti

Datum zadání diplomové práce: **1. prosince 2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. dubna 2023**

L.S.

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

doc. Ing. Pavel Valášek, CSc. LL.M.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 2. prosince 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne: 28.4.2023

Jméno a příjmení studenta: Bc. Karolína Zatloukalová

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diagnostická vyšetření s použitím ionizujícího záření jsou běžnou součástí při komplexních vyšetřeních a léčbě pacientů. V současné době se však dostatečně nebere zřetel na počet těchto vyšetření a lékaři nejsou ani dostatečně upozorňováni na množství vyšetření s pomocí ionizujícího záření. Diplomová práce se zabývá hodnocením rizik spojených s kumulací dávek při diagnostických vyšetřeních, jež je možné využít v klinické praxi, kde by bylo vhodné tyto vyšetření evidovat. Dávky se sčítají tudíž vzniká riziko, že dávky přesáhnou hranici možné dávky na orgány a je poté na zvážení, zda použít metodu s ionizujícím zářením či zvolit metodu, která nezatíží organismus člověka. Výsledkem práce je návrh opatření, jak předcházet a evidovat vyšetření kumulace dávek a popřípadě jaké jiné postupy zvolit.

Klíčová slova: ionizující záření, diagnostická vyšetření, rizika, kumulace dávek

ABSTRACT

Diagnostic examinations using ionizing radiation are a common part of complex examinations and treatment of patients. At present, however, the number of these examinations is not sufficiently taken into account, and doctors are not sufficiently warned about the number of examinations with the help of ionizing radiation. The diploma thesis deals with the assessment of risks associated with the accumulation of doses during diagnostic examinations, which can be used in clinical practice, where it would be appropriate to record these examinations. The doses are added together, so there is a risk that the doses exceed the limit of the possible dose to the organs and it is then up to consideration whether to use a method with ionizing radiation or choose a method that does not burden the human body. The result of the work is a proposal of measures to prevent and record the examination of cumulation doses and, if necessary, what other procedures to choose.

Keywords: ionising radiation, diagnostic examinations, risks, cumulation of doses

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Vladimírovi Adamcovi, CSc. za ochotu, cenné rady, trpělivost a odborné vedení, při zpracování této práce.

Také bych chtěla poděkovat panu Ing. Lubošovi Seidlovi za zapůjčení softwaru.

Současně bych také chtěla poděkovat svojí rodině za podporu a trpělivost, kterou mi poskytovali po celou dobu tvorby mé práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	9
CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 VLIV IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA LIDSKÝ ORGANISMUS A MOŽNÁ RIZIKA	13
1.1 IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ.....	13
1.2 BIOLOGICKÉ ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.....	14
1.2.2 Deterministické a stochastické účinky	15
1.3 DETEKCE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ.....	18
1.4 RADIČNÍ OCHRANA	20
1.5 LEGISLATIVA.....	23
2 DIAGNOSTICKÁ VYŠETŘENÍ VYUŽÍVAJÍCÍ IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ.....	25
2.1 RENTGEN.....	25
3.1 HODNOCENÍ DÁVEK PACIENTA	36
3.2 REGULACE LÉKAŘSKÉHO OZÁŘENÍ.....	37
3.3 INFORMOVANOST PACIENTA	38
3.4 MEZINÁRODNÍ SPOLUPRÁCE.....	39
DÍLČÍ ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI.....	40
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	41
4 SOUČASNÝ STAV V OBLASTI EVIDENCE PACIENTSKÝCH DÁVEK V ČESKÉ REPUBLICE	42
4.1 FOMEI S.R.O.....	43
4.2 SOFTWARE PRO EVIDENCI PACIENTSKÝCH DÁVEK MEDSQUARE RDM.....	43
4.3 PRÁVO NA ZOBRAZENÍ INFORMACÍ V SOFTWARE.....	49
5 POSOUZENÍ RIZIK PŘI DIAGNOSTICKÝCH VYŠETŘENÍCH UŽÍVAJÍCÍ IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ.....	50
5.1 PŘÍKLADY RIZIK SPOJENÝCH S KUMULACÍ DÁVEK IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ Z DIAGNOSTICKÝCH VÝKONŮ	50
5.2 STANOVENÍ POSUZOVANÝCH RIZIK	55
5.3 ISHIKAWA DIAGRAM.....	56
5.4 VYHODNOCENÍ RIZIK ZA POMOCI METODY PNH PRO RIZIKA SPOJENÁ S DIAGNOSTICKÝMI VYŠETŘENÍMI UŽÍVAJÍCÍ IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ A KUMULACÍ DÁVEK.....	58
5.5 HODNOCENÍ UŽIVATELSKÉ PŘÍVĚTIVOSTI SOFTWARE ZA POMOCÍ SWOT ANALÝZY.....	65

6	NÁVRH OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ RIZIK SPOJENÝCH S DIAGNOSTICKÝMI VÝKONY UŽÍVAJÍCÍ IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ.....	69
	ZÁVĚR	72
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	74
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK.....	81
	SEZNAM GRAFŮ	82

ÚVOD

Ionizující záření je všude kolem nás. Působí na nás z živé i neživé přírody. Je součástí kosmického záření, které na nás dopadá dennodenně. Pokud člověk letí letadlem zvyšuje se nepatrně jeho radiační zátěž právě již ze zmíněného kosmického záření. Od počátku věků jsou radioaktivní materiály obsažené i v zemské kůře a zemském jádru. Tyto expozice obyvatelstva nelze ovlivnit, proto přírodní zdroje tvoří největší podíl na ozáření lidstva, a to průměrně dávkou okolo 2,4 mSv ročně na jednotlivce. V půdě se vyskytuje ještě jeden zdroj zatěžující obyvatelstvo zářením, a tím je radioaktivní plyn radon. Tento plyn může díky špatnému podloží unikat a zatěžovat tak populaci. Proto jsou nutné posudky o podloží, pokud se již radon na pozemku nachází jsou nutné stavební úpravy, aby docházelo k dobrému a dostačujícímu odvětrávání. Dalším zdrojem radionuklidů jsou též potravina a nápoje. Tyto radionuklidy přecházejí z neživé přírody do živé a mohou tak kontaminovat vodu i potravu. Je obecně známo, že zvýšený počet radionuklidů obsahují mořské ryby, měkkýši a díky tomu v návaznosti na tento typ stravování jsou lidé živící se mořskou stravou více zatěžováni dávkou z těchto zdrojů. Dalším takovým příkladem jsou severské země, ve kterých je běžnou součástí potravy maso ze sobů. Sobi požívají lišejníky, které absorbují radionuklidy z půdy a zvyšuje se tak radiační zátěž soba a díky tomu i lidí, kteří maso pozřou.

V posledních desetiletích došlo k obrovskému rozvoji na poli umělých zdrojů záření. To se využívá od vojenské aplikace, průmyslovou výrobu, přes výrobu elektrické energie až po užití v domácnostech jako například součást požárního detektoru. V neposlední řadě se ionizujícího záření využívá v lékařství. Lékařství se velkou měrou podílí na celosvětové radiační zátěži. Používá se vnitřní i vnější cestou. Vnitřní způsob ozáření se využívá v nukleární medicíně, kde se radionuklidy aplikují přímo do těla pacienta a ten se stává zdrojem záření. Toto záření je poté snímáno detektory, výsledný snímek je vyhodnocen lékařem specialistou. Vnitřní ozáření se též užívá v onkologické léčbě za pomoci brachyterapie, kde dochází k vnitřnímu ozáření v tělních dutinách či na kůži. Nejvíce se ionizující záření používá vnějším způsobem, kde záření působí na člověka z venku z umělého zdroje, kterým je nejčastěji rentgenka a pro onkologické účely lineární urychlovač. Tímto způsobem se ročně ozáří miliony lidí. Některá vyšetření se provádí opakovaně nebo jsou užity jiné druhy vyšetření s použitím ionizujícího záření, a tak dochází ke kumulaci dávek. V současnosti neexistuje povinná evidence těchto dávek. Eviduje se pouze dávka kolektivní.

Evidencí dávek zaměřených na konkrétního pacienta se zabývá software RDM od společnosti Fomei s.r.o., který byl zapůjčen nemocničnímu zařízení v rámci diplomové práce. Tento software je schopen evidovat individuální dávku získanou ze všech diagnostických vyšetření i z nukleární medicíny, také dokáže nemocniční personál upozornit, že došlo k překročení limitů a mělo by se přistoupit, pokud možno k jiné metodě bez použití ionizujícího zařízení, aby se jeho dávka ještě více nekumulovala a předcházelo se tak vzniku stochastických účinků záření.

CÍL PRÁCE A POUŽITÉ METODY

Cílem práce je vytvoření návrhu, jak a co nejlépe optimalizovat rizika spojená s diagnostickými výkony užívající ionizující záření. Tato doporučení budou užita v příručce pro personál pracující na diagnostickém oddělení.

Jako první metoda bude použit Ishikawa diagram pro odhalení příčin a následků spojených s danými riziky problematiky. Ty budou dále řešeny za pomoci polokvantitativní PNH metody, kde jsou na uvedené rizika navrženy opatření. Dále bude zpracována SWOT analýza na uživatelskou přívětivost použitého softwaru, kde se vyhodnotí, s jakou strategií má šanci tento software na trhu.

V závěru práce budou uvedena, jaká vhodná opatření vedou ke snížení rizik a bude vypracována příručka pro personál, aby se co nejlépe využil potenciál softwaru v nemocničním prostředí a napomohl tak minimalizovat rizika kumulace dávek z diagnostických vyšetření.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VLIV IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA LIDSKÝ ORGANISMUS A MOŽNÁ RIZIKA

Ve 20. století došlo k objevu umělé radioaktivity, a poté k jejímu hojnému využívání v lékařství, jak už k diagnostickým, tak terapeutickým účelům. Rentgenové i radioaktivní záření mají vliv na negativní změny v lidském organismu a v nadměrném množství i letální následky. V medicíně má ionizující záření velký význam ať už v terapeutických výkonech či v diagnostice (Beneš, et. al., 2015).

1.1 Ionizující záření

Jedná se o vysokoenergetické záření, které je schopno ionizovat atomy nebo molekuly. To znamená, že má dostatečnou energii na vyražení elektronu. Ionizující záření se nachází v přírodním prostředí ve formě například radonu či kosmického záření. V umělé formě jsou jeho zdrojem rentgenky v terapeutických a diagnostických přístrojích či lineární urychlovače a cyklotrony (Vomáčka, et.al., 2015).

Záření se dělí na přímo ionizující, které je korpuskulární = částicového charakteru – elektrony, protony, částice alfa, těžké ionty, tyto částice nesou elektrický náboj. Nepřímo ionizující – neutrony, fotony rentgenového záření a fotony záření gama, které nenesou elektrický náboj.

Ve tkáních dochází ke třem možným procesům:

- Fotony záření procházejí bez interakce, tzn. nedochází k jejich rozptylu ani absorpci.
- Fotony jsou zastaveny na své dráze a předají veškerou svou energii elektronům v obalu atomu (= atom je ionizován) a dojde k jejich úplné absorpci **fotoefektem**.
- Fotony změni svůj směr a ztratí část své energie na elektronech v obalu při **Comptonově rozptylu** (= atom je taktéž ionizován). Zde se jedná o částečnou absorpci energie fotonů.

Zda dojde k jednomu ze tří uvedených procesů, závisí na energii fotonu záření. Fotoefekt a rozptyl způsobují zeslabení svazku záření, kde se odstraňují fotony z primárního svazku a zároveň to vede k úplné či částečné absorpci energie rentgenového nebo gama záření ve tkáni (Koranda, et.al., 2017).

1.2 Biologické účinky ionizujícího záření

Vždy závisí na druhu záření, velikosti aplikované dávky a také na charakteru orgánů a tkání v exponované oblasti. Každé ozáření by mělo být pro pacienta přínosné, vzhledem k riziku poškození ozářených tkání.

Pro určování míry rizika při diagnostických a intervenčních výkonech a pro vzájemné porovnání účinků rozličných způsobů ozáření, se využívají dvě důležité veličiny – ekvivalentní dávka a efektivní dávka. Obě vycházejí z definice absorbované dávky D , kde se jedná o množství energie absorbované v tkáni nebo orgánu na jednotku hmotnosti. Její rozměr je joule na kilogram ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$) nebo také gray (Gy), platí tedy $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$. Jelikož je gray poměrně velká jednotka, tak se běžně v diagnostice užívají miligray či mikrogray (Koranda, et.al., 2017).

Ekvivalentní dávka H_T je součin radiačního váhového faktoru w_R a střední absorbované dávky $D_{T,R}$ v orgánu nebo tkáni T pro ionizující záření typu R . Jednotkou je sievert–Sv (Národní zdravotnický informační portál, 2023).

Efektivní dávka E je součet ekvivalentních dávek jednotlivých tkáních a orgánech násobený tkáňovým váhovým faktorem w_T , který vyjadřuje rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání z hlediska pravděpodobnosti vzniku stochastických účinků (© Program OSN pro ochranu životního prostředí, 2016).

Kolektivní dávka je dávka při sečtení všech efektivních dávek populace nebo skupiny lidí a vyjadřuje se v jednotkách man-sievert (man Sv), kde je roční kolektivní dávka na úrovni světové populace asi 19 milionů man Sv, a to odpovídá roční průměrné dávce 3 mSv (miliSievert) na jednotlivce.

V lékařství se používá ještě jednotka Roentgen (R), která odpovídá 8.8 mGy a popisuje čistou fyzickou absorpci energie. Tyto jednotky nelze snadno převést na biologický účinek záření (Gruppen, Rodgers, 2016).

Radiační hormeze je teorie, kde vystavení biologických systémů včetně člověka nízkým dávkám záření má pozitivní charakter. Tato teorie je předmětem rozsáhlého výzkumu. Předpokládá se, že nízké dávky mají pozitivní charakter například na reparaci DNA a stimulaci imunitního systému. V několika studiích byl prokázán pozitivní účinek ovšem některé studie prokázaly i negativní či inhibující procesy. Tato teorie je předmětem

zkoumání díky tomu, že přesné účinky při nízkých dávkách záření ještě nejsou známy (Baldwin, Grantham, 2015).

1.2.1 Přímé a nepřímé účinky

Při přímém účinku ionizujícího záření se bezprostředně energie absorbuje v jádře buňky. Díky tomu dochází ke změnám chemických vazeb a inaktivaci a rozpadu molekuly. Přímý účinek se převážně projevuje u molekul s nízkým obsahem vody.

U nepřímého účinku záření dochází k radiolýze vody a tvorby agresivních volných radikálů, kvůli kterým dochází k poškození důležitých molekul. Vysoký obsah vody v biologickém prostředí zapříčiňuje absorpci záření. Rovněž přítomnost kyslíku se velkou měrou podílí na radiosenzitivitě, což je citlivost na záření (Havránková, et.al., 2020).

1.2.2 Deterministické a stochastické účinky

- Deterministické účinky jsou nejstarší známé působení ionizujícího záření na lidský organismus. Lze je klinicky prokázat. Tyto účinky jsou způsobeny v důsledku velkého množství odumření ozářených buněk, nebo ztrátou schopnosti buňky se dělit. Je pro ně charakteristické:
 - mají prahové účinky, to znamená, že se projeví až po překročení určité hodnoty dávky,
 - po překročení prahu, roste míra poškození s velikostí dávky,
 - poškození je na ozářených místech organismu – má lokální charakter,
 - organismus je odolnější na protražované dávky (tzn. menší dávky v delším časovém sledu – týdny, měsíce, roky), a je méně odolný na jednorázové dávky.

Typy deterministických účinků:

- Akutní nemoc z ozáření – vzniká v důsledku jednorázového ozáření celého těla či jeho velké části dávkou, která je vyšší než 0,7 Gy. Existují 3 typy akutní nemoci z ozáření, a to:
 - Krevní typ – kde dochází k poškození kostní dřeně, po ozáření se vykytuje nevolnost, únava a latence, dochází ke krvácení až sepsi, k útlumu tvorby lymfocytů do dvou až tří dní a po 6-8 týdnech dochází k uzdravení, pokud je dávka v rozmezí od 1-6 Gy, ale pokud je dávka vyšší než 5 Gy dochází ke smrti.

- Střevní typ – pokud je střevní epitel zasažen dávkou 6-10 Gy, dochází k jeho odumírání, následuje sepse a krvácivé průjmy.
- Nervový typ – ten je odolný i pro několik desítek Gy, ale pokud dojde k jeho poškození nastává paralýza a smrt.
- Radiační poškození kůže – pro tento typ účinku je charakteristický lokální charakter. Radiační poškození kůže též radiační dermatitida je způsobena buď jednorázovou dávkou či protražovanou a díky tomu jsou dva druhy dermatitid – akutní a chronická forma. K akutní formě dochází už při ozáření dávkou více než 2 Gy, kde vzniká erytém (= zarudnutí kůže), při ozáření dávkou 3 Gy dohází k depilaci, pokud je dávka nad 6 Gy je depilace trvalá; dávka nad 10 Gy způsobuje puchýře, odlučování kůže (= deskvamace), infekce, vředy. Chronická forma se vyskytuje při protražované dávce nad 12 Gy a je pro ni typické krvácení a praskání kůže následováno infekcí, která může skončit i amputací končetiny.
- Oční katarakta – jedná se o radiační poškození oční čočky. K poškození dochází při jednorázovém ozáření čočky 2-3 Gy. Protražovaná dávka je až 15 Gy. Ozáření může vést až ke slepotě.
- Postižení fertility – při ozáření gonád jak mužských, tak ženských dochází buď k dočasné nebo úplné ztrátě plodnosti. U mužů při dávce nad 3 Gy dochází k úplné sterilitě. U žen dávka okolo 1,5 Gy způsobuje dočasnou neplodnost a dávka 3 Gy stejně jako u mužů trvalou sterilitu.
- Další účinky – záření negativně ovlivňuje velký rozsah orgánů a orgánových soustav a stejně tak má negativní vliv na tělesný a duševní rozvoj dětí. U kardiovaskulárního systému ionizující záření způsobuje snížení buněk v arteriích a cévách což následně způsobuje jejich křehkost a důsledkem toho mohou být cévní mozkové příhody či infarkty myokardu. Dýchací soustava bývá postižena radiační pneumonitidou, kde ionizující záření poškozuje plicní alveoly. Ozáření kojenců nebo lidských plodů vede k mentálním retardacím, a také má vliv na tělesný vývoj a růst (Ondřej, 2013).
- Stochastické účinky – mají pravděpodobnostní charakter, jsou způsobeny působením ionizujícího záření na buňku, které v ní vyvolaly mutace neboli změny v genetické informaci buňky. S dávkou roste pravděpodobnost poškození nikoli míra poškození jako u deterministických účinků. Poškození je dvojího druhu a to somatické, kde poškození

buněk vede k různým formám rakoviny, nebo genetické, které se zárodečnými a pohlavními buňkami přenáší na potomstvo. V současné době se evidují stochastické účinky s dávkou nad 100 mSv. S dávkou pod 100 mSv počítá hypotéza o hormezi, kde ionizující záření působí pozitivně v nižších dávkách, a naopak ve vyšších negativně. Této hypotézy se využívá v lázeňství při užívání léčebných termálních pramenů s obsahem radonu. Pro stochastické účinky je charakteristické:

- Bezprahovost,
- s efektivní dávkou roste pravděpodobnost účinku,
- mutace, rakovinné bujení, genetické účinky na potomstvo,
- účinky se neprojevují ihned po ozáření, ale až po poměrně dlouhé době latence okolo 5-20 let,
- u nádorů nelze určit, zda bylo příčinou ionizující záření či jiný negativní vliv jako např. alkohol, kouření či toxické látky v životním prostředí jedince,
- v exponovaném místě nemusí dojít ke vzniku nádoru (Ondřej, 2013).

1.2.3 Účinky ionizujícího záření na DNA a buněčnou strukturu

Každý typ ionizujícího záření vyvolává široké spektrum účinků a poškození, a to včetně poškození DNA, chromozomálních aberací, mutací, buněčných transformací a buněčné smrti. Následné poškození a biologické účinky závisejí na absorbované dávce, také na rychlosti distribuce dávky a na typu záření (Stimac, et.al.,2012).

Ionizující záření vyvolává několik typů poškození DNA (deoxyribonukleová kyselina), mezi která patří poškození bází, zlomy řetězců, křížové vazby DNA-proteiny a jejich kombinace v několika párech bází od sebe. Příkladem jsou dvouřetězcové zlomy a klastry jiné než dvouřetězcové zlomy (dvě nebo více poškození báze nebo přerušení pramenů v rámci přibližně 10 párů bází, ale nevedoucí ke zlomům) (Hill, Ullrich, 2019).

Jednovláknové zlomy jsou snadno reparovatelné, díky schopnosti deoxyribonukleové kyseliny si s těmito zlomy poradit, a proto nemají zásadní vliv na buňky. U dvouvláknových zlomů je problém s reparacemi, kvůli tomu, že chybí templát neboli předloha, podle které by se mohla opravit. A díky tomu vznikají mutace (Mornstein, 2018).

Během buněčného cyklu se mění radiosenzitivita buněk. Nejvíce je buňka náchylná ve fázi dělení tedy mitotické fázi. Nejvíce jsou odolné buňky ve fázi S. Dalším příkladem, kdy je buňka senzitivní je, když chromozomy přestupují do dceřiných buněk. Vlivem záření tedy

vznikají chromozomové aberace, anafázové mosty anebo může dojít ke genomické nestabilitě (Havránková, et.al.,2020).

Díky tomu, že se buňka rychle dělí, zbývá méně času na reparace. Lidské embryo je nejsenzitivnější na záření, protože u něj probíhá rychlé dělení buněk pro vývoj orgánových soustav. Může docházet k malformacím, zpoždování ve vývoji, zhoršení funkce mozkové činnosti, genetickým poruchám jako jsou chromozomové aberace nebo vlastní genetické mutace či dokonce může dojít i ke smrti plodu. Z tohoto důvodu musí být vyšetření těhotné ženy s použitím ionizujícího záření opravdu opodstatněno. Pokud je možné, vždy je vhodné volit metody bez použití záření (Gruppen, Rodgers, 2016).

1.3 Detekce ionizujícího záření

Je založena na principu interakce záření s detektorem a látkou vhodného činidla. Detektor přeměňuje záření na jinou formu energie, kterou registrují různá činidla. Druhy detektorů se dělí dle interakcí jako například scintilační, ionizační apod.

Detektor je výstupním zařízením v měřící soustavě. U detektoru v impulzivním zapojení vzniká elektrický impulz po absorpci částice nebo fotonu. V další části soustavy jsou impulzy sčítány a registrovány čítačem impulzů, díky tomu se měří aktivita, nebo je měřena střední intenzita záření. Detekční účinnost je poté poměr mezi registrovanými a prošlými částicemi či fotony. Pokud je použito více detektorů, tak ty mohou být zapojeny koincidenčně (detekují pouze ty impulzy, které vznikly ve dvou nebo více detektororech současně) nebo antikoincidenčně (kde se registrují pouze impulzy, které nevznikly současně) (Beneš, et. al., 2015).

1.3.1 Ionizační komora

Ionizační komorou prochází částice a ionizuje plynou náplň komory, kde vznikají iontové páry – kladný ion a elektron, které jsou přitahovány k opačně nabitým elektrodám a vzniká tak slabý ionizační proud, který je detekován. Ionizační komory musejí být konstrukčně upraveny dle měřeného druhu záření (Beneš, et. al., 2015).

1.3.2 Geigerův – Müllerův počítač

Geigerův – Müllerův počítač, nebo také trubice, se používá k měření aktivity gama a beta zářičů. Pro alfa záření má nízkou detekční schopnost. V současnosti se používají pro svou jednoduchost při méně náročných měřeních. Využívají se při měření kontaminace, jako monitorovací systémy i hlásiče radiace (Beneš, et. al., 2015).

1.3.3 Scintilační detektor

Ty jsou založeny na principu, že některé látky jsou schopny scintilace neboli vytvářet světelný záblesk při pohlcení kvant záření. Součástí detektoru je scintilátor (převádí energii záření na záblesky), fotonásobič (registruje záblesky), mechanické části. Nejčastější scintilátor je jodid sodný aktivovaný thaliem – NaI(Tl). Těchto detektorů se využívá pro vyšetření v nukleární medicíně (Koranda, et.al., 2017).

1.3.4 Osobní dozimetrie

Osoby, které pracují s ionizujícím zářením či se nachází ve sledovaném nebo kontrolovaném pásmu jsou ze zákona povinny provádět osobní dozimetrii. Měří se absorbována dávka během pracovního výkonu. K tomuto měření se nejčastěji používají tyto typy dozimetrie:

- Filmový dozimetr – film je umístěn v plastovém pouzdře o rozměrech 3x4 cm, na přední části je okénko. Vyhodnocení je závislé na zčernání filmu v dozimetru na základě ozáření filmu ionizujícím zářením. Dozimetr se umísťuje na referenční místo tzn. na levou horní část hrudníku na oděvu. Po měsíci se dozimetr odesílá k centrálnímu vyhodnocení absorbované dávky.
- Termoluminiscenční dozimetr – je založen na tom, že některé krystalické látky reagují na ionizující záření. Díky zahřátí jsou uvolněné elektrony zachyceny a krystalická látka vyzařuje světlo, které je pohlceno látkou. Podstatou je zachycení vyzářené energie scintilačním detektorem. Mají vyšší citlivost než filmové dozimetry. Dříve se využívaly v operativní dozimetrii dnes se s nimi setkáváme již v celostátních službách osobní dozimetrie.

- Elektronické osobní dozimetry – principem je miniaturizovaný G-M počítač, lze je použít pro měření dávky, ale i dávkového příkonu. Nejprve byly užívány v jaderných elektrárnách, nyní se jejich používání rozšířilo i do dozimetrických služeb.



Obrázek 1 Elektronický osobní dozimetr DMC 2000 (Zdroj: vlastní)

- Dalšími typy jsou tužkové dozimetry využívané pro osobní dozimetrii. Jejich výhodou je jednoduchost a dostupnost. Dalším typem je prstenový dozimetr využívaný především v oblasti nukleární medicíny při manipulaci s radionuklidy (Podzimek, 2021).

1.4 Radiační ochrana

Jejím cílem je zabezpečit co možná největší úroveň ochrany zdraví, ale také zároveň umožnit co největší přínos při využití zdrojů ionizujícího záření. Člověk je vystaven ionizujícímu záření z umělých i přírodních zdrojů. Přístup radiační ochrany je takový, že je nutné uvažovat o procesech vedoucích k ozáření jedinců a také o procesech situací a událostí vedoucích k ozáření. Opatření radiační ochrany se dosáhne u zdroje nebo v některé části expozice záření. Snahou je, aby se zabránilo deterministickým účinkům a co nejvíce se snížilo riziko vzniku stochastických účinků. Radiační ochrana se zabývá všemi expozicemi ionizujícího záření neohledně na jeho zdroj, velikost či původ zdroje (Podzimek, 2021).

Existují tři kategorie ozáření. Tou první je profesní expozice, kde se jedná o všechny expozice pracovníků, ke které dochází v rámci jejich výkonu práce. Řadí se sem všechno ozáření bez ohledu na zdroj. Odpovědnost za ochranu pracujících má zaměstnavatel či držitel povolení zdroje záření.

Další je expozice obyvatel, která zahrnuje všechno ozáření kromě profesního a lékařského. Jedná se především o expozice z přírodních zdrojů, které se největší měrou podílí na ozáření populace.

Tabulka 1 Celosvětové rozdělení radiační expozice v populaci (UNEP, 2016)

Dávky			
Zevní	Procentuální podíl	Vnitřní	Procentuální podíl
Lékařské ozáření	20 %	Radon	42 %
Kosmické záření	13 %	Potrava	9 %
Půda	16 %		

Poslední kategorií je lékařské ozáření, které nastává během diagnostických výkonů, intervenčních výkonů a léčebných zákroků. Zde se jedná o záměrné ozáření s přínosem pro pacienta.

K nezdůvodněným expozicím patří screening neboli lékařské vyhledávací šetření, kde se exponuje část populace bez příznaků onemocnění, pokud jsou očekávané přínosy pro zkoumané osoby nekompenzují ekonomické a společenské náklady zahrnující i radiační újmy. Nebo se také jedná o radiologické vyšetření za účelem zdravotního pojištění, způsobilosti k zaměstnání nebo z právních důvodů, které jsou bez klinické indikace. Ta ale musí být provedena k vyhodnocení získaného obrazu, jinak by expozice nebyla zdůvodněna (Podzimek, 2021).

Radiační ochrana se řídí třemi principy pro všechny expozice:

- Princip zdůvodnění – každé lékařské ozáření by mělo být přínosné pro pacienta či společnost, aby se vyvážíla újma spojená s expozicí. Protože ionizující záření je škodlivé a způsobuje právě již zmíněnou újmu musí být vyváženo benefity plynoucí z vyšetření jako diagnostika onemocnění nebo zlepšení zdravotního

stavu pacienta. V praxi funguje tento princip tak, že by mělo být nejprve užíváno metod bez použití ionizujícího záření jako například ultrazvuk či magnetická rezonance. Pokud není možno využít ani jedné této metody a je nutno užít záření, měla by být jasně stanovená indikace k výkonu, aby mohl být posouzen přínos vyšetření. Charakteristickým příkladem nedodržení tohoto principu je provádění rentgenového snímkování srdce a plic u pacientů, kteří navštíví určitou ordinaci. Mezi další příklady patří provádění CT vyšetření v krátkém časovém období. Kdy je pacientovi předepsána medikace a je během půl roku co měsíc kontrolován pomocí CT vyšetření, ale samotné CT vyšetření nijak danou situaci neřeší, naopak pacient užívá nadále léky a z CT neplyne dostatečný přínos. Díky těmto situacím je až 30 % diagnostických vyšetření nezdůvodněné a nesprávně indikované (Súkupová, 2018).

- Princip optimalizace – jeho úkolem je zajistit, aby velikost individuálních dávek, počet exponovaných osob a pravděpodobnost expozice v místě, kde k ní asi dojde, byly tak nízké, jak jen jich lze rozumně dosáhnout s ohledem na sociální a ekonomická hlediska. Rovněž se tento princip označuje jako ALARA (“As Low As Reasonably Achievable” – tak nízko, jak je rozumně dosažitelné). Součástí tohoto principu je také zavedení, používání a kontrola diagnostických referenčních úrovní. To jsou hodnoty, kterými se řídí lékařské ozáření a přispívají k usměrnění těchto expozic. Jejich častým porušováním dochází k nadlimitním ozářením pacientů a jsou podmětem pro prošetření příčin a nápravným opatřením týkající se techniky vyšetření (Súkupová, 2018).
- Princip limitace dávek – limity záření jsou stanoveny pro pracovníky v lékařství, pro radiační pracovníky, obecnou populaci, studenty a učně. Pro pacienty tyto limity stanoveny nejsou, protože by byl omezen možný zdravotní přínos. Pro pacienty jsou stanoveny diagnostické referenční hodnoty (Súkupová, 2018).

Důležitou součástí ochrany tvoří také bezpečnost zdrojů. Zdroje podléhají pravidelné kontrole provozní stálosti a zkoušek dlouhodobé stability. Ověřuje se stabilita a spolehlivost zdroje (Súkupová, 2018).

Dále jsou využívány tři fyzikální metody, jak se chránit před ionizujícím zářením – ochrana časem, stíněním a vzdáleností. Při ochraně časem se snižuje radiační zátěž, tím, čím kratší dobu je pracovník ve styku se zdrojem záření. Proto by měla být práce vhodně časově

rozdělena, aby nedocházelo ke kontaminacím. Vhodné je i střídání více pracovníků pro daný úkon.

Ochrana stíněním je důležitá z důvodů, že záření při průchodu hmotou se částečně nebo úplně absorbuje v závislosti na druhu záření. Vybírá se vždy vhodný stínicí materiál, který se umísťuje mezi stíněný objekt a zdroj. Stínění může být dáno přímo ke zdroji jako například stínicí kontejnery, zástěny, stínicí kryty, štíty či olověné cihly apod., nebo na pracovníka (olověné vesty, chrániče štítné žlázy, olovnaté ochranné rukavice atd.).

U ochrany vzdáleností se využívá toho, že dávkový příkon ubývá se čtvercem vzdálenosti. Proto je vhodné, aby bylo upraveno pracoviště tak, aby se zdroj nacházel v co možná největší vzdálenosti od pracovních prostor. Pokud je nutná manipulace se zdrojem je vhodné využívat pinzet či jiných oddalujících nástrojů (Podzimek, 2021).

Také u pacientů je důležitá jejich ochrana, tam se využívá především užívání olověných zástěr a nákrčníků. Vykrývají se především radiosenzitivní orgány jako jsou gonády a štítná žláza. Dostatečná kolimace (vymezení svazku záření). Také jsou důležité expoziční parametry, aby podléhaly principu ALARA a zároveň, aby měly dostatečnou diagnostickou výtežnost.

1.5 Legislativa

V České republice je základním legislativním rámcem zákon č. 263/2016 Sb., atomový zákon (Česko, 2016). Tento zákon prošel novelizací zákona č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů. Tento starý zákon je zachován ještě ve zbytkové podobě pro odpovědnost za jaderné škody.

Tento zákon provádí vyhlášky, které se týkají lékařského ozáření:

- 422/2016 Sb. - Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje (Česko, 2016).
- 409/2016 Sb. - Vyhláška o činnostech zvláště důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a radiační ochrany, zvláštní odborné způsobilosti a přípravě osoby zajišťující radiační ochranu registrovaného (Česko, 2016).
- 358/2016 Sb. - Vyhláška o požadavcích na zajišťování kvality a technické bezpečnosti a posouzení a prověřování shody vybraných zařízení atd. (Česko, 2016).

Dalším důležitým zákonem je č. 373/2011 Sb. Zákon o specifických zdravotních službách (Česko, 2011). Kde se pátá hlava zabývá lékařským ozářením a klinickými audity.

Ústředním orgánem státní správy je Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB), který je přímo podřízen vládě ČR. Vykonává státní správu při využívání ionizujícího záření a jaderné energie, a také v nešíření jaderných, biologických a chemických zbraní. Do jeho působnosti patří dozor nad jadernou bezpečností, radiační ochranou, monitoruje radiační situaci, řeší zvládání radiačních mimořádných událostí, zabezpečení a nešíření jaderných zbraní, schvaluje dokumentaci, stanovuje podmínky a požadavky na radiační ochranu obyvatel a pracovníků se zdroji ionizujícího záření (např. stanovení limitů ozáření, vymezení kontrolovaných pásem), sleduje také stav ozáření obyvatel a pracovníků s ionizujícím ozářením apod. Také odborně spolupracuje s Mezinárodní agenturou pro atomovou energii.

Další důležitou institucí v České republice je Státního ústav radiační ochrany (SÚRO). To vykonává státní správu v ochraně před ionizujícím zářením na území České republiky, zajišťuje odborné, metodické, vzdělávací, informační a výzkumné činnosti. A je podřízen Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost. Jeho oblasti zájmu jsou lékařské ozáření, přírodní zdroje (zejména radon) a také monitorování obsahu a distribuce umělých radionuklidů v životním prostředí a v potravních řetězcích (SÚRO, SÚJB,2023).

2 DIAGNOSTICKÁ VYŠETŘENÍ VYUŽÍVAJÍCÍ IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

V současnosti se skoro v každém lékařském zařízení nachází přístroje používající ionizující záření ať už diagnostické či diagnosticko – terapeutické nebo terapeutické. Za poslední léta prodělaly a stále prodělávají bouřlivý vývoj a mají velký vliv na současnou medicínu. Mnoho medicínských oborů se opírá o zobrazovací metody, bez nich by nemohly adekvátně odhalit příčiny onemocnění či zranění. Ročně je v České republice provedeno na 19 tisíc vyšetření s použitím diagnostických zobrazovacích metod.

2.1 Rentgen

Je to základní nástroj pro diagnostické zobrazování. Zdrojem záření je rentgenka, což je vysoce vakuovaná trubice se dvěma elektrodami – katodou a anodou. Mezi ně je přiváděno vysoké napětí za vzniku anodového proudu. Na anodě po dopadu elektronového svazku vzniká rtg záření, které prochází výstupním okénkem, kde je cloněno do požadovaného svazku, a také je filtrováno sekundární škodlivé záření, které ovlivňuje kontrast a ostrost obrazu.

Základní rentgenovou sestavu tvoří rentgenka umístěná na stropním závěsu, aby se s ní dalo otáčet o 360°; vertigraf, což je zařízení pro snímkování stojících nebo sedících pacientů a vyšetřovací stůl s plovoucí deskou pro velký rozsah pohybu; součástí stolu je i kazeta pro tvorbu obrazu. Vertigraf se nejčastěji používá pro snímkování srdce a plic (často součástí předoperačního vyšetření), paranazálních dutin a břicha (Vomáčka, et.al., 2015).



Obrázek 2 Rentgen Siemens Healthineers Ysio Max s rentgenkou na stropním závěsu a vertigraf pro snímkování pacientů ve stoje v Krajské nemocnici T. Bati ve Zlíně (Zdroj: vlastní)

Pojízdné C-rameno je nejčastěji součástí operačních sálů, kde je potřeba ověřit správnost výkonu za pomoci rentgenu. Jsou to převážně traumatologické, urologické, neurochirurgické sály, a také se využívá u ERCP vyšetření, sloužící k zobrazení žlučových a pankreatických cest. Nebo se s ním dá také snímkovat na odděleních, kde je nutnost udělat pacientovi snímek na lůžku, aniž by musel být složitě převážen na oddělení zobrazovacích metod. Jedná se převážně o pacienty na jednotkách intenzivní péče, na anesteziologicko-resuscitačních odděleních, nebo na novorozeneckém oddělení (Vomáčka, et.al., 2015).



Obrázek 3 Pojízdné C-rameno Philips BV Pulsera (Zdroj: vlastní)

O-arm je v současnosti inovativní přístroj používaný na operačních sálech, převážně na neurochirurgických a ortopedických sálech. Vytváří rentgenové snímky s nízkými dávkami a rychle zpracovává obraz, takže během několika sekund obdrží chirurg vysoce detailní snímky místa chirurgického zákroku. Operace tak trvají kratší dobu a dochází tak k rychlejšímu zotavení s méně pooperačními bolestmi (Swift Institute, ©2023).

Mamografické přístroje využívají ionizující záření o nízké energii z důvodu, že chtějí zobrazit měkké tkáně. Je nutná komprese prsu za pomoci tubusů, aby byl výsledný obraz kontrastní, snížil se rozptyl záření a ionizace. K mamografickému přístroji nedílně patří i stereotaktické zařízení pro provádění biopsií či jiných navigačních a terapeutických metod.

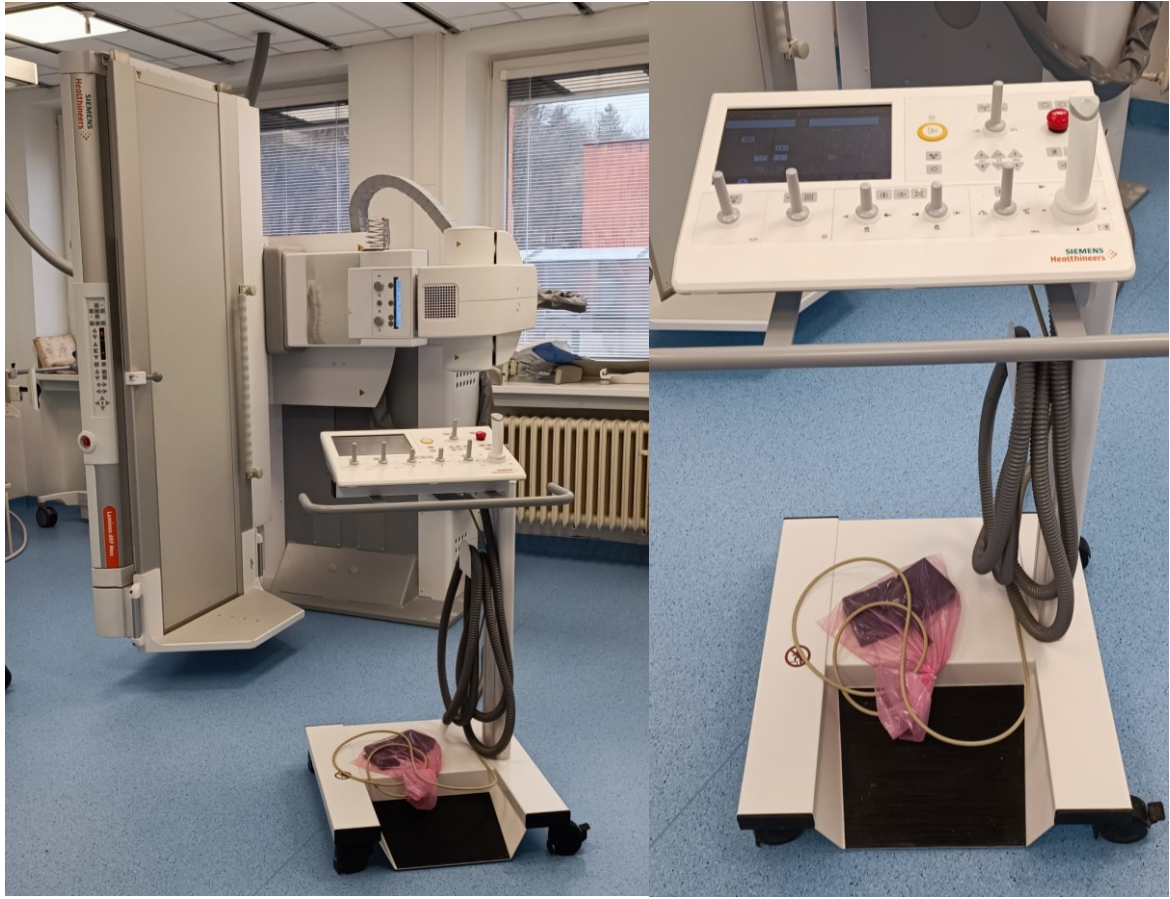
Intraorální rentgen užívaný v zubním lékařství je určen převážně na projekce jednoho zubu. Snímkování musí být provedeno podle Cieszynského pravidla, aby obraz nebyl zkresleně zvětšený. Film či jiný detektor se vkládá pacientovi do úst a během snímkování si ho pacient drží. Následně je snímek vyvolán. Tato metoda se využívá pro kontrolu zaplnění

kanálků. Extraorální snímkování se provádí za pomoci panoramatického rentgenu neboli OPG (ortopantomograf). Rentgenka je naproti detektoru a otáčí se okolo hlavy pacienta. Snímá se celá čelist i s čelistními klouby (Vomáčka, et.al., 2015).

Rentgen je součástí i lineárního urychlovače na onkologii, kde se využívá ke snímkování polohy a správnosti nastavení pacienta do ozařovací polohy. Ozařování musí být přesné, proto je nutná kontrola polohy pacienta.

2.2 Skiaskopie

Neboli také prosvěcování. Slouží ke sledování dynamických dějů. Je nedílnou součástí mnoha druhů vyšetření jako například vyšetření trávicí trubice, kde se sleduje polykací akt, nebo je také součástí skiaskopicko-skiagrafické kontroly na operačních sálech, anebo při intervenčních výkonech. U skiaskopické sklopné stěny se využívá naklonění stolu s pacientem hlavou 40° kraniálně nebo kaudálně. Zobrazují se dynamické jevy v lidském těle, jako například polykání či mikce, peristaltika žaludku nebo střev. Často je součástí vyšetření i podání kontrastní látky. Z důvodu nutnosti být s pacientem na vyšetřovně ať už doktor či radiologický asistent je nutnost dbát na radiační ochranu a chránit se štíty se závěsnou olověnou gumou, ochranou zástěrou se štítnicí. Z důvodu delší doby trvání výkonu může snadno dojít k překročení povolené radiační dávky (Vomáčka, et.al., 2015).



Obrázek 4 Skiaskopicko – skiagrafická sklopná stěna s ovládacím panelem značky Siemens Healthineers Luminos dRF Max v Krajské nemocnici T. Bati ve Zlíně (Zdroj: vlastní)

2.3 Výpočetní tomografie (CT)

Dnes je výpočetní tomografie standardním vyšetřovacím postupem, která je prakticky dostupná ve všech nemocnicích v České republice. V současnosti připadá na jedno CT zhruba asi 60 tisíc obyvatel. Je to dynamická metoda s vynikající prostorovou rozlišovací schopností, umožňující virtuální 3D nebo 4D vyšetření. Výpočetní tomografie pracuje s intenzitou absorpce rentgenového záření neboli denzitou. Ta se udává v Hounsfieldových jednotkách, které stanovují stupně šedi. Lidské oko rozpozná pouze 16 stupňů šedi, je proto nutné zvolit vhodný vyšetřovací protokol.

Vlastní CT zařízení se skládá z vyšetřovacího tunelu neboli gantry, kde je uložena rentgenka s detektory; posuvného stolu se spoustou přídatných zařízení například tlakový injektor pro podávání kontrastní látky; obslužného a vyhodnocovacího stolu, a také PACSové stanice pro odesílání a archivaci snímků.



Obrázek 5 CT přístroj firmy Philips Big Bore (Zdroj: vlastní)

Jako první se zhotovuje topogram (plánovací sken) pro oblast, kterou chceme vyšetřit, měl by být zvolen rozsah takový, aby nadbytečně nezvyšoval expoziční dávku pacienta. V současnosti je snaha provádět i iterativní (zpětné) rekonstrukce výsledného obrazu, pro snížení úrovně šumu, a také snížení dávky ozáření pacienta.

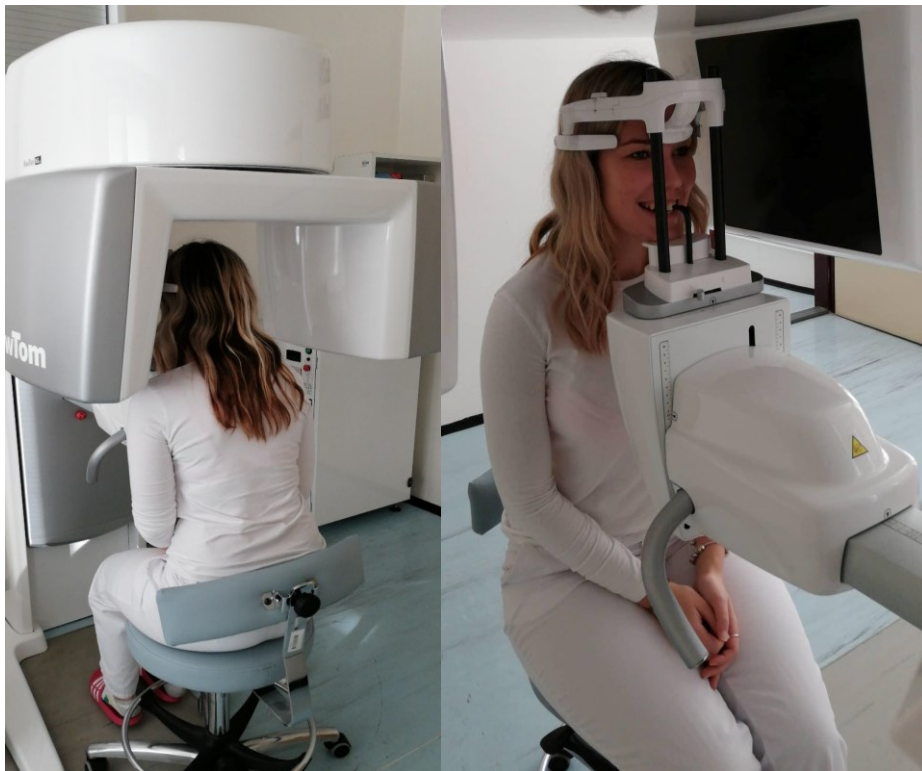
CT vyšetření se nejčastěji indikuje k vyšetření mozku, u akutních polytraumat a je také vhodné pro akutní krvácení, abscesy ale i k zobrazení nádorových onemocnění a případných metastáz. Kontrolují se jím i pooperační stavy. Často se s vyšetřením pojí podání kontrastní látky jak žilní, tak per os cestou. Ty zlepšují prokreslení určitých úseků, a napomáhají lékaři tak v lepší orientaci na snímku. Je s nimi ale spojeno riziko alergické reakce na určitou látku, například u jodových kontrastních látek pacient podepisuje informovaný souhlas, že není alergický na jod.

Za pomoci CT se dají vytvořit i specializovaná vyšetření tenkého a tlustého střeva – virtuální kolonoskopie, která je šetrnější oproti klasické kolonoskopii. Nebo se dají vytvářet 3D modely celého tepenného a arteriálního řečiště, pro případné odhalování výdutí, ruptur či tamponád (Vomáčka, et.al., 2015).

V současnosti se CT zařízení také kombinuje s jinými typy vyšetření pro větší výtežnost jako například PET-CT (pozitronová emisní tomografie), kde se primárně zobrazují nádory a ložiska metastáz, SPECT-CT (jednofotonová emisní tomografie), té se

užívá k vyšetření plicní embolizace, funkce myokardu, scintigrafii skeletu atd. Tato vyšetření se provádí na pracovištích nukleární medicíny (Koranda, et.al., 2017).

Velký pokrok byl zaznamenán i na poli zubního lékařství, kde je využíváno Cone Beam Computed Tomography (CBCT). Díky tomuto zařízení jsou lékaři schopni provádět přesnější operace s minimem následků. Vhodné je jej použít při implantologii, extrakci zubů nebo retinovaných zubů či jiných složitých a náročných úkonech ústní a čelistní chirurgie.



Obrázek 6 Cone Beam Computed Tomography (CBCT) ve Fakultní nemocnici Olomouc (Zdroj: vlastní)

2.4 Kostní denzitometrie

Je to zásadní metoda pro odhalení diagnózy osteoporózy, rizika fraktur či komprese obratlových těl. Vzhledem k tomu, že zlomeniny jsou častým důsledkem osteoporózy a zároveň jsou významným faktorem mortality i morbidity, je jim díky tomu věnována taková pozornost. Jedná se o objektivní metodu hodnotící hustotu kostního minerálu. Hlavním ukazatelem je BMD – bone mineral density. Na klasickém rentgenovém snímku, bylo problematické objektivní hodnocení diagnózy. Proto, se začaly vyvíjet přístroje příhodné pro tuto nemoc (Kasalický, 2014).

Dvojfotonová rentgenová absorpciometrie DXA (Dual x-ray absorptiometry) je v současnosti standardem. Tyto přístroje se v České republice používají přes 20 let a první byl instalován ve Všeobecné fakultní nemocnici v Praze. Byla snaha využít i CT přístroje, ale to selhalo pro nutnost vysoké patientské dávky a byly problémově čitelné hodnoty, proto se pro rutinní vyšetření od toho upustilo.

Výhodou tohoto vyšetření je nižší dávka než z běžného rentgenového přístroje, a také možnost digitálního snímku, pro případné srovnávání při jiných vyšetřeních. Bohužel toto vyšetření není propláceno ze zdravotního pojištění, což je velký problém pro běžnou praxi (Kasalický, 2014).

2.5 Angiografie

Angiografie spadá do odvětví intervenční radiologie, která se zabývá perkutánní katetrizací za pomoci Seldingerovy techniky. Má nezastupitelné místo na poli léčby mnoha orgánových postižení, protože mnohdy nahrazuje chirurgický výkon. Mezi výkony prováděné na pracovišti angiografie patří vaskulární intervence – perkutánní transluminární angioplastiky, léčba cévních ischemických mozkových příhod, léčba aneurysmat, léčba krvácení, trombóz, aplikace hemodialyzačních kanyl atd., dále se zde provádí nevaskulární intervence – léčba maligních i benigních stenóz (zúžení) jícnu, transhepatální drenáž žlučových cest, drenáže abscesů, punkce a biopsie, vertebroplastiky, radiofrekvenční ablace srdce i ložiskových lézí atd.

Na intervenčním sále se nachází angiografický přístroj, skládající se z polohovatelného stolu, rentgenky umístěné na C-ramenu a plochého detekčního panelu pro zobrazení všech druhů intervencí. Důležitý je též tlakový injektor pro podávání kontrastní látky, který je synchronizován s angio linkou (Vomáčka, et.al., 2015).



Obrázek 7 Tlakový injektor pro podávání kontrastní látky a válce na injektor k aplikaci kontrastní látky a fyziologického roztoku (Zdroj: vlastní)

V dnešních dnech jsou moderní angiografické přístroje vybaveny digitální subtrakční angiografií, což umožňuje díky subtrakci neboli odečítání původního zobrazení bez kontrastní náplně od všech snímků pořízených po aplikaci kontrastu. Dají se zobrazit snímky i skiaskopicky, to znamená při průchodu kontrastní látky tělem vznikají tzv. road maps. Vše probíhá pod skiaskopicko – skiografickým přístrojem a je nutné dodržovat zásady radiační ochrany. Pracovníci jsou oblečeni do ochranných olověných či wolframových vest se štítnicí, mají dozimetr umístěný na referenčním místě a pokud to není nezbytně nutné mohou ovládat přístroj i z ovladovny (Vomáčka, et.al., 2015).

Vzhledem k tomu, že výkony na angiografickém pracovišti bývají zdlouhavé a náročné, často je potřeba větší zátěž pacienta ionizujícím zářením. Z tohoto důvodu je nutná kontrola dávky ozářeného pacienta, toto téma bude v práci dále řešeno.



Obrázek 8 Angiografická linka pro intervenční výkony v Krajské nemocnici T. Bati ve Zlíně (Zdroj: vlastní)

3 EVIDENCE KUMULACÍ DÁVEK IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ Z POHLEDU RIZIK

V současnosti má ionizující záření své nenahraditelné místo v medicíně, a také má zásadní vliv na kvalitní a úspěšnou léčbu. Za tímto účelem se považují vyšetření za zdůvodněné, ale je nutné zdůvodnit vybranou metodu s ionizujícím zářením, a také to zdůvodnit pro konkrétního pacienta. Vždy by se mělo využívat optimalizace. Lékařské ozáření a s ním spojené bezpečné užití zdrojů jsou uvedeny v příslušné legislativě České republiky, kterou zajišťuje Ministerstvo zdravotnictví spolu se Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB).

Každé lékařské ozáření musí být zdůvodněno, protože vždy existuje nenulové riziko poškození ozařovaných tkání. Z tohoto důvodu má hodnocení rizika specifický charakter. V mnoha zemích jsou v souladu s normami radiační ochrany rozvíjeny a vytvářeny prostředky pro jednotné hodnocení lékařských expozičních. Ve světě se tímto zabývá UNSCEAR (United Nations Scientific Committee, on the Effects of Atomic Radiation) pod organizací OSN, kde to zajišťuje Vědecký výbor OSN pro zkoumání účinků ionizujícího záření. Snaží se o celosvětovou statistiku a sumarizaci dat o lékařském ozáření.

V Československu byly snahy o evidenci už v šedesátých letech, vzhledem k danému období se provádělo šetření za pomoci dotazníků a jen ve vybraných lékařských zařízeních. Zpracování těchto dat měly na starosti Krajské hygienické stanice, výzkumní pracovníci oddělení nukleární medicíny a pracovníci Centra hygieny záření v rámci Institutu Hygieny a Epidemiologie. V devadesátých letech byla snaha o navázání na tyto záznamy a vytvoření systému národních záznamů týkajících se počtu provedených vyšetření při ozáření, pohlaví, věku a aplikovaných dávek pacientovi (Petrová, 2021).

Průlomem v evidenci byla spolupráce Státního úřadu pro jadernou bezpečnost se Všeobecnou zdravotní pojišťovnou, protože se díky vykazovaným výkonům získala databáze vyšetřovaných pacientů. Vyšetření se dala rozdělit dle věku, pohlaví a dalo se určit, zda se jednalo o diagnostický výkon, radioterapii či nukleární medicínu. Jednalo se však pouze o pacienty, kteří měli sjednané pojištění u VZP. Odhadem zátěže populace lékařským ozářením se během dekády zabývala také Technologická agentura České republiky (TAČR) spolu s Ústavem zdravotnických informací a statistiky Ministerstva zdravotnictví (ÚZIS).

V současné době probíhá rozšiřování dat v rámci nového atomového zákona (zákon č. 263/2016 Sb.). Sběr je na základě vykázaných služeb s užitím ionizujícího záření a zároveň je pojišťovnou tento výkon proplacen. Tyto údaje již poskytují všechny pojišťovny od roku

2016 na území České republiky a informace podléhají Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost. Jedná se však o anonymizovaná data a zahrnují průřez všemi odvětvími, které pracují s ionizujícím zářením – diagnostiku, radioterapii i nukleární medicínu.

Tyto data nám udávají informace o počtu vyšetření, frekvenci výkonů pro jednotlivé věkové kategorie a pohlaví, změny v přístrojovém a personálním vybavení, typech vyšetření a stanovení akvizičních parametrů, a také pomáhají odhadovat kolektivní dávku z lékařského ozáření a možnost jejího srovnání s jiným typem ozáření obyvatelstva z umělých či přírodních zdrojů (Petrová, 2021).

Pod Ministerstvem zdravotnictví České republiky vychází dle zákona č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování Národní radiologické standardy – Radiologická fyzika, jenž je souborem doporučení a návodu pro tvorbu místních radiologických standardů na pracovištích radiologických oborů v České republice. V souladu s těmito standardy si vytváří místní radiologické standardy a postupy všichni poskytovatelé zdravotních služeb, jejichž služby zahrnují lékařské ozáření (Česko, 2015).

3.1 Hodnocení dávek pacienta

U hodnocení dávek pacienta se posuzuje, zda u poskytovatele zdravotních služeb vše vyhovuje diagnostickým referenčním úrovním, dále se porovnávají dávky v rizikových orgánech s tolerančními dávkami (ta je pro každý orgán či tkáň jiná) pro tyto orgány a srovnávají se hodnoty efektivní dávky s hodnotami ve zprávách UNSCEAR, doporučeních EU a dalších mezinárodních dokumentech (Česko, 2015).

U pacientů, kteří podstupují diagnostické či intervenční vyšetření často dochází k dotazu na jejich individuální dávku. Hodnoty se srovnávají s diagnostickou referenční úrovní s ohledem na odlišnosti pacienta od referenčního pacienta a hodnotí se, zda ozáření bylo standardní. Riziko vzniká u těhotné pacientky, kde je zapotřebí, aby radiologický fyzik z konkrétních získaných parametrů provedeného vyšetření vypočítal pomocí speciálních programů přímo dávku na plod/dělohu.

Tabulka 2 Hodnocení rizika při diagnostickém ozáření (SÚJB, 2021)

Velikost efektivní dávky	Míra rizika
nižší než 0,1 mSv	zanedbatelné
0,1 mSv - 1 mSv	minimální
1 mSv - 10 mSv	velmi nízké
10 mSv - 100 mSv	nízké

Většina dávek z diagnostických vyšetření spadá do přijatelných rizik. Vyšetření za pomoci CT přístroje patří mezi nejvíce zatěžující (Petrová, 2021).

Pacientskými dávkami, které se vztahují na konkrétního pacienta se v České republice zabývá firma Fomei s.r.o. za pomoci softwaru pro evidenci dávek Medsquare RDM (Radiation Dose Monitor). Jedná se o specializovaný program pro evidenci a analýzu pacientských dávek, který souhrnně označujeme jako DACS (Dose Archiving and Communication System). Ten shromažďuje informace o všech diagnostických modalitách užívající ionizující záření a dokáže upozornit na překročení dávky u konkrétního pacienta, a také dokáže zasílat notifikace za pomoci emailu. Ukládá informace o pacientovi, přístroji a vyšetření. S tímto softwarem bude spojena praktická část práce (FOMEI s.r.o., © 2023).

3.2 Regulace lékařského ozáření

Z důvodu možného omezení lékařské péče nepodléhají lékařské expozice limitaci dávek z ozáření. A tak jsou tyto expozice regulovány pouze dle principu radiační ochrany, a to optimalizací a potřebným zdůvodněním.

Vyšetření nebo léčba ionizujícím zářením musí mít správnou indikaci, aby byla pro pacienta diagnostickým přínosem, protože s každou expozicí vzniká potencionální riziko indukce rakoviny. Tímto se řídí princip zdůvodnění. Pokud je vyšetření zdůvodněno a záření je optimalizováno, tak je přínos lékařské expozice pro pacienta nezpochybnitelný. Lékaři by měli používat indikační kritéria, pro posuzování správnosti určení indikace lékařského ozáření při určitých symptomech, dle dokumentu Ministerstva zdravotnictví – Indikační kritéria pro zobrazovací metody z roku 2003 vydána ve věstníku Ministerstva zdravotnictví ČR č. 11/2003. Věstník je ale už zastaralý 20 let a za tu dobu došlo k dynamickému rozvoji v oboru zobrazovacích metod, a proto byla vydána dílčí indikační kritéria Radiologickou společností, která vyšla v Národních radiologických standardech pro skiagrafická vyšetření dospělých ve věstníku MZ ČR č. 3/2019.

Žádná dávka z diagnostického ozáření by neměla mít zanedbatelný charakter, už z důvodu radiobiologických účinků záření, a také rizika vzniku rakoviny. Každá obdržená dávka záření během života pacienta se v podstatě kumuluje a je tedy nezbytné brát na ně zřetel. Pokud se jedná o nezdůvodněnou indikaci k radiodiagnostickým vyšetřením (často se jedná o opakovaná vyšetření) je nezbytné tato vyšetření odmítnout z důvodu zvyšování rizika, a také nejsou vyvážena žádným přínosem pro pacienta. Zvyšování rizika je tedy zbytečné především u dětí a mladistvých pacientů (Petrová, 2021).

Bezpečné užívání zdroje ionizujícího záření, a také splnění organizačních a technických podmínek musejí být zajištěny v první řadě pro optimalizaci lékařského ozáření. Dle atomového zákona a vyhlášky o radiační ochraně musejí přístroje splňovat technické podmínky jimi určenými. Poté jsou periodicky kontrolovány zkouškami dlouhodobé stability a zkouškami provozní stálosti radiologickými fyziky nebo příslušnými profesionály a na všechno dohlíží Státní úřad pro jadernou bezpečnost.

Při optimalizaci se stanovují diagnostické referenční úrovně, ty slouží k posuzování, zda je za běžného provozu úroveň patientské dávky dostatečná a není příliš velká či naopak nízká. Národní diagnostické úrovně jsou ve vyhlášce o radiační ochraně. Každé diagnostické pracoviště má stanoveny místní diagnostické referenční úrovně vztažené pro standardního pacienta. Pokud se hodnoty stále nějak vychylují od standardu je nutné je prošetřit, zaznamenat a pokud se prokáže z šetření, že odchylování není zdůvodněné, musí být co nejrychleji sjednáno nápravné opatření k optimalizaci dávek. Klinický radiologický fyzik vede optimalizaci, stanovování, a také používání diagnostických referenčních úrovní na pracovišti. Dohled nad radiační ochranou zajišťuje osoba s přímým dohledem nad radiační ochranou a odpovídá tak za bezpečný provoz na pracovištích i ionizujícím zářením. Dále také na celý provoz dohlíží inspektoři ze Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (Petrová, 2021).

3.3 Informovanost pacienta

Je důležité, aby byl pacient dostatečně srozuměn s možnými riziky, ale i přínosy vyšetření, která bude podstupovat. Pacient má právo na informace a ty by mu měl poskytnout indikující lékař, který pacienta odesílá na vyšetření s ionizujícím zářením, a také radiologický asistent nebo lékař, který vyšetření provádí. Pokud se jedná o dětského pacienta či nesvéprávního pacienta je důležité s okolnostmi vyšetření srozumět jeho zákonného zástupce či opatrovníka. Také v čekárnách a na webu je možno nalézt informační letáky s různými typy vyšetření, která vytvořil SÚJB ve spolupráci se SÚRO, aby nedocházelo ke

zkresleným informacím, které jsou často ukazovány v mediích. Je také důležité, aby se pacienti nebáli ionizujícího záření, protože se často velmi démonizuje. Pokud je užíván správný postup, technika a vyšetření má všechny správné a náležité hodnoty a odůvodnění není důvod, aby nebylo vyšetření provedeno (Petrová, 2021).

3.4 Mezinárodní spolupráce

Státní úřad pro jadernou bezpečnost spolupracuje s UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). Poskytovaná data jsou zpracována z jednotlivých zemí a posuzuje se velikost lékařského ozáření a trendy za určité období na mezinárodním poli. Jako cíl je kladeno posouzení celosvětové praxe plynoucí z diagnostické a terapeutické praxe využívání ionizujícího záření ve zdravotnictví. Následuje analýza frekvence lékařského ozáření, velikost ozáření v důsledku expozice, stanovení časových trendů, a také odhad globální kolektivní dávky z diagnostického ozáření. Získané informace se porovnávají v různých oblastech a na jejich základě se vyhodnocuje předpoklad zdravotní újmy z lékařského ozáření ve srovnání s újmou na zdraví vyplývající pro lidstvo z expozice jinými škodlivými látkami. Výsledky slouží k vývoji dalších analýz, které bývají využívány vládami a inspekčními orgány k ochraně před zářením (Petrová, 2021).

V současnosti se velmi rozšiřují možnosti využití lékařského ozáření díky dynamickému pokroku v diagnostických metodách, a to pak zejména u CT přístrojů či angiografických vyšetření. Lékaři tak častěji užívají tyto nástroje pro cílenou léčbu pacientů. Dochází i k rozšiřování v určitých indikacích, ale to má za následek zvyšování kolektivní dávky a tím rovněž zvýšenou zátěž populace ionizujícím zářením, což v současnosti lékařské ozáření tvoří 20 % z celkové zátěže radiační expozicí (Petrová, 2021).

DÍLČÍ ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

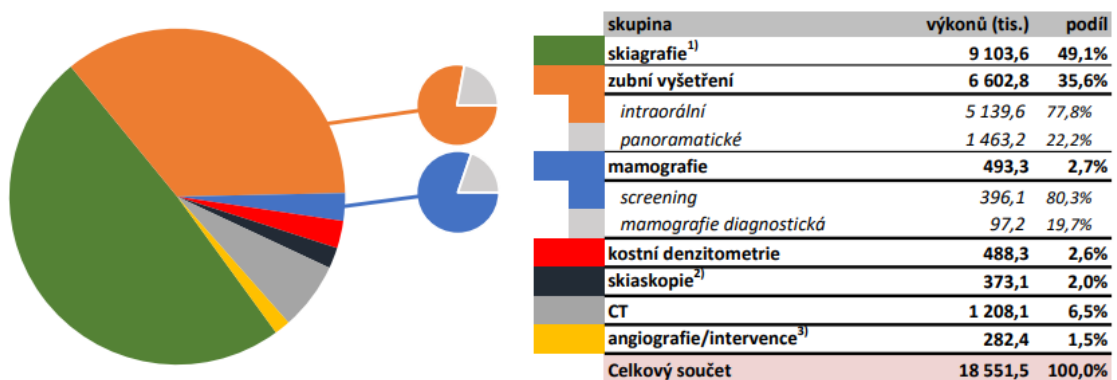
V rámci literární rešerše týkající se dosavadních rizik zabývajících se kumulací dávek spojených s diagnostickými výkony užívající ionizující záření bylo vytvořeno prostředí pro zpracování teoretického podkladu pro praktickou část diplomové práce.

V teoretické části bylo nejprve představeno ionizující záření jako jev, který má vliv na lidský organismus. S jeho účinky je poté seznámeno v první části teoretické práce. Jednalo se o biologické účinky ionizujícího záření. Důležitou součástí tvoří také detekce záření, a to jakým způsobem se před tímto zářením chránit je uvedeno v kapitole radiační ochrany. Nedílnou součástí nakládání se zdroji ionizujícího záření tvoří legislativní rámeček, kde je zakotveno, jakým způsobem může být užíváno. V neposlední řadě je také v práci uvedeno v rámci jakých vyšetření je možné se setkat s ionizujícím zářením a jaké jsou druhy evidence v České republice a ve světě a jaká je forma spolupráce s daty o dávkách v rámci Evropské unie a světa.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 SOUČASNÝ STAV V OBLASTI EVIDENCE PACIENTSKÝCH DÁVEK V ČESKÉ REPUBLICE

V dnešní době se provádí především evidence dávek v rámci celé populace v České republice, což se provádí na základě získaných dat od pojišťoven v ČR Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Tyto hodnoty jsou poté vyhodnocovány jako kolektivní dávka z lékařského ozáření. Z analýzy prováděné SÚJBem za rok 2019 bylo provedeno na skoro 19 tisíc vystření či výkonů s užitím ionizujícího záření.



Obrázek 9 Výsledný počet vyšetření/výkonů v roce 2019 (SÚJB, 2021)

Konkrétní patientská dávka zajímá lékaře především u těhotných pacientek z důvodu zatížení plodu ionizujícím zářením. Zbylí pacienti jsou hodnoceni na základě místních diagnostických referenčních úrovní, což ale nic nevyovídá o hodnotách ozáření pro konkrétního pacienta. Jedná se pouze o užívané standardy a lékaře tak nic nezataví v preskripci dalšího vyšetření či výkonu s užitím ionizujícího záření. Proto v současnosti dochází ke zvyšování zatížení populace z důvodu růstu možných indikací vyšetření za pomoci záření (Petrová, 2021).

Medicína i diagnostické přístroje zažívají boom a jsou již skoro v každém lékařském zařízení, i z tohoto důvodu jsou jednotlivá vyšetření pro lékaře snadno dosažitelná a jsou tedy stále častěji využívána i za cenu zvýšení ozáření populace. Technicky se přístroje stále vyvíjejí, aby dosahovaly co nejlepších výsledků s co možná nejnižší užitou dávkou, ale i přesto je lékařské ozáření určitou zátěží na organismus a žádná dávka není bezriziková (Petrová, 2021).

Proto se problematikou evidence patientských dávek začala zabývat královéhradecká firma Fomei s.r.o., která má software pro evidenci dávek vztahující se na konkrétního pacienta.

4.1 Fomei s.r.o.

Firma byla založena v roce 1990 a její oblastí zájmů jsou tři divize. V radiodiagnostické divizi se zabývá prodejem a distribucí RTG přístrojů, mamografických přístrojů, přístrojů magnetické rezonance, sjednávají PACS řešení pro odesílání snímků. Zabývají se také specializovaným softwarem pro plánování ortopedických operací MediCAD, nebo využívání umělé inteligence za pomoci systému Transpara na rozpoznávání karcinomu prsu, kalcifikací či cyst. Také do jejich kompetence spadá veterinární medicína, pro kterou distribuují detektor pro RTG snímky. Dále se zabývají dozimetrickými přístroji pro měření na radiodiagnostice. Prodávají také ochranné pomůcky pro práci s ionizujícím zářením jako například ochranné vesty, ochrany štítné žlázy, brýle či ochranné rukavice.

V neposlední řadě distribuují do lékařských zařízení software pro evidenci dávek Medsquare RDM od francouzské divize. Kde v roce 2020 bylo ve Francii připojeno k tomuto softwaru na 1000 modalit a systém nasbíral již přes 15 milionů informací o patientských dávkách. Tento software vlastní například FN Motol či Institut klinické a experimentální medicíny (IKEM) (FOMEI s.r.o., © 2023).

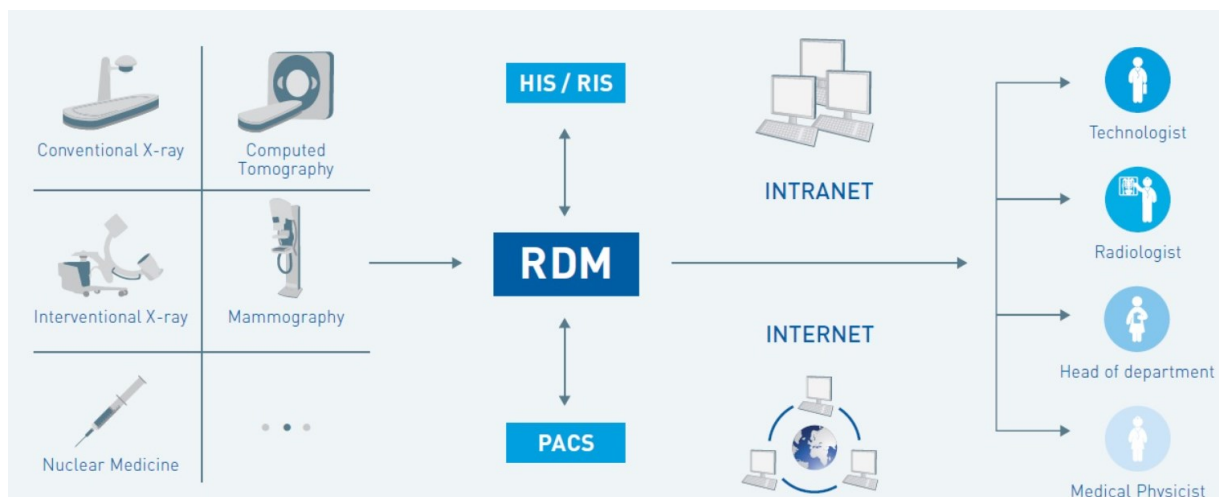
4.2 Software pro evidenci patientských dávek Medsquare RDM

Jedná se o DACS (Dose Archiving and Communication System), pod nějž se řadí specializovaný software pro analýzu a evidenci, archivaci, distribuci a analýzu patientských dávek označovaný jako Medsquare RDM (Radiation Dose Monitor). Díky pokročilému systému výstrah dle nastavených diagnostických referenčních úrovní umožňuje optimalizovat patientské dávky, a také zlepšovat klinickou praxi.

Informace o patientské dávce může být zpráva o dávce v DICOM formátu, které především užívají CT a angiografie. RDM dokáže ze zaslání obrázku vyčíst informace o dávce za pomoci rozpoznávání textu. RTG přístroj odesílá informace o dávce za pomoci DICOM komunikace. Využívají DICOM atributy, a to především RTG, angiografii. Umožňují také vkládat manuálně informace o dávce pomocí speciální aplikace. A může sloužit také jako externí dozimetrické zařízení. Sbírá a archivuje data o použití kontrastních látek a radiofarmak během vyšetření (FOMEI s.r.o., © 2023).

Implementace systému Medsquare RDM do prostředí nemocnice probíhá za pomoci komunikace v protokolech DICOM s PACS a NIS systémem, nebo také se speciálním informačním systémem pro nukleární medicínu NMIS.

- software získává informace o dávce přímo z modalit nebo častěji komunikací s PACS systémem v protokolu DICOM,
- může vytvářet DICOM z ostatních typů informace o dávce,
- získává z NIS (nemocniční informační systém) informace o aktualizaci údajů pacientů,
- odesílá do NIS systému informace o dávce,
- všichni uživatelé systému se přihlašují k serveru za pomoci webového prohlížeče, který funguje na všech běžných uživatelských platformách včetně mobilních zařízení.



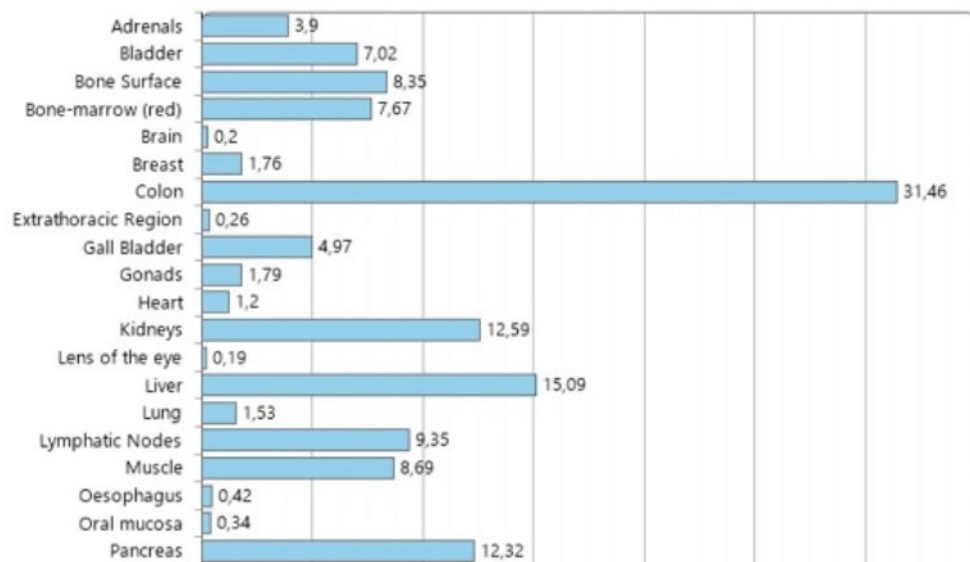
Obrázek 10 Implementace softwaru do nemocničního prostředí (Zdroj: © 2023 FOMEI s.r.o.)

Pro tento software je charakteristické:

- Monitorování radiodiagnostických vyšetření v reálném čase a pokročilý vícestupňový systém nastavení alertů při překročení dávky na základě nastavených místních diagnostických referenčních úrovní, automatizované emailové upozornění na přednastavené adresy o překročení dávky.

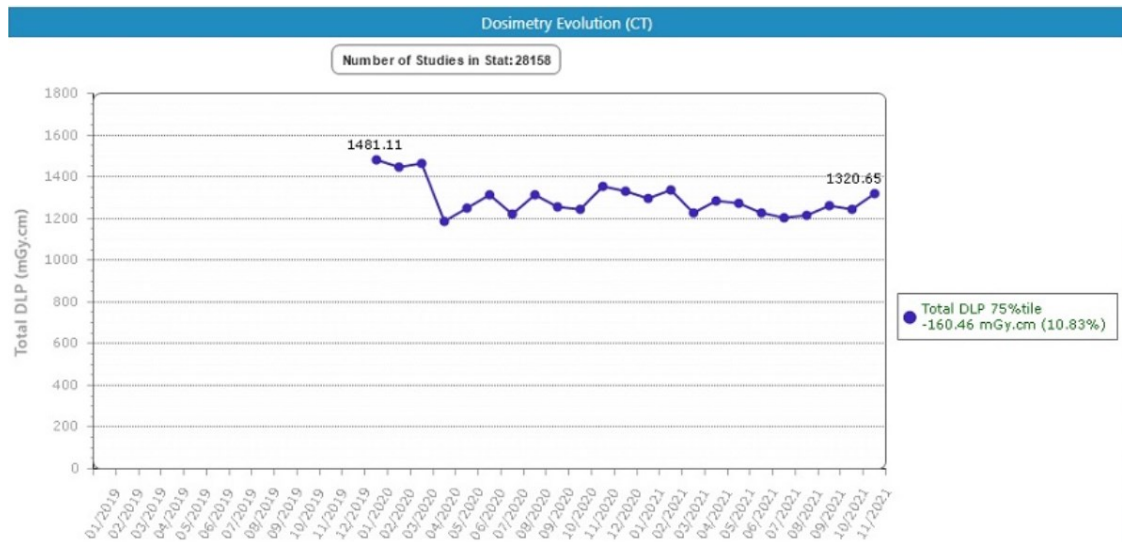
- Zobrazuje všechny identifikační údaje o pacientovi, vyšetření či konkrétní akviziční metodu.
- Aby se zabránilo rozdílům v názvu vyšetření z různých modalit, umí RDM filtrovat a vyhledávat vyšetření, například dle názvu jako mozek, srdce apod.
- Vypočítává orgánové dávky. Zobrazení dávky pro CT a intervenční výkony se děje za pomoci Monte-Carlo simulace. Dovoluje korekci dávky dle váhy a výšky pacienta nebo korekci dávky na plod dle trimestru.

E (ICRP 60): 9,34 mSv E (ICRP 103): 9,02 mSv



Obrázek 11 Zobrazení zatížení orgánů dávkou v prostředí softwaru (Zdroj: © 2023 FOMEI s.r.o.)

- Má pokročilé statistické a analytické metody pro optimalizaci dávky.
- Vyšetřovací protokoly, které vykazují abnormality dokáže snadno identifikovat u všech vyšetřeních a vyšetřovacích protokolů.
- Zobrazuje dávkovou mapu rozložení dávky na kůži při intervenčních výkonech.
- Vývoj dávky v čase – lze tak zobrazit vývoj dávky během vyšetření, díky tomu lze sledovat nastavení přístroje po servisních zásazích atd.



Obrázek 12 Vývoj dávky v čase u CT (Zdroj: © 2023 FOMEI s.r.o.)

- Díky tomu, že lze zobrazit graf rozložení dávek podle libovolného parametru je tak snadno zjistitelné z jakého důvodu dochází k překračování MDRÚ, a tak lze chyby snadno napravit úpravou ozařovacích protokolů.
- Dokáže také stanovovat nebo upravovat, pokud je to zapotřebí, místní diagnostické referenční úrovně. Zobrazuje každý připojený přístroj, a také průměrné, minimální a maximální dávky pro každý typ vyšetření.
- Lze zobrazit vyšetření, která nejvíce překračují MDRÚ na konkrétním přístroji, a tím odhalit buď chybu přístroje či špatné nastavení akvizičního protokolu.
- Vyšetření s aktivní výstrahou nám dává přehled při překročení sledovaných parametrů. Tyto údaje se odesílají na vybrané emailové adresy s upozorněním na překročení stanovených parametrů.

Radiation Dose Monitor v.1.4.6.1 - zatlkaro (Krajská nemocnice T. Bati, a. s.)

Studies in Alert Worklist Today's Studies Search Statistics Stations

Location: [dropdown] Show alerts: [dropdown]

CT	DX	PT/CT	XA	Alert Dose	Rejected Images	E (mSv)	Total DAP A (cGy.cm²)	Total Dose A (mGy)	Total Time A (min)	Total Nb of Radiographic Frames A	Image Quality	Pt ID	Patie Nam	Sex	Pregnancy Status	Age	Weight	BMI	Procedure
				Alert		0,50	860,72			14		44	SADI	M		078Y	88	27,46	Lebka
				Alert		4,64	2110,13			4		66	VAN	F		053Y	70	27,34	L pater
				Alert		0,20	123,55			2		46	RAM	M		077Y	92	28,40	Plice
				Alert		0,17	655,46			2		56	NOV	M		067Y	140	48,44	Plice
				Alert		0,44	1845,99			4		75	MIKL	F		043Y	80	24,69	Plice
				Alert		0,22	113,91			2		57	KUSI	F		065Y	70	24,22	C pater
				Alert		0,08	47,26			1		96	SVEJ	F		030Y	130	52,07	Plice

Obrázek 13 Vyšetření s aktivní výstrahou pro rentgen (Zdroj: vlastní)

- Pacienti s aktivní výstrahou – tento systém funguje na úrovni pacienta a hlídá automaticky počet provedených vyšetření za dané období, celkovou efektivní dávku za určené období atd., vztahující se na konkrétního pacienta.

	ID	Name	Sex	DOB	Institution	Alert
	16.09.14-14:52:16-STD-1.3.12.2.1107.5.1.4.83	\$n****	O	14.09.1976	HOP****	7 Day(s): Total DLP (mGy.cm): 11411,54 (8000) 1 Month(s): Total Eff. Dose (mSv): 51,35 (20) 2 Month(s): Total DLP (mGy.cm): 11411,54 (10000)
	4216033575	AK****	M	19.10.1986	HOP****	6 Month(s): Total DLP (mGy.cm): 12410,87 (12000)
	3509085925	AM****	F	27.09.1959	HOP****	6 Month(s): Total DLP (mGy.cm): 26201,69 (12000)
	4216044143	AO****	F	19.03.1950	HOP****	6 Month(s): Total DLP (mGy.cm): 14213,20 (12000)
	4216031293	BA****	M	03.05.1985	HOP****	6 Month(s): Total DLP (mGy.cm): 13782,98 (12000)
	4216047266	BE****	F	22.10.1991	HOP****	1 Month(s): Total Eff. Dose (mSv): 65,84 (20) 2 Month(s): 24 Studies (12) - Total DLP (mGy.cm): 21479,83 (10000) 6 Month(s): 27 Studies (25) - Total DLP (mGy.cm): 22303,69 (12000)
	4216047868	BE****	F	06.09.1964	HOP****	2 Month(s): 12 Studies (12) - Total DLP (mGy.cm): 11558,87 (10000) 6 Month(s): Total DLP (mGy.cm): 12417,62 (12000)
	4216042365	BO****	M	16.11.1942	HOP****	1 Month(s): Total Eff. Dose (mSv): 46,48 (20) 2 Month(s): Total DLP (mGy.cm): 11308,35 (10000) 6 Month(s): Total DLP (mGy.cm): 15243,32 (12000)
	4216059734	CI****	M	26.01.1960	HOP****	1 Month(s): Total Eff. Dose (mSv): 67,61 (20) 2 Month(s): Total DLP (mGy.cm): 16162,85 (10000) 6 Month(s): Total DLP (mGy.cm): 16162,85 (12000)

Obrázek 14 Seznam pacientů s aktivní výstrahou (Zdroj: © 2023 FOMEI s.r.o.)

- Pod záložkou worklist je funkce sledování žádanek na vyšetření a jejich porovnávání s historií pacientů. Umožňuje tak upozornit předem na to, že u pacienta objednaného na vyšetření došlo k překročení sledovaných parametrů, jako například efektivní dávky za určité období, nadlimitnímu počtu vyšetření daného typu (např. CT, intervenční radiologie atd.)

Radiation Dose Monitor																		
											v.1.4.5.1 - dacs (HOP****)	Change password	Logout					
												Patient Alerts/Risks	Studies in Alert	Worklist	Today's Studies	Search	Statistics	Stations
Institution: [dropdown] Location: [dropdown]																		
All	CT	DX	MG	PT/CT	RF	XA												
File	Patient ID	Patient Name	Sex	DoB	Pregnancy Status	Modality	Acc. Number	Req. Proc. Description	Institution	Location								
	(2) SCAB0020	BA*****	F	18.01.1941		CT	4578915	SCANNER DU RACHIS LOMBAIRE	CLI**									
	(27) 4216047266	BEL*****	F	22.10.1991		CT	12345	Abdomen*FOIE_3TEMPS	HOP****									
	(1) 3307039176	DEM*****	M	23.07.1965		XA	9101112	Anévrisme	HOP****									
	(4) SIR108736	MA*****	F	19.04.1962		CT	1609190049	SCANNER ABDOMINO-PELVEN INJECTE	CLI**									

Obrázek 15 Worklist (Zdroj: © 2023 FOMEI s.r.o.)

- Zajímavou statistickou metodou užívanou v softwaru je matice rozložení výstrah v čase. Je zde zobrazeno týdenní rozložení sumarizovaných výstrah dle času. Lze tak zjistit v jakém čase dochází k překračování referenčních hodnot. Tyto údaje se dají vztáhnout na konkrétního laboranta či lékaře a učinit tak opatření. Dají se zobrazit konkrétní vyšetření, u kterých došlo k překročení dávky. Ze zahraničních dat je

zřejmé, že k častějšímu pochybení dochází při nočních službách, kde při vyšetření v noci je průměrná dávka u shodného vyšetření vyšší než v běžném denním provozu.

Alerts Distribution (CT)							
Nb of Studies: 2184 From: 01.02.2021 To: 28.02.2021 Institution: CLI*** Modality: CT							
Hour	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
7:00-8:00							
8:00-9:00	28,57 % (14)	42,86 % (42)	51,35 % (37)	35 % (40)	45,95 % (37)	40,91 % (22)	42,5 % (40)
9:00-10:00	18,18 % (22)	52,5 % (40)	44,19 % (43)	23,91 % (46)	30 % (40)	58,33 % (12)	41,67 % (48)
10:00-11:00	25 % (12)	40 % (35)	31,71 % (41)	36,36 % (44)	33,33 % (36)	59,09 % (22)	25,64 % (39)
11:00-12:00	15,38 % (13)	31,25 % (32)	38,1 % (42)	33,33 % (33)	36,96 % (46)	44,44 % (18)	22,22 % (27)
12:00-13:00	10,53 % (19)	28,21 % (39)	30,77 % (26)	37,93 % (29)	44,44 % (18)	16,67 % (18)	19,05 % (21)
13:00-14:00	28,57 % (7)	30,77 % (13)	12,5 % (16)	14,29 % (14)	66,67 % (6)	22,22 % (9)	14,29 % (7)
14:00-15:00	6,25 % (16)	22,73 % (44)	37,5 % (40)	36,96 % (46)	53,33 % (15)	36 % (25)	33,33 % (18)
15:00-16:00	20 % (15)	17,07 % (41)	25,58 % (43)	30,77 % (52)	69,23 % (13)	58,33 % (24)	20,83 % (24)
16:00-17:00	38,89 % (18)	31,82 % (44)	30,43 % (46)	32,69 % (52)	50 % (18)	70,83 % (24)	10,53 % (19)
17:00-18:00	28,57 % (21)	37,21 % (43)	35,56 % (45)	43,48 % (46)	36,36 % (22)	61,9 % (21)	19,35 % (31)
18:00-19:00	28,57 % (14)	29,73 % (37)	58,82 % (17)	34,48 % (29)	42,86 % (7)	57,14 % (14)	0 % (11)
19:00-20:00	75 % (4)	33,33 % (3)	0 % (2)	25 % (4)	0 % (1)	0 % (2)	
127.0.0.1/MainHeader.aspx#	% (1)				0 % (3)		

Obrázek 16 Matice rozložení výstrah (Zdroj: © 2023 FOMEI s.r.o.)

- Při spuštění softwaru se ocitneme v pracovním prostředí, kde se zobrazí přehled všech vyšetření z aktuálního dne podle radiodiagnostických modalit, včetně indikátoru překročení stanovené dávky nebo jiného sledovaného parametru. Automaticky dochází k porovnávání dávky na konkrétní vyšetření s průměrnou dávkou na vyšetření totožného typu.

Radiation Dose Monitor																
v.1.4.6.1 - zatikaro (Krajská nemocnice T. Bati, a. s.)																
Studies in Alert Worklist Today's Studies Search Statistics Stations																
Location: Station:																
CT	DX	PT/CT	XA	Alert Dose	E (mSv)	Total DLP (mGy.cm)	Total DLP 16 (mGy.cm)	Total DLP 32 (mGy.cm)	IR Events	DLP w/acq (mGy.cm)	CTDIvol w/acq (mGy)	Delta X Max (cm)	Delta Y Max (cm)	Delta XY Max (cm)	Contrast Product	Image Quality
				8,22	406,90			406,90	1	346,30	9,50				UltraVist	
				2,60	579,20		577,00	2,20	1	577,00	29,80					
				3,88	236,80			236,80	1	226,80	9,20					
				2,68	598,60		596,40	2,20	1	596,40	29,80					
				2,72	606,00		603,80	2,20	1	603,80	30,60					
				2,78	620,50		618,30	2,20	1	618,30	29,80					
				4,26	91,10			91,10	1	86,90	1,90					
				3,31	203,30			203,30	1	193,30	8,60					
				2,72	607,60		605,40	2,20	1	605,40	30,10					

Obrázek 17 Zobrazení aktuálních vyšetření proběhlých na CT (Zdroj: vlastní)

4.3 Právo na zobrazení informací v softwaru

Právo na zobrazení informací mají pracovníci a specialisté v oboru radiodiagnostiky a intervenční radiologie, popřípadě další odborníci dle nastavení práv k informacím.

Klinický lékařský fyzik – dostává automatické výstrahy o překročení dávek na emailovou adresu, zobrazují se mu rizikové pacienti, pro něj jsou také důležité dozimetrické údaje, údaje o údržbě a kontrole kvality modalit.

Radiologický asistent/laborant – vkládá informace o pacientovi, například hmotnost, výšku, záznam o graviditě, zobrazují se jednoduché výstrahy, pro snadné a rychlé potvrzení informací funguje ergonomie softwaru.

Radiolog – hodnotí snímky na základě dávky, kde systém předpokládá korelaci mezi kvalitou snímku a dávkou.

Specialista (např. intervenční chirurg) – má rychlý přístup k datům ze softwaru, a také má přístup ke všem záznamům o pacientovi (FOMEI s.r.o., © 2023).

5 POSOUZENÍ RIZIK PŘI DIAGNOSTICKÝCH VYŠETŘENÍCH UŽÍVAJÍCÍ IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Posouzení rizik bude hodnoceno na základě dat získaných za pomoci softwaru pro evidenci patientských dávek Medsquare RDM a zkušeností odborného personálu spojených s problematikou kumulace dávek ionizujícího záření v lidském těle a také odborníků z pohledu provozní stálosti a technického zabezpečení.

5.1 Příklady rizik spojených s kumulací dávek ionizujícího záření z diagnostických výkonů

Jeden z možných příkladů zvýšené kumulace dávek je při intervenčním výkonu. Na intervenčním pracovišti se nachází angiografický přístroj, jehož součástí je C-rameno. Dále je nutné mít tlakový injektor pro podávání kontrastní látky, či injekční stříkačky naplněné kontrastní látkou. Pacient je dále napojen na EKG monitoring srdečního tepu, což je zvláště důležité u kardiologických výkonů. Nedílnou součástí angiografického přístroje tvoří plochý detekční panel, na kterém se zobrazují rentgenové snímky, a také snímky a sekvence za pomoci digitální subtrakční angiografie.

Díky digitální subtrakční angiografii je možné obraz promítnout do skiaskopie nebo do tzv. road maps. Lékař aplikuje kontrastní látku za současného snímání pohybu kontrastní látky tělem pacienta za pomoci rentgenu. Výsledný obraz se srovnává s předchozím nasnímaným obrazem. Takto zhotovená road mapa má velkou vypovídající hodnotu pro aplikujícího lékaře, protože lékař tak může vidět, kde se například nachází trombóza či krvácení. Vše se provádí Seldingerovou metodou, kde se zajistí žilní či tepenný systém. Nejčastější přístup je přes tříslu či žíly na zapěstí. Tímto způsobem se dá vyměnit i srdeční chlopeň, léčba arytmií, ischemická choroba srdeční nebo se tímto způsobem léčí stavy po infarktu myokardu. Tyto diagnózy jsou nejčastěji indikovány ke koronarografii s terapeutickým výkonem perkutánní transluminální koronární angioplastiky (Vomáčka, et.al., 2015).

Tyto výkony bývají časově náročné a někdy je nutné je opakovat. Lékař i ostatní personál musí být vybaveni ochrannými pomůckami proti ionizujícímu záření, a to vestou (olověná či wolframová) s chráničem štítné žlázy. Součástí přístroje je také krycí zástěna pro intervenčního lékaře. Vzhledem k časové náročnosti některých výkonů dochází

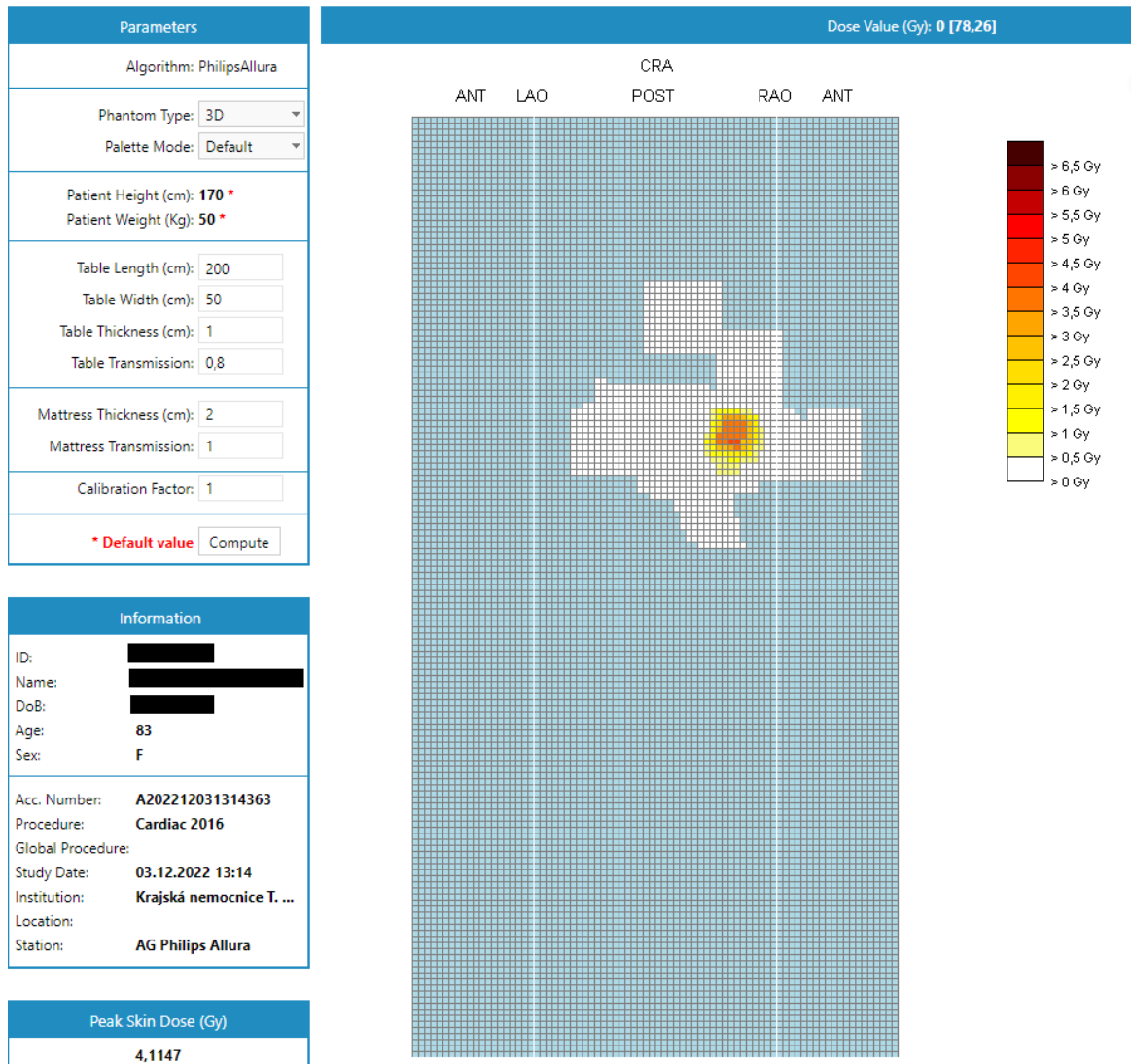
k překračování skiaskopického času a tím k překračování dávek ionizujícího záření. Časové snímky si řídí sám lékař.



Obrázek 18 Angiografický sál připravený k intervenčnímu výkonu (Zdroj: vlastní)

Pacientka byla na angiografickém pracovišti na kardiálním zákroku. Ze softwarových dat je patrné, že pacientce byla ozářena nevelká oblast v okruhu srdce (Obr. 19). I tak je znatelné, že v určité oblasti dávka přesáhla 4 Gy. Při takové dávce dochází dočasně ke ztrátě ochlupení. Dále je také kůže nateklá a zarudlá tvoří se tzv. erytém, což je první stupeň radiační dermatitidy. Vzhledem k těmto skutečnostem měla být pacientka po tomto vyšetření odeslána na kožní oddělení a měla jí být poskytnuta péče o zasažené místo. Pacientka měla být také kontrolována, zda tyto příznaky ozáření ustupují.

Díky softwaru je snadno odhalitelné, zda došlo k překročení dávky. V důsledku zobrazení rozložení dávky na kůži je možné s těmito údaji pracovat a učinit tak opatření, aby se pacientce dostalo náležité péče. Pacienti by také měli být edukováni, že může k takovýmto událostem docházet, proto se mají dostavit na případná další vyšetření a být chvíli po zákroku sledováni odborníky nejen ze zobrazovacích metod, ale i z kožního oddělení, kde nepochybně tento případ patří.

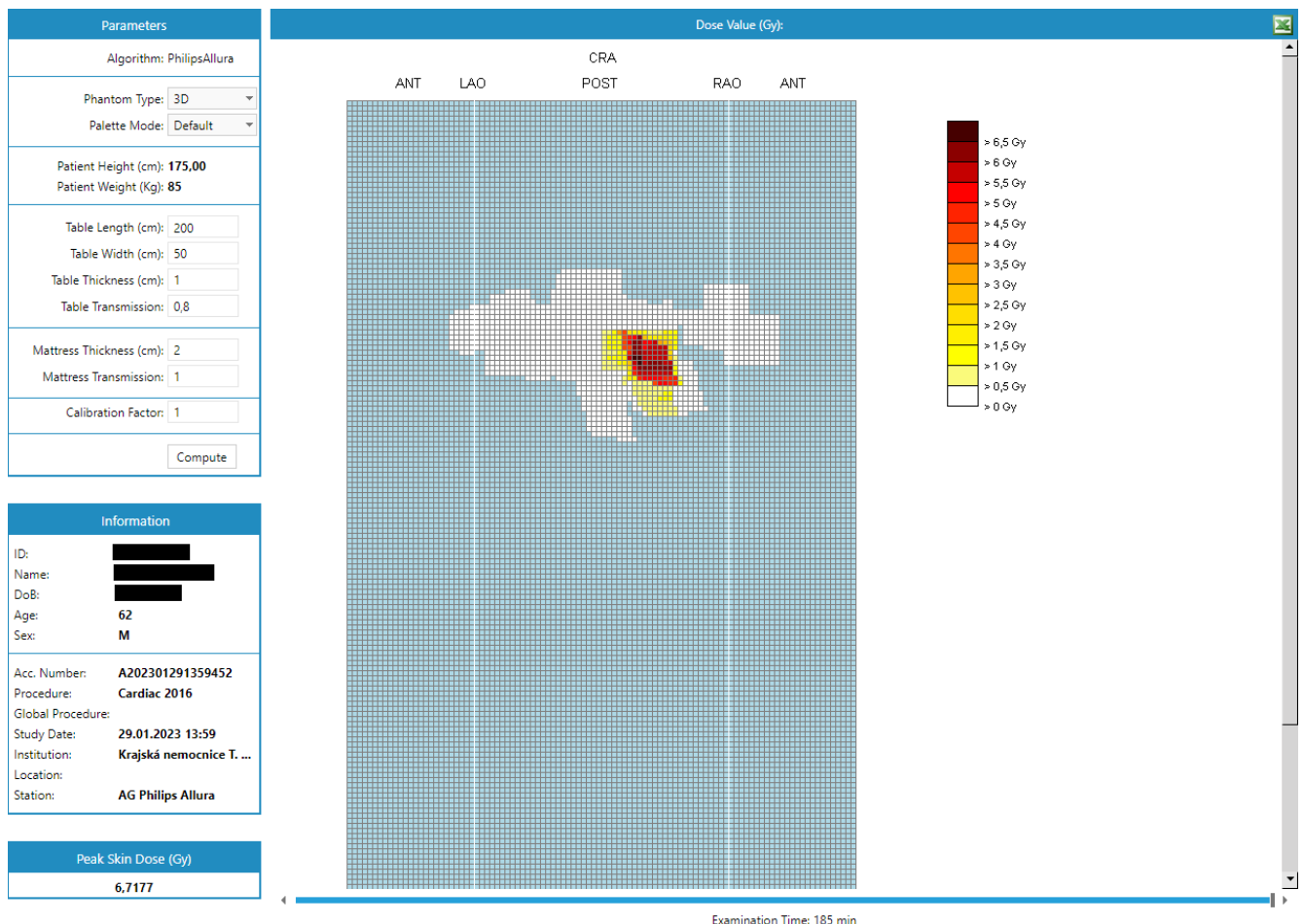


Obrázek 19 Rozložení dávky na kůži u pacientky podstupující intervenční výkon s dávkou přesahující 4 Gy (Zdroj: vlastní)

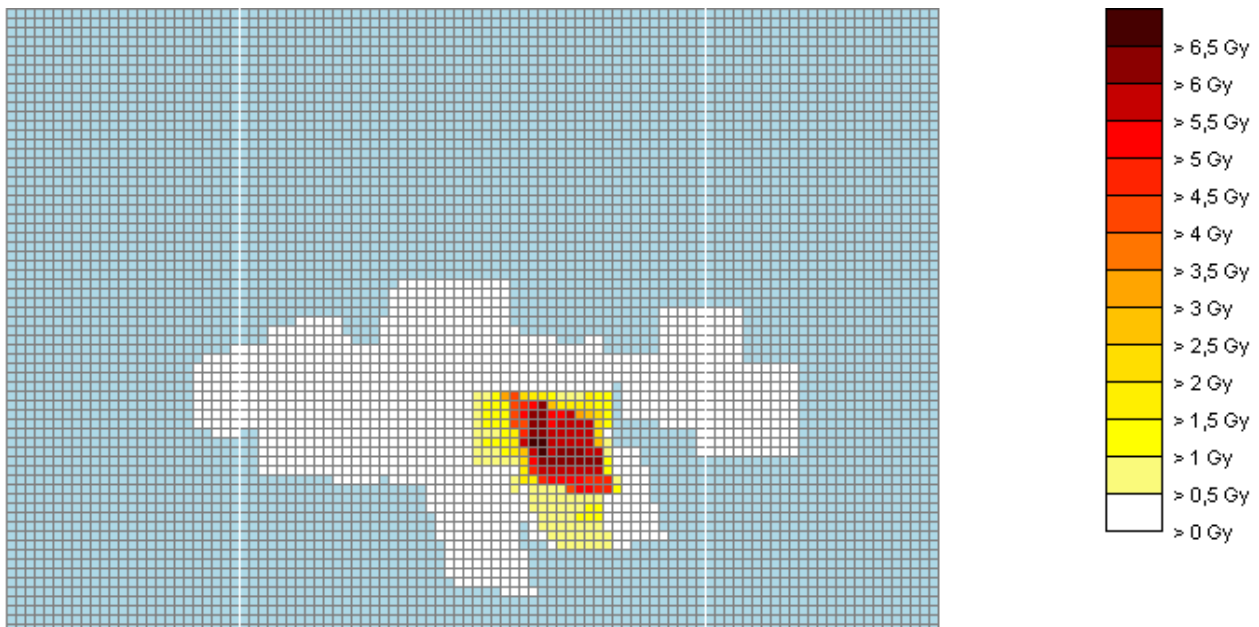
Druhý a závažnější případ kumulace dávek spojených s ionizujícím zářením je taktéž z oblasti intervenčního výkonu. Zde byl pacient na kardiálním zákroku, ale jeho postižení je podstatně větší a rozsáhlejší (Obr. 20). Některá místa byla ozářena dávkou přesahující 6,5 Gy (Obr. 21).

V tomto případě dochází k trvalé epilaci ozářené oblasti takto vysokou dávkou. Také zde vzniká erytém, který může přecházet do druhého stupně radiační dermatitidy, což je vlhká deskvamace. U prvního stupně je kůže zarudlá, nateklá s tmavší pigmentací, kůže je sušší a může se drobně olupovat. V druhé fázi se pokožka olupuje a mokvá, je zde riziko vzniku infekcí. Vzhledem k tak vysoké dávce záření proniká i kůží a může dosáhnout až na

myokard. Při ozáření myokardu vzniká zvýšené riziko vzniku infarktu myokardu. Proto by tento pacient měl být odeslán na kardiologii pro případné došetření tohoto rizika. Ale s určitostí měl být odeslán na kožní oddělení pro kontrolu ozářených míst pro riziko vzniku potenciace rakoviny. Díky tomuto riziku by měl být taktéž odeslán na onkologii. Měl být zkontrolován radiačním onkologem a být edukován o možném potencionálním riziku. Na onkologickém oddělení by měl být poučen, jak se starat o případné dermatitidy, které mohou vzniknout po ozáření tak vysokou dávkou. Během několika týdnů by mělo docházet k ústupu účinků a kůže by se měla postupně hojit. Onkologické oddělení zajišťuje edukaci a případné převazy ran po ozáření. Také klinický radiologický fyzik by měl pacientovi dle příslušných tabulek vypočítat riziko stochastických a deterministických účinků.



Obrázek 20 Mapa rozložení dávky na kůži u pacienta, kde dávka přesáhla 6,5 Gy (Zdroj: vlastní)



Obrázek 21 Zobrazení ozářené srdeční krajiny s oblastmi zasaženými dávkou nad 6,5 Gy. Jeden čtvereček odpovídá 1x1 cm kůže. (Zdroj: vlastní)

Jako další případ rizika, který software dokáže odhalit je špatně nastavený diagnostický zobrazovací protokol (Obr. 22). Ten se odvíjí od místních diagnostických referenčních úrovní, které jsou nastaveny na oddělení a měly by být kontrolovány radiačním fyzikem a zkouškami provozní stálosti a stability. Díky softwaru je tato chyba snadno odhalitelná a může dojít k nápravě takových událostí. Je nutno pozměnit akviziční parametry pro daný typ vyšetření, aby se přiblížil co nejvíce průměrným hodnotám se stejným vyšetřovacím protokolem.

Radiation Dose Monitor																							
v.1.4.6.1 - zatlkaro (Krajská nemocnice T. Bati, a. s.)																							
Studies in Alert Worklist Today's Studies Search Statistics Stations																							
Location: CT DX PT/CT XA																							
Alert Level Filter: Above Level 2																							
	Alert Dose	E (mSv)	Total DLP (mGy.cm)	Total DLP 16 (mGy.cm)	Total DLP 32 (mGy.cm)	IR Events	DLP w/acq (mGy.cm)	CTDIvol w/acq (mGy)	Del X Ma (cm)	Del Y Ma (cm)	Del X N (cm)	Del Y N (cm)	Contrast Product	Imi Qu	Patie ID	Pati Nae	Sex	Pregnancy Status	Age	Weight	BMI	Procedure	Global Proc
	38.22	2026.50	2026.50	2026.50	4	525.94	16.19						UltraVist	490	Kul	M		073Y	82		CT hrudnik		
	7.65	382.50	382.50	382.50	1	123.96	28.21						UltraVist	455	ZVC	F		077Y	80		CT hrudnik		
	15.10	747.80	747.80	747.80	2	180.07	25.79						UltraVist	835	RES	F		039Y	83		CT hrudnik		
	14.99	743.80	743.80	743.80	3	149.80	31.42						UltraVist	440	JIR	M		078Y	79		CT hrudnik		
	6.00	301.10	301.10	301.10	1	92.08	26.04						UltraVist	430	NEI	M		079Y	73		CT hrudnik		
	33.47	1785.30	1785.30	1785.30	4	485.14	16.73						UltraVist	545	BR	F		068Y	84		CT hrudnik		
	31.51	1675.00	1675.00	1675.00	4	401.59	22.43						UltraVist	656	VR	F		057Y	76		CT hrudnik		
	45.41	2395.90	2395.90	2395.90	5	561.38	35.24						UltraVist	580	BRI	M		064Y	80		CT hrudnik		
	23.95	1406.80	1406.80	1406.80	5	248.10	18.13						UltraVist	430	SK	M		080Y	80		CT bricho		
	50.27	2659.90	2659.90	2659.90	4	692.41	15.53						UltraVist	591	ZPE	M		063Y	84		CT hrudnik		
	7.07	353.90	353.90	353.90	1	108.40	29.70						UltraVist	460	POI	M		076Y	75		CT hrudnik		
	6.91	351.30	351.30	351.30	1	142.04	66.62						UltraVist	455	MA	F		077Y	68		CT hrudnik		
	7.05	352.40	352.40	352.40	1	108.20	24.91						UltraVist	335	SM	F		089Y	80		CT hrudnik		

Obrázek 22 Špatně nastavený protokol pro CT hrudníku dle průměrných diagnostických referenčních úrovní (Zdroj: vlastní)

U CT vyšetřeních je pacient zatížen nejen dávkou ze samotného vyšetření s užitím ionizujícího záření, ale taktéž bývá zatížen i kontrastní látkou. Nejčastěji se jedná o jodovou kontrastní látku jako například Ultravist, Iomeron či Visipaque, které se aplikují nitrožilní cestou za pomoci tlakového injektoru či injekční stříkačkou. Tyto látky jsou nejpoužívanější, ale nesou svá rizika. Kontrastní látky se vylučují ledvinami, ve vzácných případech může po podání kontrastu dojít až k selhání ledvin. Pokud se jedná o rizikového pacienta je nutné u něj vyšetřit ureu a kreatinin (udávají funkci ledvin). Poté je v takovém případě kontrast kontraindikován. Může se stát u patologických jevů, že kontrastní látka prostoupí hematoencefalickou bariérou a může tak vyvolat edém mozku, epileptický záchvat či se zhorší ložiskový nález jako například nádor. U pacientů s postižením štítné žlázy je podání kontrastní látky vysoce rizikové. Na některé jedince mohou mít kardiotoxický účinek, tím že se snižují stahy srdeční svaloviny. Jedním z nejzávažnějších rizik s podáním kontrastní látky je alergická reakce, která přechází do anafylaktického šoku. Tam vzniká riziko ohrožení pacienta na životě (Vomáčka, et.al., 2015).

Proto je velmi důležitá prevence vedlejších účinků. Pacient by měl být předem edukován, jak před takovým vyšetřením postupovat. Měl by být dostatečně hydratovaný, měl by mít alergologickou anamnézu (primárně že není alergický na jod), a také musí mít po celou dobu vyšetření zajištěnou periferní cévu přes kanylu. U diabetických pacientů musí být vysazen dva dny předem Metformin (Vomáčka, et.al., 2015).

5.2 Stanovení posuzovaných rizik

Stanovení posuzovaných rizik a jejich rozdělení na rizika pro pacienty, personál a ostatní rizika spojená s diagnostickými výkony používající ionizující záření.

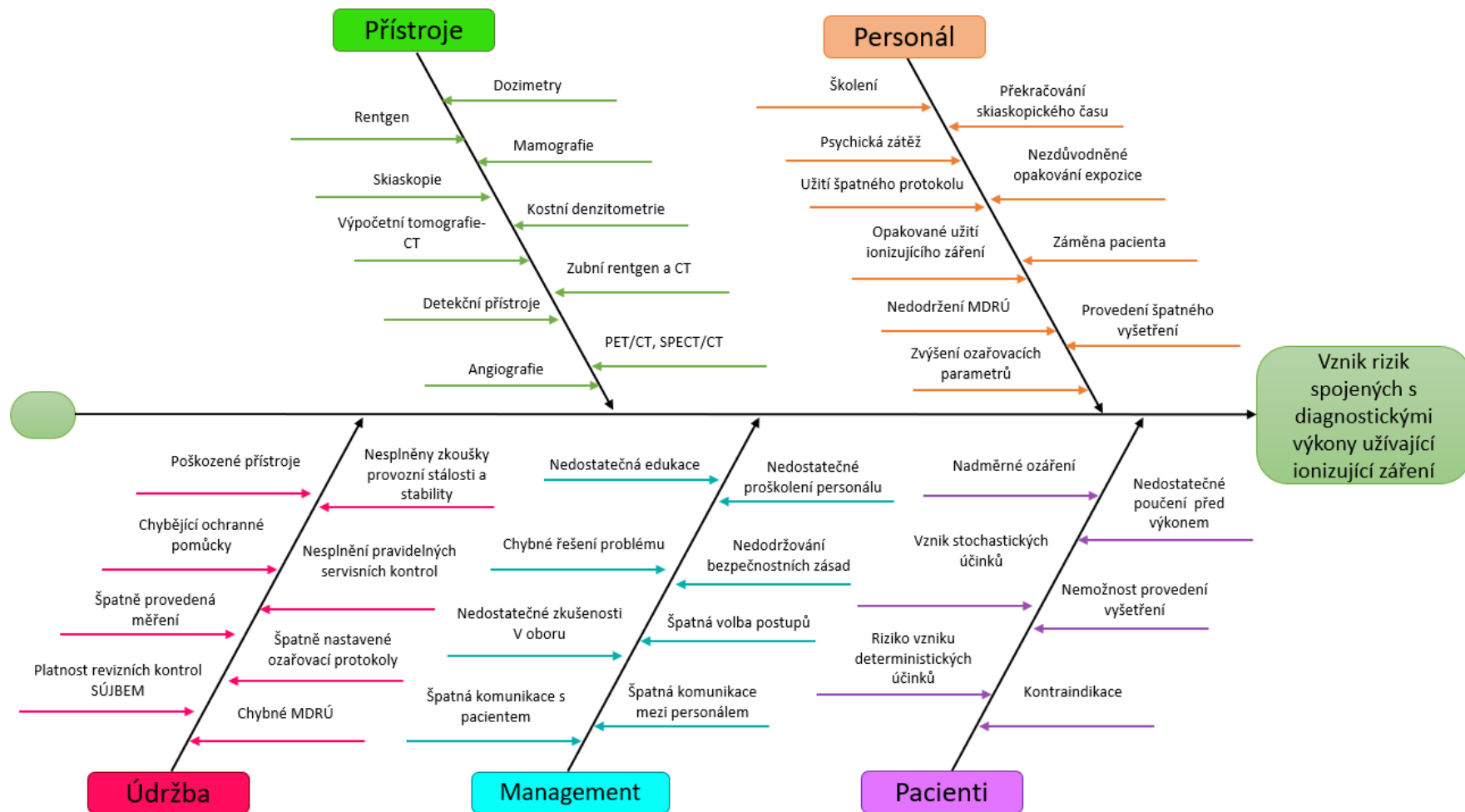
- rizika pro pacienty:
- ohrožení zdraví, nutnost zdlouhavé léčby, potenciální riziko vzniku rakoviny,
- rizika pro personál:
 - ohrožení zdraví,
 - překročení místních diagnostických referenčních úrovní,
 - ohrožení pacientem,
 - rizika spojená s užitím diagnostických přístrojů,
- ostatní rizika:

- rizika s nedostatečným vybavením na pracovišti,
- rizika spojená s nefunkčností přístrojů či závadami,
- rizika nepředvídatelná.

5.3 Ishikawa diagram

Vytvoření Ishikawa diagramu příčin a následků k rizikům spojených s diagnostickými výkony užívající ionizující záření. Za pomoci brainstormingu osob znalých danou problematiku přispělo k vytvoření diagramu.

Jedná se o jednoduchý grafický nástroj užívaný k pochopení příčin, které produkují defekty nebo problémy, a analyzuje vztah mezi problémem a všemi možnými příčinami. Ishikawa diagram – rybí kost či diagram příčin a následků vyvinul Kaoru Ishikawa. Tento diagram je schematicky rozdělen na hlavu, kde je zkoumaný problém a rybí kosti představují potenciální příčiny a podpříčiny dané problematiky. Počet kostí je v rozmezí od 4 do 8. Tento diagram lze použít v různých odvětvích jak už v různých výrobních činnostech, tak v oblasti služeb poskytovaných příjemcům. Jeho užívání se stále rozšiřuje například i do lékařského prostředí. Na jeho sestavování se může podílet celý tým odborníků, aby se tak dosáhlo co nejvíce odhalení příčin a následků (Luca, Pasare a Stancioiu, 2017).



Obrázek 21 Ishikawa diagram (Zdroj: vlastní)

Popis Ishikawa diagramu

Tento Ishikawa diagram byl vytvořen k identifikaci rizik spojených s diagnostickými výkony užívanými ionizujícími zářeními. Kde je v hlavě identifikován následek a na kostech se nacházejí příčiny. Kostí jsou rozloženy do pěti sekcí.

- Přístroje – Rizika související s přístrojovou technikou používanou na diagnostickém oddělení. Jejich problémový chod, nebo případné poruchy mají za následek zvýšenou radiační zátěž.
- Personál – Tato rizika zohledňují lidský faktor.
- Pacienti – Rizika, která mohou nastat u pacientů.
- Management – Rizika spojená s řízením na oddělení.
- Údržba – Rizika hrozící při nesprávné údržbě a nedodržování servisů.

Díky použití Ishikawa diagramu, kde jsou graficky znázorněny existující vztahy mezi problémem, a potencionálními příčinami, dochází tak k jejich snadnému odhalení a pomáhá nám tak lépe pochopit studovaný problém. Diagram nám pomáhá odstraňovat příčiny, pro vznik dané problematiky. Je nutné výsledky zapracovat do systému řízení, případně upravit procesy (Luca, Pasare a Stancioiu, 2017).

5.4 Vyhodnocení rizik za pomoci metody PNH pro rizika spojená s diagnostickými vyšetřeními užívanými ionizujícími zářeními a kumulací dávek

Pro vyhodnocení rizik spojených s diagnostickými vyšetřeními užívanými ionizujícími zářeními a s tím související kumulace dávek byla použita metoda PNH. Díky této analýze můžeme zhodnotit nastalá i budoucí rizika a učinit tak vhodný návrh na opatření ke snížení či odstranění těchto rizik.

Jedná se o jednoduchou bodovou polokvantitativní metodu, kde je riziko hodnoceno ve třech složkách a to:

- pravděpodobnost vzniku (P),
- pravděpodobnost (závažnost) následků (N),
- názor hodnotitelů (H).

Na stupnici odhadu pravděpodobnosti, která je dána vzestupně čísly od 1 do 5, se udává možná pravděpodobnost, se kterou může dané nebezpečí opravdu nastat. Je v ní zahrnuta míra, úroveň a kritéria jednotlivých nebezpečí a ohrožení.

Tabulka 3 Pravděpodobnost vzniku rizika (upraveno podle Koudelka a Vrána, 2006)

Pravděpodobnost vzniku či existence rizika	Bodové hodnocení
Náhodná	1
Málo pravděpodobná	2
Pravděpodobná	3
Vysoce pravděpodobná	4
Trvalá	5

Pro stanovování pravděpodobnosti následků se používá rovněž stupnice od 1 do 5. Jedná se o to, jak velká míra rizika může nastat v dané situaci.

Tabulka 4 Možné následky jevu (upraveno podle Koudelka a Vrána, 2006)

Možné následky rizika	Bodové hodnocení
Žádné nebo zanedbatelné ohrožení zdraví	1
Malé poškození zdraví	2
Ohrožující zdraví	3
Velmi ohrožující zdraví	4
Smrtné poškození zdraví	5

U názoru hodnotitelů se zohledňuje míra závažnosti ohrožení, kolik je ohrožených osob, čas působení rizika, stáří a technický stav zařízení, objektů apod., míra údržby, kumulace rizik, průběh rizika, možnost zajištění první pomoci, vliv pracovního systému, prostředí a pracovních podmínek, psychosociální rizikové faktory a případně i další události mající vliv na riziko.

Tabulka 5 Názor hodnotitele (Zdroj: vlastní)

Názor hodnotící osoby	Bodové hodnocení
Zanedbatelný vliv	1
Malý vliv	2
Nezanedbatelný vliv	3
Významný a velký vliv	4
Velmi závažný vliv	5

Výsledkem je poté ukazatel míry rizika (**R**), který vzniká součinem jednotlivých činitelů P, N, H. Jednotlivé součiny jsou poté zařazeny do určitého stupně rizika.

$$R = P \times N \times H$$

Tabulka 6 Hodnocení rizik (upraveno podle Koudelka a Vrána, 2006)

Stupeň rizika	Rozmezí rizika	Míra rizika
I.	>100	Nepřijatelné riziko
II.	51÷100	Nežádoucí riziko
III.	21÷50	Zvýšené riziko
IV.	5÷20	Přijatelné riziko
V.	<4	Zanedbatelné riziko

Dle výpočtu míry rizika budou stanoveny stupně míry rizika a rozděleny do příslušných kategorií od I. do V. Kde stupně rizika vyjadřují:

- I. – tato míra rizika je nepřijatelná a je nutné okamžitě učinit opatření k jejich snížení či odstranění. V činnosti nelze dále pokračovat, dokud tak nebude učiněno.
- II. – nežádoucí rizika musejí být snížena na přijatelnou úroveň a je nutné na ně vynaložit úsilí pro jejich nápravu.
- III. – u zvýšeného rizika nejsou nutná taková opatření jako u nežádoucích rizik, ale přesto je dobré je postupem času odstranit nebo snížit na minimum.

- IV. – toto riziko je akceptováno a je s ním počítáno, přesto by mělo být zváženo, zda neprovést nějaká nápravná opatření jako například školení zaměstnanců apod.
- V. – na bezvýznamné riziko není požadováno žádné zvláštní opatření. Riziko není vyloučeno, ale pravděpodobnost že nastane je zanedbatelná (Koudelka a Vrána, 2006).

Tabulka 7 Analýza PNH (Zdroj: vlastní)

Identifikace rizika	Možná příčina rizika	Bodové vyhodnocení rizik				Návrhy na opatření rizik
		P	N	H	R	
Překračování skiaskopického času	Dlouhé a náročné vyšetření	4	4	5	80	Viditelně zobrazit ozařovací čas a případně jej zkrátit na možné minimum.
Překračování skiaskopického času	Nespolupracující pacient	3	3	3	27	U nespolupracujícího pacienta doporučuji analgosedaci.
Nezdůvodněné opakování expozice	Opakování vyšetření	3	2	2	12	Snížit počet opakovaných expozic na minimum.
Záměna pacienta	Nedostatečná kontrola a soustředěnost personálu	2	5	5	50	Maximální soustředěnost personálu provádějící výkon.
Záměna pacienta	Shoda jmen	3	5	5	75	Užití číselného vyvolávacího systému.
Zvýšení ozařovacích parametrů	Obézní pacient	2	3	4	24	Vytvořit speciální protokol pro tyto případy, který bude vyhovovat MDRÚ.

Tabulka 8 Analýza PNH (Zdroj: vlastní)

Identifikace rizika	Možná příčina rizika	Bodové vyhodnocení rizik				Návrhy na opatření rizik
		P	N	H	R	
Opakované užití vyšetření s užitím ionizujícího záření	Neznalost předchozích vyšetření	4	3	4	48	Užití softwaru pro evidenci dávek RDM.
Opakované užití vyšetření s užitím ionizujícího záření	Nedostatečná evidence počtu vyšetření	4	3	4	48	Užití softwaru pro evidenci dávek RDM.
Riziko vzniku stochastických účinků	Kumulace dávek	1	5	5	25	Snížit tato rizika na minimum dodržováním ALARA.
Riziko vzniku deterministických účinků	Překročení ozařovací dávky nad práh	2	4	5	40	Užívání softwaru pro evidenci dávek pro předcházení těchto účinků.
Nadměrné ozáření pacienta při intervenčním výkonu	Dlouhý a komplikovaný výkon	3	3	4	36	Odeslat pacienta ke sledování účinků záření na onkologii a kožní oddělení.
Nedostatečné poučení pacienta před výkonem	Pochybení personálu	1	1	1	1	Zhotovit soupis věcí, co je nutné pacientovi sdělit a umístit jej na viditelné místo.
Nedostatečná edukace personálu	Časové důvody	2	4	5	40	Time management, pro zaškolování personálu.
Špatná komunikace mezi pacientem a personálem	Nedostatečné pochopení z obou stran	1	1	2	2	Ptát se pacienta, zda všemu rozumí, pokud ne, pokusit se mu to vysvětlit lépe a s porozuměním.

Tabulka 9 Analýza PNH (Zdroj: vlastní)

Identifikace rizika	Možná příčina rizika	Bodové vyhodnocení rizik				Návrhy na opatření rizik
		P	N	H	R	
Nesplnění pravidelných servisních kontrol	Nedostatečná evidence	2	5	5	50	Zhotovit řádnou evidenci kontrol s případným časovým upozorněním.
Chybně nastaveny MDRÚ	Chybně nastavené parametry fyzikem	2	4	5	40	Odhalení za pomoci softwaru a následná optimalizace, tak aby byly MDRÚ vyhovující.
Špatně nastavené expoziční protokoly	Chybně nastavené parametry fyzikem	3	4	4	48	Evidence softwarem a následná úprava na vyhovující protokoly.
Chybějící či poškozené ochranné pomůcky	Nedostatečná kontrola personálem	3	3	3	27	Každodenní kontrola pomůcek.
Poškozené přístroje	Nedostatečná kontrola personálem	2	5	5	50	Každodenní kontrola a evidence, kdo kontrolu prováděl.
Odstávka elektrické energie	Výpadek energií	1	4	4	16	Zajistit dostatečné množství záložních zdrojů, alespoň pro dokončení nezbytných vyšetření.
Chybějící dozimetry a měřicí zařízení	Nedostatečná kontrola personálem	2	3	3	18	Každodenní kontrola, zda se na pracovišti tato zařízení nachází.
Alergická reakce na kontrastní látku	Špatná kontrola dokumentace	3	5	5	75	Výrazně a viditelně označovat tyto údaje v dokumentaci.

Za pomoci této polokvantitativní metody byla identifikována možná důležitá rizika, se kterými se pojil Ishikawa diagram. Příčiny těchto rizik byly rozvedeny a následně číselně vyhodnoceny. Byly zde také určeny příčiny těchto rizik a učiněny návrhy na jejich opatření vedoucí ke snížení daných rizik. Bylo identifikováno 22 rizik.

Tabulka 10 Četnost výskytu rizik dle daných kategorií (Zdroj: vlastní)

Stupeň rizika	Četnost
Rizika I. kategorie	0
Rizika II. kategorie	3
Rizika III. kategorie	14
Rizika IV. kategorie	3
Rizika V. kategorie	2
Celkem	22

U posledních dvou kategorií, do kterých spadají zanedbatelná a přijatelná rizika nejsou nutná významná opatření, jen je potřeba je vnímat a myslet na ně, aby se z nich nestaly případně rizika zvýšená či nežádoucí.

Nejpočetnější skupinu tvoří zvýšená rizika, kde je již předmětem zvážení jejich náprava, vedoucí k jejich snížení. Pokud by tato rizika byla zanedbaná, časem by se z nich mohly stát rizika nežádoucí či nepřijatelná, u kterých je už následné opatření nezbytné a velmi důležité. Proto je na každém zaměstnavateli či organizaci, zda tyto rizika podcení nebo jim bude věnovat pozornost a učiní nějakou jejich optimalizaci.

Do kategorie nežádoucích rizik spadají tři rizika, u kterých je nutné sjednat okamžité opatření pro jejich závažnost, aby se dále tato rizika neopakovala. Do této kategorie spadají tato tři rizika:

Tabulka 11 Výčet rizik II. kategorie

Identifikace rizika	Možná příčina rizika	R	Návrh opatření rizika
Překračování skiaskopického času	Dlouhé a náročné vyšetření	80	Viditelně zobrazit ozařovací čas a případně jej zkrátit na možné minimum.
Záměna pacienta	Shoda jmen	75	Užití číselného vyvolávacího systému.
Alergická reakce na kontrastní látku	Špatná kontrola dokumentace	75	Výrazně a viditelně označovat tyto údaje v dokumentaci.

K návrhům na ošetření těchto rizik dojde poté v další kapitole. Tyto rizika by mohla vést k nenávratnému poškození zdraví člověka či dokonce způsobit jeho smrt, proto je nutné je řešit zavčas, než k takové události dojde.

V kategorii nepřijatelných rizik nebyla shledána žádná rizika. Pokud by ovšem taková rizika vyvstala bylo by nutné okamžitě reagovat a učinit nápravné opatření a rizika optimalizovat. Bylo by nutné pozastavit i provoz, dokud by tato rizika nebyla ošetřena.

5.5 Hodnocení uživatelské přívětivosti softwaru za pomoci SWOT analýzy

Tato analýza hodnotí vnitřní (interní) a vnější (externí) faktory, které mají vliv na chod organizace či firmy, ale má také spoustu uplatnění v dalších odvětvích. SWOT analýza byla vyvinuta Albertem Humphreym ze Stanfordovy univerzity pro výzkumný projekt s cílem odhalit proč selhává firemní plánování. Název SWOT analýzy vyplývá z anglických názvů částí z nichž se analýza skládá, a to Strengths, Weaknesses, Opportunities a Threats. Což znamená, že se zabývá silnými stránkami, slabými stránkami, příležitostmi a hrozbami. Kde vnitřní faktory tvoří silné a slabé stránky a vnější faktory jsou tvořeny příležitostmi a hrozbami. Vzájemným srovnáním skupin nalezených charakteristik je možné odhalit potenciál, snížit rizika nebo s nimi postupem času pracovat. Pokud jsou rizika správně identifikována mohou být efektivně eliminována (Adams, 2014).

Na základě posouzení silných a slabých stránek, a také příležitostí a hrozeb, byla vytvořena SWOT analýza pro hodnocení uživatelské přívětivosti softwaru pro evidenci patientských dávek RDM.

		Pozitivní		Negativní				
		Silné stránky		Slabé stránky				
		důležitost	hodnocení	důležitost	hodnocení			
INTERNÍ	1	Ukazuje okamžitá data o patientské dávce	0,1	5	1	Vyšší pořizovací cena	0,15	-4
	2	Zobrazuje všechny vyšetření za den	0,1	4	2	Software je v angličtině	0,1	-3
	3	Počítá orgánové dávky	0,1	5	3	U některých statistik menší přehlednost	0,05	-2
	4	Pokročilé statistické a analytické metody	0,1	5	4	Není povinný ve všech lékařských zařízeních	0,05	-4
	5	Dávková mapa rozložení dávky na kůži	0,1	5	5	Nedostupný pro všechny nemocnice	0,1	-4
	6	Poskytuje okamžité informace o překročení dávky	0,15	5	6	Náročnější obsluha	0,05	-3
	7	Zobrazuje vyšetření, která nejvíce překračují MDRÚ	0,1	5	7	Není přístupný všem lékařům	0,1	-3
	8	Sleduje vývoj dávky v čase	0,05	3	8	Dostupný je pouze v rámci nemocnice - nelze se připojit z domu Technická podpora je v Hradci Králové- delší časové řešení	0,1	-4
	9	Snadná propojitelnost PACS a NIS	0,1	4	9	Problémů	0,1	-3
	10	Pacienti s aktivní výstrahou- více hlídání	0,1	4	10	Malé zastoupení v českých nemocnicích	0,2	-3
		Součet						-3,35
		4,6						
		Příležitosti		Hrozby				
EXTERNÍ	1	Digitalizace a propojení systémů	0,15	5	1	Finanční a ekonomická krize	0,1	-3
	2	Využití softwaru i v Evropě- primárně ve Francii	0,1	2	2	Odmítnutí implementace do nemocničního prostředí	0,1	-3
	3	Využití dotačních fondů z EU na pořízení	0,15	4	3	Nespolupráce nemocničních zařízení	0,15	-3
	4	Zkvalitnění péče o pacienty	0,1	5	4	Zatížení systému daty	0,05	-3
	5	Přínos pro společnost - statiky UNSCEAR	0,15	4	5	Růst cen energií	0,1	-2
	6	Zvýšený zájem o obor diagnostiky	0,05	5	6	Kyberkriminalita a terorismus	0,1	-3
	7	Mezinárodní spolupráce	0,1	4	7	Nedůvěra ze strany lékařů	0,05	-3
	8	Zvyšování kvality diagnostických vyšetření	0,1	5	8	Zpoplatnění služby	0,1	-3
	9	Motivace personálu o dodržování zásady ALARA	0,05	3	9	Narušení dodávek elektrické energie	0,1	-4
	10	Využití softwarových dat pro výzkumné účely	0,05	4	10	Zvýšení nákladů na provoz diagnostického oddělení	0,15	-4
		Součet						-3,15
		4,15						

Obrázek 22 SWOT analýza uživatelské přívětivosti softwaru pro evidenci dávek (Zdroj: vlastní)

Z provedené SWOT analýzy vyplývá, že mezi silné stránky softwaru patří okamžité zobrazování přijaté dávky z vyšetření, počítání dávek pro jednotlivé orgány, a také zobrazuje dávkovou mapu. Neméně důležité je také poskytování okamžité informace o překročení dávky s vazbou na mailovou adresu lékaře. Mezi další silné stránky jednoznačně patří také vyhodnocování za pomoci statistických a analytických metod, protože jinak by to bylo velmi časově náročné a zdlouhavé dohledávání informací a dat. Je také dobře kompatibilní s nemocničním informačním systémem a systémem PACS pro odesílání snímků.

Mezi slabé stránky lze jednoznačně zařadit vyšší pořizovací náklady softwaru. Dále mezi slabé stránky patří, že není v České republice povinný a tudíž je na dobrovolnosti nemocničního zařízení zda ho pořídí či ne. A s tím souvisí i možná nedostupnost pro všechny nemocnice jak už z finančního hlediska tak z hlediska dobrovolnosti pořízení. Jako mínus se

také jeví fakt, že software funguje jen v rámci nemocničního informačního systému a tudíž se lékař nemůže připojit z domácího počítače pro zobrazení dat.

Jako příležitosti je určitě zařazeno zkvalitnění péče o pacienty, a také zvýšení diagnostické kvality vyšetření. Mezi velmi výrazné příležitosti náleží též digitalizace a propojení systémů, ať už v rámci nemocnice či ostatních nemocničních a lékařských zařízení. Díky tomuto systému může dojít i o zvýšení zájmu o obor, což je v současnosti velmi důležité, protože na poli diagnostiky chybí velké množství odborného personálu, ať už lékařů radiologů, tak radiologických asistentů, kterých je kritický nedostatek.

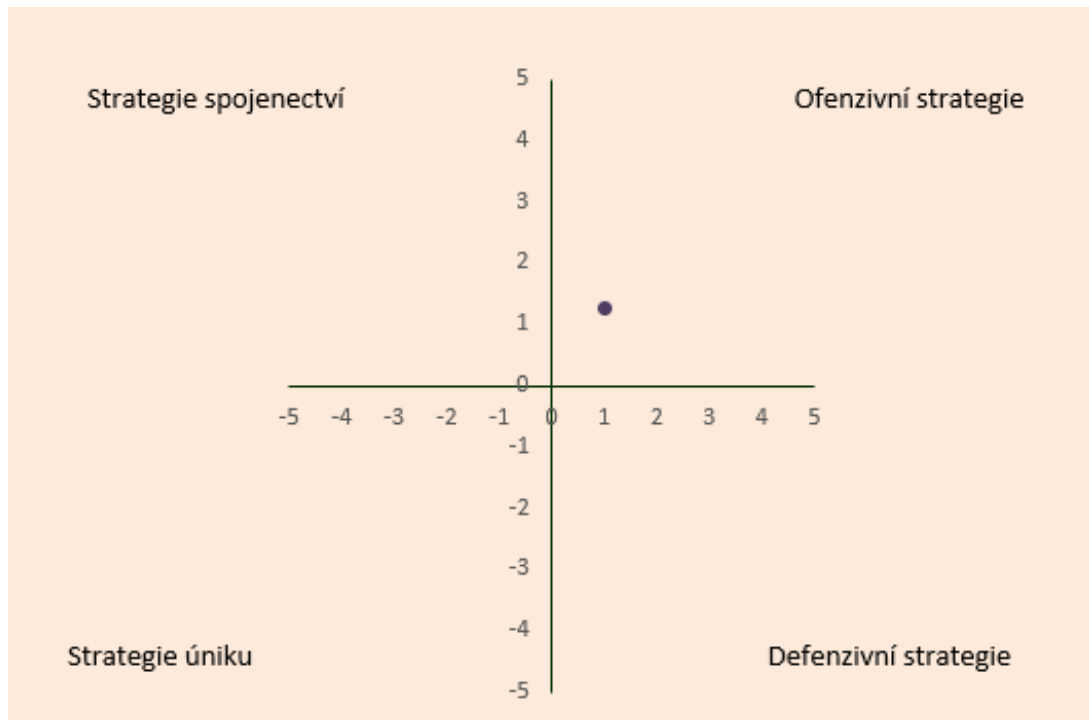
Za největší hrozbu je považováno zvýšení nákladů na provoz diagnostického oddělení, protože každá nemocnice si sama řídí roční náklady na daná oddělení a ne každé zařízení je ochotno si za takovou službu připlatit. Další hrozbou může být narušení dodávek energií. Software ani přístroje se bez elektrické energie neobejdou a na tyto účely jsou vyhrazovány nemalé finanční zdroje. Mezi další hrozby lze například zařadit kyberkriminalitu, což je v současnosti velmi řešené téma.

SWOT analýza – strategie

U tvorby SWOT analýzy byla postupně ke každému úseku příležitostí, hrozeb, silných a slabých stránek přiřazena jejich důležitost, váha a dále bylo přidáno hodnocení. Důležitost se postupně přiřazuje v každém kvadrantu a to tak, aby součet všech hodnot byl roven jedné. Hodnocení bylo poté provedeno pomocí stupnice od jedné do pěti, kde hodnota jedna je nejméně důležité a naopak hodnota pět je nejvíce důležité. Kladných hodnot nabývají silné stránky a příležitosti a záporných hodnot zase slabé stránky a hrozby.

Pro získání výsledků analýzy a současný návrh strategie, je nutné vynásobit v každém kvadrantu jednotlivé hodnoty důležitosti s hodnotami samotného hodnocení a výsledné hodnoty sečíst. Pro vynesení hodnot na číselné osy výsledného grafu je nutné odečíst mezi sebou interní a externí část analýzy. To uděláme tak, že odečteme konečnou hodnotu slabých stránek od výsledné hodnoty silných stránek a to samé uděláme i s příležitostmi a hrozbami, a tyto hodnoty zaznačíme do výsledného grafu strategie.

Graf 1 Výsledné grafické zobrazení SWOT analýzy (Zdroj: vlastní)



Z grafu plyne, že strategie softwaru je velmi příznivá a spadá do ofenzivní strategie. Převažují u něj síly nad slabostmi, a také využití příležitostí nad hrozbami. Díky tomu je schopen toho využít se všemi možnými příležitostmi. Vzhledem k této strategii může mít společnost vlastníci tento software výhradní postavení na tuzemském trhu.

6 NÁVRH OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ RIZIK SPOJENÝCH S DIAGNOSTICKÝMI VÝKONY UŽÍVAJÍCÍ IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

Po vyhodnocení analýzy PNH se projevila tři rizika jako nežádoucí. Těmito riziky byly překračování skiaskopického času, záměna pacienta a alergická reakce na kontrastní látku. U překračování skiaskopického času je nutné, aby byl čas potřebný k vyšetření zkrácen na co nejmenší možné minimum, aby se zabránilo situacím jako byly popsány v předchozí kapitole. Je také vhodné, aby tento čas byl viditelně a v reálném čase zobrazován na uživatelském panelu a byl dostatečně viditelný i s přibývajícím dávkou aplikovanou pacientovi. Pokud již došlo k překročení aplikující dávky nad 6,5 Gy, je nutné, aby byl pacient odeslán na kontrolu na kožní a onkologické oddělení, a byl i nadále po nějaký čas sledován, kvůli možným nežádoucím následkům a případně mu byla poskytnuta následná péče, aby se jeho stav v brzké době zlepšil.

U záměny pacienta se jedná o lidské pochybení, proto je důležité těmto událostem předcházet a pacienty se shodným jménem výrazně označit. Pokud je pacient volán na vyšetření je nutné jej oslovovat jménem i příjmením. Popřípadě pokud je možná fotodokumentace tak je vhodné, aby u jména osoby figurovala i fotografie. Vždy je nutné zachovat GDPR v co možná největší míře. Pro tento případ by bylo také vhodné zavést číselný vyvolávací systém. Vše by bylo anonymní a každý pacient by dostal pořadové číslo, které se zobrazí nad příslušnými dveřmi, kde bude pacient vyšetřován či mu bude prováděno dané vyšetření. Takový systém by odstranil lidský faktor a dalo by se jím předcházet záměně pacientů.

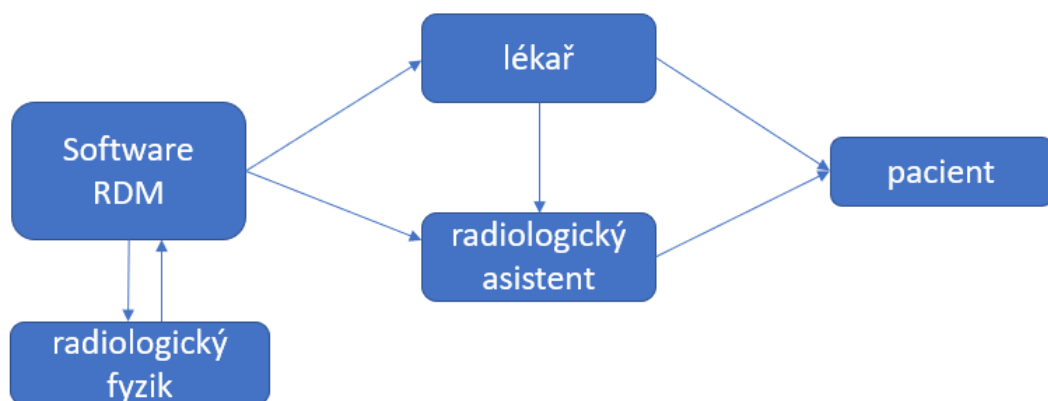
Pokud se stane, že je pacient alergický na kontrastní látku je možnost, že on sám o alergii nevěděl, nebo si personál nevšiml v dokumentaci této informace. V důsledku reakce na kontrastní látku vznikají lehké reakce jako nauzea, návaly horka, začervenání kůže nebo reakce v místě vpichu kontrastní látky. Nebo vznikají střední reakce, a těmi jsou tachykardie, závratě, sípavé dýchání, kontrakce bronchů či laryngu nebo také zhoršená funkce ledvin, ke které dochází v důsledku podání většího množství kontrastu při dlouhých intervenčních výkonech. Nejhoršími reakcemi jsou ty závažné, které mohou pacienta ohrozit i na životě bez okamžitého zásahu. Takovými reakcemi jsou anafylaktický šok a kardiovaskulární selhání. Vždy je důležité těmto událostem předcházet a učinit opatření k minimalizaci těchto rizik. V první řadě by informace o takové alergii měla být uvedena na dokumentaci pacienta velmi viditelně a výrazně. V počítači by se měla automaticky zobrazit tabulka s tímto údajem pro

včasné varování. Dále je nutné, aby byl pacient dostatečně hydratován. U každého pacienta je nutné zajistit periferní žílu za pomoci kanyly, aby se v případě jakékoli reakce mohlo touto cestou okamžitě podat antihistaminikum (léky proti alergické reakci) či kortikoidy. U diabetických pacientů je nutné, aby dva dny předem neužívali Metformin. Po vyšetření s kontrastní látkou je nutné, aby byl pacient sledován ještě alespoň 30 minut po vyšetření, zda se nedostaví nežádoucí účinky a v následných 24 hodinách by měl být zavodněn, aby se látka co nejrychleji vyloučila.

Dalším vhodným opatřením pro snížení rizik ve spojitosti s diagnostickými výkony je implementace softwaru RDM do prostředí nemocničního informačního systému. Software byl popsán již v předchozích kapitolách. Jedná se o inovativní software, který je schopen předcházet určitým situacím a varovat personál před možnými riziky, jako například opakovaný počet vyšetření, překročení dávky při angiografických výkonech, dokáže odhalit špatně nastavené ozařovací protokoly. V rámci opatření rizik jsem zpracovala jednoduchou uživatelskou příručku pro využívání softwaru v prostředí nemocnice, aby co nejlépe pomáhal předcházet nežádoucím rizikům.

Příručka pro optimální využívání potenciálu softwaru RDM na diagnostickém oddělení Krajské nemocnice T. Bati a.s.

Cílem příručky je, aby zaměstnanci diagnostického oddělení, jak už lékaři, tak radiologičtí asistenti co nejvíce využívali potenciálu softwaru při řešení rizik spojených s kumulací dávek z vyšetření, jehož součástí je ionizující záření.



- Pravidelná kontrola dat – fyzikem, lékařem či radiologickým asistentem.
- Správné nastavení místních diagnostických referenčních úrovní.

- Snaha o užívání co nejmenší zátěže pacientů ionizujícím zářením.
- Pokud dojde ke zvýšené kumulaci dávky, je nutné zajistit, aby k tomu dále nedocházelo. Toho docílíme za pomoci nastavených hlídacích výstrah.

V rámci zjišťování informací a monitorování pacientů za pomoci softwaru, zda došlo ke zmírnění užívání ionizujícího záření či bylo učiněno nějaké opatření, tak aby byly optimalizovány rizika, byl vytvořen kontrolní seznam pro zaměstnance. Kontrola by měla probíhat denně, aby bylo včas zjištěno pochybení, a dala se učinit na vzniklé rizikové situace opatření. Tento kontrolní seznam by měl být na každém diagnostickém pracovišti pracující se softwarem RDM, a měl by být denně vyplněn zaměstnanci pro evidenci a kontrolu.

Tabulka 12 Kontrolní seznam pro zaměstnance (Zdroj: vlastní)

Činnost	Denní kontrola	Provedl	Splněno
Kontrola denních vyšetření			
Kontrola pacientů s aktivní výstrahou			
Kontrola nastavených protokolů			
Kontrola vyšetření překračující MDRÚ			
Kontrola skin maps pro angiografii			
Kontrola vyšetření s aktivní výstrahou			

ZÁVĚR

Téma kumulace dávek v diagnostických výkonech je dodnes nevyřešenou otázkou. Ve světě i v České republice se tato tématica převážně vztahuje na kolektivní dávku a chybí jí individuální přístup k jednotlivcům. V rámci České republiky figuruje firma Fomei se svým softwarem na prvním místě v evidenci dávek pro jednotlivce. Věřím, že má práce a zapůjčení softwaru Krajské nemocnici T. Bati ve Zlíně přispěje mezi stále se rozšiřující portfolio zdravotnických zařízení, která vlastní tento software a přispívají tak ke zkvalitnění zdravotnické péče na domácí půdě. Vzhledem k vyhodnoceným rizikům a doporučením k jejich minimalizaci, je vhodná instalace softwaru. Právě ten by napomáhal s odhalením některých nedostatků na pracovišti spolu s vytvořenou příručkou a dodržováním zásad ALARA a radiační ochrany. Jedná se o sofistikovaný systém hlídání patientských dávek s diagnostickými vyšetřeními užívající ionizující záření. Dále by bylo vhodné minimalizovat chyby lidského faktoru a to tím, že se personál bude plně věnovat práci a bude se snažit předcházet možným chybám, které by mohly vést k závažným zdravotním důsledkům. Například k záměně pacienta by nemuselo docházet, pokud by byl na pracovišti zřízen číselný vyvolávací systém, taková opatření jsem navrhovala již v předchozí kapitole.

Diplomová práce v první části představila problematiku ionizujícího záření, jeho účinky na lidský organismus. Také zmiňuji, jaké jsou možnosti detekce tohoto záření a jaké jsou možnosti ochrany před ionizujícími účinky záření v kapitole radiační ochrany. Nedílnou součástí tvoří také legislativa, která ionizující záření ukotvuje v atomovém zákoně a s ním příslušné vyhlášky, které stanovují nakládání s jeho zdroji a jeho mírové použití. Důležitou část tvořila samotná vyšetřovací zařízení a metody ve kterých je ionizující záření užíváno a jaké jsou možnosti jeho využití na poli diagnostických metod. Závěr teoretické části byl věnován evidenci dávek v České republice a ve světě, kde v Česku tuto roli hraje Státní úřad pro jadernou bezpečnost a Ústav zdravotnických informací a statistiky, kteří se snaží o evidenci dávek z diagnostických výkonů za pomoci vykazování v rámci pojišťoven. Ve světě hraje prim organizace UNSCEAR, která posuzuje velikost lékařského ozáření a trendy za určité období na mezinárodní úrovni.

Cílem praktické části bylo vyhodnotit rizika spojená s diagnostickými výkony užívající ionizující záření a navrhnout vhodná opatření k těmto rizikům. Praktická část obsahuje příklady rizik spojených s intervenčními výkony na angiografickém pracovišti a ukazuje možná rizika z toto plynoucí, pokud dojde k překročení dávek. Dále byla

identifikovaná rizika za pomoci Ishikawa digramu hodnocena metodou PNH a ta, která se jevila jako nejrizikovější, tak na ně byla učiněna vhodná doporučení pro jejich minimalizaci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ADAMS, Rhonda, 2014. Successful Business Plan - Secrets & Strategies: 1 Best-Selling Business Plan Guide. 6th Edition. Palo Alto, CA, USA: PlanningShop. ISBN 978-1-933895-48-2.

Atomové právo, 2023. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. Praha: SÚJB [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/legislativa/atomove-pravo>

BENEŠ, Jiří, Daniel JIRÁK a František VÍTEK. Základy lékařské fyziky. 4. vydání. V Praze: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2015. ISBN 978-80-246-2645-1.

BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK. Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-4712-5.

Biologické účinky ionizujícího záření, 2023. Státní ústav radiální ochrany, v. v. i. [online]. Praha: © 2023 SÚRO [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/biologicke-ucinky-ionizujiciho-zareni>

ČESKO, 2016. Zákon č. 263/2016 Sb. Zákon atomový zákon. In: . ČR. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>

ČESKO, 2016. Vyhláška č. 422/2016 Sb. Vyhláška o radiální ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. In: . ČR. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>

ČESKO, 2016. Vyhláška č. 409/2016 Sb. Vyhláška o činnostech zvláště důležitých z hlediska jaderné bezpečnosti a radiální ochrany, zvláštní odborné způsobilosti a přípravě osoby zajišťující radiální ochranu registranta. In: . ČR. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-409>

ČESKO, 2016. Vyhláška č. 358/2016 Sb. Vyhláška o požadavcích na zajišťování kvality a technické bezpečnosti a posouzení a prověřování shody vybraných zařízení. In: . ČR. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-358>

ČESKO, 2011. Zákon č. 373/2011 Sb. Zákon o specifických zdravotních službách. In: . ČR. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-373>

ČESKO, 2015. Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky: Národní radiologické standardy – radiologická fyzika. In: . Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR, ročník 2015,

částka 6. Dostupné také z: https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/2015/05/Vestnik-MZ_06_2015.pdf

GRUPEN, Claus a Mark RODGERS. Radioactivity and Radiation: What They Are, What They Do, and How to Harness Them. Imprint: Springer, 2016. ISBN 978-3-319-42329-6.

HAVRÁNKOVÁ, Renata, ed. Klinická radiobiologie. Praha: Grada Publishing, 2020. ISBN 978-80-247-4098-0.

Hill MA, Ullrich RL. Ionizující záření. In: Baan RA, Stewart BW, Straif K, editoři. Konkordance v místě nádoru a mechanismy karcinogeneze. Lyon (FR): Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny; 2019. (IARC Scientific Publications, č. 165.) Kapitola 18. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK570341/>

IARC Scientific Publications, 2019. Francie: ©International Agency for Research on Cancer, 2019(165). ISSN 0300-5085.

Ionizující záření, 2023. Národní zdravotnický informační portál [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR a Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/rejstrikovy-pojem/3236>

IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ ÚČINKY a ZDROJE [online], 2016. 1. Česká republika: © Program OSN pro ochranu životního prostředí [cit. 2023-02-27]. ISBN 978-92-807-3600-7. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation-InsidePart-Czech-Feb_2017-1.pdf

KASALICKÝ, MUDr. Petr, 2014. Kostní denzitometrie v praxi urologa. Solen s.r.o. 15(1), 22-25.

KORANDA, Pavel. Nukleární medicína. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2017. ISBN 978-80-244-4031-6.

KOUDELKA, Ctirad a Václav VRÁNA, 2006. Rizik a jejich analýza. VŠB – TU Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky Katedra obecné elektrotechniky [online]. Ostrava: VŠB – TU Ostrava [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://fe1.vsb.cz/kat420/vyuka/Magisterske%20nav/prednasky/web/RIZIKA.pdf>

Lékařské ozáření, 2023. Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. [online]. Praha: © 2023 SÚRO [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/lekarske>

- LUCA, Liliana, Minodora PASARE a Alin STANCIOIU, 2017. STUDY TO DETERMINE A NEW MODEL OF THE ISHIKAWA DIAGRAM FOR QUALITY IMPROVEMENT. *Fiability* [online]. (1), 249-254 [cit. 2023-03-26]. ISSN 1844640X. Dostupné z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&an=123300411&scope=site>
- MORNSTEIN, Vojtěch, 2018. *Lékařská fyzika a biofyzika*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 9788021089846.
- ONDŘEJ, Vladan. *Základy radiobiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013. ISBN 978-80-244-3426-1.
- O-arm® Surgical 3D Imaging, 2023. Swift Institute [online]. Nevada: ©2023 Swift Institute [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://theswiftinstitute.com/o-arm-surgical-3d-imaging/>
- PETROVÁ, Karla, 2021. *Hodnocení lékařského ozáření*. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. Praha: SÚJB [cit. 2023-02-28]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/Bulletinlo2021.pdf
- PODZIMEK, František. *Radiologická fyzika*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2021. ISBN 978-80-01-06900-4.
- Principy radiační ochrany, 2023. Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. [online]. Praha: © 2023 SÚRO [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/principy-radiacni-ochrany>
- Publikace UNEP: Ionizující záření, účinky a zdroje, str. 27, 2016. [online]. Česká republika: UNEP [cit. 2023-02-28]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation-InsidePart-Czech-Feb_2017-1.pdf
- Publikace SÚJB: Hodnocení lékařského ozáření, str. 9, 2021. [online]. Praha: SÚJB [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/Bulletinlo2021.pdf
- Publikace SÚJB: Hodnocení lékařského ozáření, str. 19, 2021. [online]. Praha: SÚJB [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/lekarske_ozareni/Bulletinlo2021.pdf
- Puckett Y, Nappe TM. Ionizující záření. [Aktualizováno 22. srpna 2022]. In: StatPearls [Internet]. Ostrov pokladů (FL): StatPearls Publishing; 2022 leden-. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK534237/>

Radiační hormesis: Historické a současné perspektivy

Jonathan Baldwin, Vesper Grantham

Journal of Nuclear Medicine Technology prosinec 2015, 43 (4) 242-246; DOI: 10.2967/jnmt.115.166074

Software pro evidenci dávek Meddsquare RDM, 2023. Fomei [online]. Hradec Králové: © 2023 FOMEI [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: <https://www.fomei.cz/produkty/software-pro-evidenci-davek-meddsquare/>

Stimac E, Balenovic D. Radiation Exposure : Sources, Impacts, and Reduction Strategies. Nova Science Publishers, Inc; 2012. Accessed February 5, 2023. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,shib&db=nlebk&AN=540519&lang=cs&site=ehost-live>

Stručný přehled biologických účinků záření, 2023. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. Praha: SÚJB [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/radiacni-ochrana/oznameni-a-informace/strucny-prehled-biologickyh-ucinku-zareni/>

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

Ullmann, V. Biologické účinky ionizujícího záření – Radiační ochrana [online]. Ostrava: KNM FNŠP, kapitola 5., platné dostupné z: <http://www.astronuklfyzika.cz>

Úvod, 2023. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. Praha: SÚJB [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/o-sujb/uvod>

VELIČINY POUŽÍVANÉ V RADIAČNÍ OCHRANĚ, 2023. Radiobiologie [online]. Praha [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/1-kapitola/15/155.html>

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

Vznik a vývoj SÚJB, 2023. Státní úřad pro jadernou bezpečnost [online]. Praha: SÚJB [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/o-sujb/15-let-sujb/vznik-a-vyvoj-sujb>

Základní pojmy, 2023. Státní ústav radiační ochrany, v. v. i. [online]. Praha: © 2023 SÚRO [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/radiacni-ochrana/zakladni-pojmy>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ALARA	As Low As Reasonably Achievable
BMD	bone mineral density
CBCT	Cone Beam Computed Tomography
CT	Počítačová (výpočetní) tomografie
ČR	Česká republika
D	absorbovaná dávka
DACS	Dose Archiving and Communication System
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DNA	deoxyribonukleová kyselina
DXA	Dual x-ray absorptiometry
E	efektivní dávka
EKG	Elektrokardiogram
ERCP	Endoskopická Retrogradní Cholangiopankreatografie
FN	Fakultní nemocnice
EU	Evropská unie
GDPR	Obecné nařízení o ochraně osobních údajů
G-M počítač	Geigerův – Müllerův počítač
Gy	Gray
H _T	Ekvivalentní dávka
MDRÚ	místní diagnostické referenční úrovně
MZ	Ministerstvo zdravotnictví
NIS	Nemocniční informační systém
OPG	Ortopantomograf
OSN	Organizace spojených národů
PACS	Picture Archiving and Communication System

PET-CT	pozitronová emisní tomografie
R	Roentgen
RDM	Radiation Dose Monitoring
RTG	rentgen
SPECT-CT	jednofotonová emisní tomografie
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRO	Státní ústav radiační ochrany
Sv	Sievert
TAČR	Technologická agentura České republiky
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
ÚZIS	Ústav zdravotnických informací a statistiky
VZP	Všeobecná zdravotní pojišťovna
$w_{T,R}$	váhový faktor

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Elektronický osobní dozimetr DMC 2000 (Zdroj: vlastní).....	20
Obrázek 2 Rentgen Siemens Healthineers Ysio Max s rentgenkou na stropním závěsu a vertigraf pro snímkování pacientů ve stoje v Krajské nemocnici T. Bati ve Zlíně (Zdroj: vlastní)	26
Obrázek 3 Pojízdne C-rameno Philips BV Pulsera (Zdroj: vlastní)	27
Obrázek 4 Skiaskopicko – skiagrafická sklopná stěna s ovládacím panelem značky Siemens Healthineers Luminos dRF Max v Krajské nemocnici T. Bati ve Zlíně (Zdroj: vlastní)	29
Obrázek 5 CT přístroj firmy Philips Big Bore (Zdroj: vlastní)	30
Obrázek 6 Cone Beam Computed Tomography (CBCT) ve Fakultní nemocnici Olomouc (Zdroj: vlastní)	31
Obrázek 7 Tlakový injektor pro podávání kontrastní látky a válce na injektor k aplikaci kontrastní látky a fyziologického roztoku (Zdroj: vlastní)	33
Obrázek 8 Angiografická linka pro intervenční výkony v Krajské nemocnici T. Bati ve Zlíně (Zdroj: vlastní)	34
Obrázek 9 Výsledný počet vyšetření/výkonů v roce 2019 (SÚJB, 2021)	42
Obrázek 10 Implementace softwaru do nemocničního prostředí (Zdroj: © 2023 FOMEI s.r.o.)	44
Obrázek 11 Zobrazení zatížení orgánů dávkou v prostředí softwaru (Zdroj: © 2023 FOMEI s.r.o.)	45
Obrázek 12 Vývoj dávky v čase u CT (Zdroj: © 2023 FOMEI s.r.o.)	46
Obrázek 13 Vyšetření s aktivní výstrahou pro rentgen (Zdroj: vlastní)	46
Obrázek 14 Seznam pacientů s aktivní výstrahou (Zdroj: © 2023 FOMEI s.r.o.)	47
Obrázek 15 Worklist (Zdroj: © 2023 FOMEI s.r.o.)	47
Obrázek 16 Matice rozložení výstrah (Zdroj: © 2023 FOMEI s.r.o.)	48
Obrázek 17 Zobrazení aktuálních vyšetření proběhlých na CT (Zdroj: vlastní)	48
Obrázek 18 Angiografický sál připravený k intervenčnímu výkonu (Zdroj: vlastní)	51
Obrázek 19 Rozložení dávky na kůži u pacientky podstupující intervenční výkon s dávkou přesahující 4 Gy (Zdroj: vlastní).....	52
Obrázek 20 Mapa rozložení dávky na kůži u pacienta, kde dávka přesáhla 6,5 Gy (Zdroj: vlastní)	53
Obrázek 21 Zobrazení ozářené srdeční krajiny s oblastmi zasaženými dávkou nad 6,5 Gy. Jeden čtvereček odpovídá 1x1 cm kůže. (Zdroj: vlastní)	54
Obrázek 22 Špatně nastavený protokol pro CT hrudníku dle průměrných diagnostických referenčních úrovní (Zdroj: vlastní).....	54
Obrázek 23 Ishikawa diagram (Zdroj: vlastní)	57
Obrázek 24 SWOT analýza uživatelské přívětivosti softwaru pro evidenci dávek (Zdroj: vlastní)	66

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Celosvětové rozdělení radiační expozice v populaci (UNEP, 2016).....	21
Tabulka 2 Hodnocení rizika při diagnostickém ozáření (SÚJB, 2021)	37
Tabulka 3 Pravděpodobnost vzniku rizika (upraveno podle Koudelka a Vrána, 2006)	59
Tabulka 4 Možné následky jevu (upraveno podle Koudelka a Vrána, 2006).....	59
Tabulka 5 Názor hodnotitele (Zdroj: vlastní)	60
Tabulka 6 Hodnocení rizik (upraveno podle Koudelka a Vrána, 2006).....	60
Tabulka 7 Analýza PNH (Zdroj: vlastní).....	61
Tabulka 8 Analýza PNH (Zdroj: vlastní).....	62
Tabulka 9 Analýza PNH (Zdroj: vlastní).....	63
Tabulka 10 Četnost výskytu rizik dle daných kategorií (Zdroj: vlastní)	64
Tabulka 11 Výčet rizik II. kategorie	65
Tabulka 12 Kontrolní seznam pro zaměstnance (Zdroj: vlastní).....	71

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Výsledné grafické zobrazení SWOT analýzy (Zdroj: vlastní).....	6
---	---

